



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **317186**

(13) **B1**

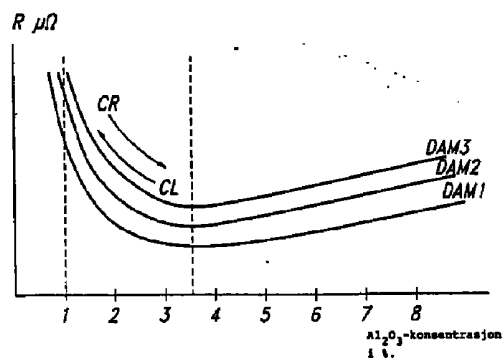
(51) Int Cl⁷

C 25 C 3/14

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19972723	(86)	Innt.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1997.06.13	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	1997.06.13	(30)	Prioritet	1996.06.17, FR, 9607712
(41)	Alm.tilgj	1997.12.18			
(45)	Meddelt:	2004.09.13			
(71)	Søker	Aluminium Pechiney SA , Immeuble Balzac, 10, place des Vosges, la Défense 5, 92400 COURBEVOIE, FR			
(72)	Oppfinner	Olivier Bonnardel, Les Grandes Terres, F-73140 Saint-Martin-d'Arc, FR			
		Pierre Marcellin, Manaba, BH			
(74)	Fullmektig	Jan E. Helgerud - Bryns Zacco AS, Postboks 765 Sentrum, 0106 Oslo, NO			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for regulering av aluminium-innholdet i badet i elektrolyse-celler ved aluminium-fremstilling			
(56)	Anførte publikasjoner	EP A 044 794 ,US 4 654130 ,WO 86/05008			
(57)	Sammendrag				

En fremgangsmåte for å regulere aluminiumoksyd-innholdet i badet i en celle for fremstilling av aluminium ved elektrolyse av aluminiumoksyd oppløst i et smeltet kryolitt-basert salt, omfatter en alternering av faser av aluminiumoksyd undermating og faser av aluminiumoksyd-overmating sammenlignet med en teoretisk midlere hastighet for aluminiumoksyd-forbruket i cellen, idet alterneringen er en funksjon av verdier, beregnet ved slutten av hver kontroll-cyklus i) med varighet T, av den midlere resistans R(i) målt over celle-elektrode-polene, av hastigheten for endring av denne resistans eller resistans-hellingen P(i), av hastigheten for endring av resistans-hellingen eller krummingen C(i) og av den ekstrapolerte helling PX(i), idet disse verdier sammenlignes respektivt med referanse-verdiene PO, CO og PXO for å modullere, i henhold til en egnet kontroll-algoritme, aluminiumoksyd-innholdet i badet til innen et meget snevert konsentrasjonsområde mellom 1,5 og 3,5.



CR: Høy hastighet.
CL: Lav hastighet.
DAM: Avstand anode - metall.

Foreliggende oppfinnelse angår en fremgangsmåte for nøyaktig regulering av aluminiumoksydinnholdet i brenn-elektrolyseceller for aluminiumstilling ved Hall-Hérout-prosessen, med henblikk ikke bare på å opprettholde Faraday-effektiviteten ved et høyt nivå men også med henblikk på å redusere fluorkarbon-gass-emisjoner som er spesielt giftige og miljøforurensende, og som stammer fra driftsanomalier i elektrolyse-celler, kjent som anode-effekt.

Driften av aluminiumproduksjonsceller er progressivt automatisert i de senere år, primært for å forbedre prosess-regulariteten og derved energibalansen og Faraday-effektiviteten, men også, ut fra et økonomisk og økologisk synspunkt, for å begrense den møysomme arbeidskraft-innsats og for å øke effektiviteten ved å fange inn fluorholdige avgasser.

Et av hovedbehovene for å sikre prosess-regularitet i en celle for aluminiumfremstilling ved elektrolyse av aluminiumoksyd, oppløst i et smeltet, kryolittbasert elektrolyse-bad, er at et egnet, oppløst aluminiumoksyd-innhold opprettholdes i elektrolytten og således at den hastighet med hvilken aluminiumoksyd settes til badet på et hvilket som helst tidspunkt, er tilpasset forbrukshastigheten for aluminiumoksyd i cellen.

For eksempel gir for mye aluminiumoksyd en risiko for forgiftning av cellebunnen ved uoppløste aluminiumoksydavsetninger, avsetninger som så kan omdannes til harde belegg som elektrisk isolerer en del av katoden. Dette favoriserer i sin tur meget sterke, horisontale, elektriske strømmer i metallet i cellene, strømmer som interagerer med de magnetiske felt for å røre opp metallsjiktet og derved forårsake mangel på stabilitet ved bad-metallgrenseflaten.

Omvendt forårsaker aluminiumoksydmangler en opptreden av anode-effekten som manifesteres ved produksjonstap og ved abrupt stigning i spenningen på celle-elektrodepolene, fra 4 til 30 eller 40 volt. Dette alt for store energiforbruk bevirker også en forringelse ikke bare av energi-effektiviteten i cellen men også av Faraday-effektiviteten som følge av gjenoppløsning av aluminium i badet og en økning av elektrolysebad-temperaturen.

Behovet for å holde innholdet av oppløst aluminiumoksyd i elektrolytten innen nøyaktige og relativt snevre grenser og således å tilsette aluminiumoksyd med den maksimalt mulige regularitet, har derfor bragt fagmannen på området til å utvikle automatiske prosesser for tilmatning av aluminiumoksyd til og å kontrollere aluminiumoksyd i elektro-

- lysecellene. Dette behov er blitt en forpliktelse med bruken av såkalte "sure" elektrolysebad (høyt AlF_3 -innhold), som tillater at driftstemperaturen i cellene reduseres med 10 til 15°C (rundt 950°C istedet for de vanlige 965°C , og at det således oppnås Faraday-effektiviteter på minst 94 %. Således er det så uomgjengelig å være i stand til å kontrollere aluminiumoksyd-innholdet innen et meget nøyaktig og meget snevert konsentrasjonsområde (1 til 3,5 %), og ta i betraktning reduksjonen i aluminiumoksydoppløselighetsforholdet som henger sammen med den nye sammensetning og med reduksjonen av bad-temperaturen.
- 10 Fordi en direktemåling av aluminiumoksyd-innholdet i badene ved analyse av periodisk uttatte prøver ikke har vist seg tilstrekkelig brukbare for industrielle formål, har hovedandelen av de kjente, industrielle prosesser tydd til en indirekte evaluering av aluminiumoksyd-innholdet ved å følge en elektrisk parameter som er representativ for aluminiumoksyd-konsentrasjonen i elektrolytten. Denne parameter er generelt variasjonen i
- 15 motstanden R ved celle-elektrode-polene i henhold til ligningen $R=(U-e)/I$ der U er celledemate-spenningen og e er den elektromotoriske returkraft, satt til for eksempel 1,65 volt, og I er strømmen som går gjennom cellen.
- En kurve for variasjonen av R som en funksjon av aluminiumoksyd-innholdet kan plottes ved kalibrering og aluminiumoksyd-konsentrasjonen $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ kan være kjent på et hvilket som helst tidspunkt ved å måle R (ved spesielle intervaller og ved velkjente metoder). Dette detekteringsprinsipp benyttes i FR 1.457.746 (GB 1 091.373) for å sende kommandoer til en aluminiumoksyd-mater forbundet med et middel for å gjennomtrengte elektrolytt-skorpen som dannes på bad-overflaten. På samme måte benytter US
- 25 3.400.062 målinger av bad-resistans-variasjonen ved hjelp av en pilot-anode for å detektere enhver aluminium-mangel og enhver tendens til anode-effekt, og derved å justere tilsetningshastigheten for aluminiumoksyd fra en binge utstyrt med en innretning for å trengte gjennom elektrolytt-skorpen.
- 30 I den senere tid er nøyaktige kontroll-prosess basert på opprettholdelse av aluminiumoksyd-innholdet mellom øvre og nedre grense, vært gjort til gjenstand for tallrike patenter inkludert US 4.126.525 og EP 044.794 (US 4.431.491), det sistnevnte i navn av foreliggende søker.
- 35 I det første av disse patenter er området for aluminiumoksyd-innholdet som skal opprettholdes, mellom 2 og 8 %. Cellen mates med aluminiumoksyd i et på forhånd bestemt tidsrom t_1 ved en høyere hastighet enn den teoretiske forbrukshastighet derav inntil det

- nåes en fiksert aluminiumoksyd-konsentrasjon (for eksempel 7 % og derfor noe under den maksimalt tillatelige verdi på 8 %), hvorefter matehastigheten endres til en verdi lik den teoretiske forbrukshastighet for et på forhånd bestemt tidsrom t_2 , og hvor til slutt bingen stenges inntil de første symptomer på anode-effekt opptrer. Matecyklusen gjen-
- 5 opptas så i en hastighet høyere enn den teoretiske forbrukshastighet. I henhold til denne prosess og mer spesielt i henhold til resultatene ved praktiske forsøk på prosessen, kan aluminiumkonsentrasjonen i badet variere fra 3 til 8 % i løpet av en cyklus og således er fremgangsmåten fremdeles utilstrekkelig hva angår kontrollen av aluminiumoksyd-
- 10 innholdet i sure bad i et område så lavt og snevert som 1 til 3 eller 4 %. Dette formål oppnås ved fremgangsmåten i henhold til EP 044.794 i foreliggende søkeres navn, en prosess som er basert på en andre kontroll-parameter som involverer måling av resistansen R ved elektrolysecelle-elektrodepole, idet parameteren er hellingen $P = dR/dt$, som representerer variasjonen av resistansen R forårsaket av en intensjonell endring av hastigheten av aluminiumoksyd-matning til badet i en spesifisert tid. Således er kun
- 15 kjennskap til resistansen R for elektrolyse-celle-elektrode-polene ikke tilstrekkelig til nøyaktig å styre aluminiumoksyd-innholdet i badet og derfor kontroll over kvalitet og frekvensen av anode-effekter, fordi parameteren R ved konstant bad-temperatur er en funksjon av to variabler der den ene er aluminiumoksyd-innholdet, reflektert ved bad-resistiviteten ρ , og den andre er anode-metall-avstanden (AMD). Således er det nødvendig å finne en andre, diskriminant parameter, som oppnås ved hellingen $P = dR/dt$, kjent
- 20 som resistans-hellingen, og som er den eneste parameter som virkelig er representativ for aluminiumoksyd-forringelsen eller -anrikningen i badet. Hvis, som et eksempel, aluminiumoksydet som mates til badet temporært sammenlignes med den teoretiske forbrukshastighet (det vil si i en undermatingsbetingelse), vil resistiviteten ρ , og den andre er anode-metall-avstanden (AMD). Således er det nødvendig å finne en andre,
- 25 diskriminant parameter, som oppnås ved hellingen $P = dR/dt$, kjent som resistans-hellingen, og som er den eneste parameter som virkelig er representativ for aluminiumoksyd-forringelsen eller -anrikningen i badet. Hvis, som et eksempel, aluminiumoksydet som mates til badet temporært sammenlignes med den teoretiske forbrukshastighet (det vil si i en undermatingsbetingelse), vil resistiviteten ρ sees å øke i henhold til et kjent
- 30 forhold etter hvert som aluminiumoksydinnholdet i badet synker, mens samtidig AMD praktisk talt ikke varierer fordi denne endring er meget langsommere.

- Prosesen i henhold til EP 044.794 er basert på en justering av disse to parametre R og
- 35 dR/dt , og kan oppsummeres som følger: ut fra en fase der aluminiumoksyd undermates til badet, kommanderes det en forandring til en overmatingsfase i et på forhånd bestemt

tidsrom T hvis resistansen R overskrider den øvre grense $R_0 + r$, der R_0 er settpunkt-resistansen, og hvis resistans-hellingen P er større enn settpunkt-hellingen P_0 .

- 5 Hvis omvendt hellingen P forblir mindre enn settpunkt-hellingen P_0 , noe som indikerer et tilstrekkelig aluminiumoksyd-innhold i badet, opprettholdes undermatingsbetingelsene til badet men en kommando til å senke anoderammen (en "pot squeeze"-kommando) transmitteres hvis nødvendig for å forkorte AMD-verdien og derved redusere R for å bringe den til innen settpunkt-området $R_0 \pm r$.

- 10 Ut fra overmatingsfasen med varighet T blir tilslutt en endring foretatt til en undermatingshastighet ved slutten av dette tidsrom T og, hvis R er blitt mindre enn den nedre grense $R_0 - r$ for settpunkt-område, transmitteres det en kommando til å heve anoderammen (en "pot and squeeze"-kommando) for å forlenge AMD og bringe R til settpunkt-område $R_0 \pm r$.

15

Så påbegynnes en ny cyklus.

- Denne kontroll-metode tillater derfor at aluminiumoksyd-innholdet i badet opprettholdes innen et snevert og lavt område og således at det kan oppnås Faraday-effektiviteter i størrelsesorden 95 % med sure bad, mens man samtidig sterkt reduserer den såkalte "anode-effekt-grad" eller med andre ord mengden (eller frekvensen) av anode-effekter på cellene, målt ved antallet anode-effekter pr. celler pr. dag (AE/celle/dag).
- 20

- I celler av eldre type og med sidebrudd, var anode-effekt-graden eller hastigheten høyere enn 2 eller sågar 3 AE/celle/dag mens man i mer moderne celler med punkt-matesystem har frekvenser på mellom 0,2 og 0,5 AE/celle/dag. På dette trinn er energioverforbruket og tapet av Faraday-effektivitet relatert til anode-effekter, lite, og inntil de senere år har dette ytelsesnivået vært ansett som tilstrekkelig.
- 25

- I den senere tid og med utvikling av meget-høy-strøm-elektrolyseceller og utfordringen med ennå bedre ytelser, og særlig med henblikk på Faraday-effektiviteten og energi-effektiviteten, sammen med bekymring om forurensningsproblemer på grunn av fluor-karbon-forbindelser (CF_x), og særlig karbontetrafluorid (CF_4) som har et høyt potensiale for absorpsjon av infrarød stråling og således favoriserer drivhus-effekten, nu ført til en prioritering av reduksjonen eller sågar elimineringen av anode-effekter som danner fluororkarbongasser. I denne forbindelse er det på sin plass å minne om at anode-effekten er et fenomen med elektrolyse av fluorid-ioner som inntreffer under en mangel på oksygen-
- 30
- 35

ioner i kontakt med anodene, særlig på grunn av mangel på aluminiumoksyd. Istedet for å produsere karbondioksyd og karbonmonoksyd ved den normale prosess, produserer cellene fluorkarbongasser som, på grunn av den kjemiske inerthet og høye stabilitet, er mulig å fange ved standardmidler.

5

Utviklingen av en nøyaktig prosess for kontroll av lave aluminiumoksyd-innhold i elektrolysebadet for derved å sikre høy Faraday-effektivitet ($\geq 95\%$) med en anode-effektgrad mindre enn 0.05 AE/celle/dag, er blitt en vesentlig oppgave for:

- 10 - konstruksjon av nye elektrolyse-anlegg som benytter celler med meget høy strøm i progressivt økende antall, og
- en utvidelse av de eksisterende anlegg uten økning eller sågar med en reduksjon av gassformige fluorkarbonutslipp.

- 15 Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse tillater at dette forurensningsproblem løses ved å redusere anode-effekt-graden til et gjennomsnitt på 0,02 AE/celle/dag, noe som er godt under måleresultatet på 0,05 AE/celle/dag og sågar langt under de tidligere verdier på 0.2 til 0.5 AE/celle/dag; under sågar samtidig forbedring av Faraday-effektiviteten til over 95 %. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen benytter det basiske
- 20 aluminiumoksyd-kontroll-prinsipp som allerede er beskrevet i EP 044.794 (US 4.431.491), der 2 kontroll-parametre resistansen R og resistanshellingen $P = dR/dt$, sammenlignes med settpunktverdier for å initiere en endring i aluminiumoksyd-matehastigheten eller for å transmittere en kommando for å bevege anoderammen for derved å korrigere avstanden mellom anode og metall (AMD).

25

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen skiller seg ikke desto mindre klart fra den tidligere beskrevne prosess ved det faktum at den benytter en operasjonssekvens som er fullstendig forskjellig i hver kontroll-cyklus, særlig med:

- 30 - bestemmelse av resistansen og hellingen ved slutten av hver kontroll-cyklus og ikke lenger kun når resistansen beveger seg utenfor settpunkt-området,
- initiering av en overmatingsfase hvis aluminiumoksyd-innholdet, målt ved resistanshellingen, blir meget lavt, uansett posisjonen for resistansen i forhold til settpunkt-området, og
- 35 - til slutt, raffinering av metodene for bestemmelse av resistansen R og fremfor alt resistanshellingen P, såvel som bruken av hjelpeparametre som skal forklares

nedenfor, for derved å sikre både høy nøyaktighet og høy pålitelighet for den nye kontroll-prosess.

- Det er derfor på grunn av den nye driftssekvens som tar disse forskjellige modifikasjoner i betraktning i hver cyklus, at fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen har gjort det mulig med gjennomsnittlig en faktor 10 å redusere anode-effektforholdet som oppnås sågar med noen av de mest effektive av de kjente prosesser, og derved systematisk å oppnå Faraday-effekter på over 95 %.
- 10 Mer spesielt angår foreliggende oppfinnelse en fremgangsmåte for å kontrollere aluminiumoksyd-innholdet i et bad i en celle for fremstilling av aluminium ved elektrolyse av aluminiumoksyd, oppløst i et smeltet kryolitt-base-salt, der prosessen benytter aluminiumoksyd-tilmatning i en hastighet modulert som en funksjon av verdien og endringen av resistansen R i cellen som beregnet fra differansen av elektrisk potensial, målt ved
 - 15 celle-elektrode-polene, der faser av aluminiumoksyd undermatning med tilførsel av aluminiumoksyd i lav hastighet CL (fase 1) alternerer med faser med aluminiumoksyd-overmatning med tilførsel av aluminiumoksyd i en høy hastighet CR eller meget høy hastighet CUR (fase 2), sammenlignet med en referanse-hastighet eller teoretisk hastighet CT tilsvarende den midlere, teoretiske hastighet for aluminiumoksyd-forbruket i
 - 20 cellen, og fremgangsmåten karakteriseres ved kontrollcykler med varighet T, omfattende de følgende operasjons-sekvenser i hver cyklus:
 - A) Ved slutten av hver kontroll-cyklus i) beregnes den midlere resistans $R(i)$, graden av endring av resistans eller resistanshellingen $P(i)$ og graden av endring av resistanshellingen eller krummingen $C(i)$ og en prediksjon foretas med
 - 25 henblikk på verdien av resistans-hellingen på tidsrommet $t(i+1)$ eller ekstrapolert helling $PX(i)=P(i)+C(i) \times T$, som er et estimat av den fremtidige resistans-helling $P(i+1)$ ved slutten av kontroll-cyklopen i+1;
 - 30 B) Verdien av $R(i)$ sammenlignes med en settpunktverdi R_0 og på denne basis transmitteres de følgende kommandoer for å bevege anoderamme-posisjonen: forkort anode-metall-avstanden (pot-squeeze) eller forleng anode-metall-avstanden (pot-unsqueeze);
 - 35 C) Aluminiumoksyd-tilmatningen kontrolleres som en funksjon av verdiene av hellingen $P(i)$, krummingen $C(i)$ og den ekstrapolerte helling $PX(i)$ på en slik måte

at det kompenseres for variasjoner i aluminiumoksyd-innholdet ved å antisipere dem.

I henhold til en fordelaktig utførelsesform av oppfinnelsen gjennomføres kontrollen av aluminiumoksydet i trinn C) under de følgende betingelser:

- Hvis aluminiumtilmatningen er i fase 1, sammenlignes verdiene $P(i)$, $C(i)$ og $PX(i)$ respektivt med referanse-settpunktene $P0$, $C0$ og $PX0$:
 - hvis $P(i) < P0$ og $PX(i) < PX0$, fortsetter fase 1;
 - 10 - hvis $P(i) \geq P0$ eller $PX(i) \geq PX0$, skjer det en endring til aluminiumoksyd-matefase 2:
 - hvis $C(i) \geq C0$ begynner fase 2 med en ultrahurtig matchastighet i et på forhånd bestemt eller beregnet tidsrom, som følges av en tilmatning med høy hastighet i et på forhånd bestemt eller beregnet tidsrom, idet beregningen av tidene gjennomføres som en funksjon av verdiene som beregnes ved slutten av den foregående definerte kontroll-cyklus;
 - 15 · hvis $C(i) < C0$ endres aluminiumoksyd-tilmatningen direkte til høy hastighet i et på forhånd bestemt tidsrom eller et tidsrom som er beregnet som en funksjon av verdiene som ble beregnet ved slutten av den forutgående definerte kontroll-cyklus.
 - 20
- Hvis aluminiumoksydmatningen er i fase 2:
 - fase 2 fortsetter normalt i den på forhånd bestemte tid eller den tid som ble beregnet ved slutten av den forutgående fase 1.
 - 25

Under utvikling av den nye prosess ifølge oppfinnelsen har foreliggende oppfinnere vært i stand til å observere at det kunne oppnås en spektakulær reduksjon i anode-effektfrekvensen ved å endre til en høy matehastighet så snart resistans-hellingen P ble meget høy, noe som indikerte et meget lavt innhold av aluminiumoksyd (1 til 2 %) i badet, og en samtidig meget høy risiko for utvikling av anode-effekten, uten å vente på at resistansen R skulle svinge fra settpunkt-området, slik tilfellet var i den ovenfor beskrevne, kjente teknikk. Figur 1 som representerer variasjonen av resistansen R ved polene i en elektrolysecelle som funksjon av aluminiumoksyd-innholdet i badet for forskjellige anode-metall-avstander økende fra AMD_1 til AMD_3 , viser klart at kontroll av aluminiumoksyd-innholdet i badet til mellom 1 og 3,5 % fastlegger de best mulige betingelser, for det første for å bruke sure elektrolysebad ved lavere temperatur og derved

- garantere utmerkede Faraday-effektiviteter, og for det andre å detektere den minste resistans-variasjon fordi betingelsene som tilsvarer den største variasjonshelling for R eller med andre ord sonen med størst sensitivitet. Korrolaren av disse to fordeler implikerer at en kvantitativt viktig kapasitet til å justere aluminiumoksyd-matchastigheten til
- 5 badet meget hurtig for å forhindre de meget store risiki, som inntreer så snart aluminiumoksyd-innholdet i badet nærmer seg 1 %, for å iverksette anode-effekten.

- For å løse dette problem som ufullstendig ble behandlet i den nærmestliggende kjente teknikk i retning av kontroll-prosesser, og som ikke sørget for beregning av hellings-
- 10 verdien når resistansen R overskred et øvre referanse-settpunkt R_{0+r} , viste det seg nødvendig å gjennomføre ikke bare denne beregning av hellingen ved slutten av hver kontroll-cyklus men også beregningen av den ekstrapolerte helling som var prediktert for slutten av den følgende cyklus, for å sammenligne disse hellinger til referanse-settpunkter og umiddelbart å initiere aksellerasjon av matchastighet hvis nødvendig, og
- 15 som en antisipatorisk handling i tilfelle hurtig stigning i resistansen, som vist i diagrammet i figur 2.

- Den nye prosedyre for kontroll av aluminiumoksyd-innholdet forhindrer ikke anvendelse av samtidige sikkerhetsprosedyrer.

20

- For eksempel aktiveres kontroll-prosedyren kun når cellen er i normale driftsbetingelser (med andre ord korrekt kontrollert, stabil og fri for hendelser som ville forstyrre drift eller kontroll som for eksempel skifting av anode, tapping av metall eller spesifikke kontroll-prosedyrer) som autoriserer en endring til fase 2. Hvis videre fase 1 skjer i det
- 25 normale forløp av kontroll-prosedyren men blir forlenget ut over en på forhånd bestemt varighet, og hvis antallet "pot-unsqueeze"-kommandoer under denne fase 1 overskrider et på forhånd bestemt sikkerhetssettpunkt, er det påvist at badet er for rikt på aluminiumoksyd og derved blir tilmatningen av aluminiumoksyd redusert meget drastisk eller fullstendig stanset for å spyle badet for overskudd av aluminiumoksyd.

30

Hvis på den annen side antallet "pot squeeze"-kommandoer under en slik fase 1 overskrider et på forhånd bestemt sikkerhets-settpunkt, initieres fase 2 uansett verdiene for resistans-hellingen og den ekstrapolerte helling.

- 35 Hvis til slutt krummingen $C(i)$ overskrider et på forhånd bestemt sikkerhets-settpunkt blir aluminium-tilmatningsfase 2 initiert uavhengig av verdiene for resistans-hellingen $P(i)$ og den ekstrapolerte helling $PX(i)$.

Hva videre angår bestemmelsen av kontroll-parametrene som er involvert i den nye kontroll-prosess:

- er det gjort modifikasjoner i metodene for å beregne de kjente parametre (R og P) for derved å forbedre prosess-nøyaktigheten; og
- 5 - ytterligere og nye parametre er utviklet for også å forbedre prosesspåliteligheten.

Ved slutten av hvert kontroll-system $R(i)$ med varighet T (som varer mellom 10 sekunder og 15 minutter), ved begynnelsen av hvilken kontroll-kommandoer hvis nødvendig transmitteres for å modifisere resistans-nivået, blir således resistansen $R(i)$ beregnet ved
 10 å dele kontroll-cykklusen i i n elementærkykler med varighet t (med varighet mellom 1 sekund og 15 minutter), å eliminere de første a elementærkykler under hvilke resistans-nivået modifiseres ved justeringsoperasjonene for anode-ramme-posisjonen, og å beregne gjennomsnittet $R(i)$ over de siste $n-a$ elementærkykler ($a < n$).

15 I dette tilfellet blir den midlere resistans $r(k)$ for hver elementærkyklus k med varighet t også beregnet ved slutten av denne elementærkyklus. For å tillate beregning av hellingen $P(i)$ er disse verdier $r(k)$ lagret i hukommelsen og man beholder minst N verdier (der N er et på forhånd bestemt tall) gjennom hele matefasen i).

20 Således blir resistanshellingen $P(i)$, den ekstrapolerte helling $PX(i)$ og krumming $C(i)$ bestemt ved slutten av hver kontroll-cyklus i med varighet t fra historien for de gjennomsnittlige resistanser $r(k)$ for elementærkyklusene som er lagret i hukommelsen opp til grensen for de siste N verdier siden starten av undermatingsfasen 1 idet disse beregninger gjennomføres ved en hvilken som helst metode som er i stand til å behandle råda-
 25 ta $r(k)$ mens man eliminerer resistans-variasjoner som skyldes kommandoer for å justere anoderamme-posisjonen.

Resistans-hellingen og hjelpeparametrene kan beregnes ved parabolisk regresjon over resistansene eller ved lineær regresjon og ved resistansvariasjonene, eller ved en hvilken
 30 som helst annen metode som er ekvivalent ikke-lineær regresjon over resistansene.

Metoden som benyttes for beregning av resistans-hellingen $P(i)$ består fortrinnsvis i en lineær-regresjon over de øyeblikkelige resistansvariasjoner eller hellingene $dr(k) = r(k) - r(k-1)$, idet denne regresjon beregnes ved slutten av hver elementærkyklus k med varig-
 35 het t etter eliminering av de elementærkykler under hvilke kommandoer for å justere anoderammeposisjonen, ble transmittert. Denne lineære regresjon over de øyeblikkelige hellingene $dr(k)$ er ekvivalent en parabolisk regresjon over resistansene $r(k)$ etter elimine-

ring av resistans-variasjonene på grunn av kommandoer for å justere anoderammaposisjonen.

Det skal her påpekes at resistansen varierer i henhold til en kurve og ikke i henhold til en rett linje. I henhold til EP 044.794 blir hellingen i virkeligheten beregnet ved direkte konstruksjon av en lineær regresjon over resistans-verdiene, målt i regulære intervaller. Som vist i diagrammet i figur 3 fører dette nødvendigvis til en underestimering av den virkelige verdi av hellingen. I tillegg blir, på grunn av underestimeringen, denne feil større jo større krummingen for forandringskurven for R er, det vil si jo hurtigere resistansøkningen er. Når således, i henhold til EP 044.794, resistansen overskred det øvre referanse-settpunkt R_0+r for kontroll-området, kunne denne variasjon ganske enkelt føre til en transmisjon av en "pot squeeze"-kommando til anoderammen og en forlengelse av tilmatningen i lav hastighet, selv om den virkelige helling $P(i)$ i virkeligheten var større en referanseshellingen P_0 og selv om en anode-effekt da er meget nær.

Denne nye metode som benyttes for å beregne hellingen, for gjennomføring av oppfinnelsen, er basert på prinsippet med parabolisk regresjon og som tillater en meget bedre tilnærming til den virkelige resistanskurve-økning enn det som er tilfellet med den klassiske, lineære regresjon slik denne er vist ved diagrammet i figur 3. Mens foreliggende oppfinnere på grunn av komplekse teorier og beregningsressurser ut over rammen av oppfinnelsen, har vært forhindret fra nøyaktig gjennomføring av denne type regresjon for å beregne hellingen, benyttes det ikke desto mindre en metode relatert til parabolisk regresjon, omfattende å beregne en linje av lineær regresjon over de øyeblikkelige hellinger idet verdien av resistanshellingen $P(i)$ tilsvarer ordinaten ved den angjeldende $t(i)$ for linjen av lineær regresjon over de øyeblikkelige hellinger.

Denne nye prosedyre for behandling av hellingen gir også ytterligere og nye informasjonsblokker som benyttes som hjelpekontroll-parametre med henblikk på å optimalisere kontrollen av aluminiuminnholdet.

Når linjen for lineær regresjon over de øyeblikkelige hellinger er kjent, blir det mulig å forutsi verdien for resistanshellingen for cyklusen $i+1$ eller den ekstrapolerte helling $PX(i)$, som tilsvarer ordinaten for regresjonslinjen, ekstrapolert til tidspunktet $t(i+1) = t(i) + T$. Denne verdi for den ekstrapolerte helling $PX(i)$ benyttes for å detektere en hurtig stigning av resistansen ved å antisipere den og å bestemme hvorvidt man skal gå over til fase med hurtig tilmatning CR når denne ekstrapolerte helling $PX(i)$ blir større enn en ekstrapolert referanseshelling PX_0 med en verdi slik at $PX(i) \geq PX_0 \geq P_0$.

- Det er også meget fordelaktig å benytte en annen hjelpeparameter, krummingen $C(i)$, eller med andre ord endringshastigheten for resistans-hellingen $P(i)$ gitt av hellingen av linjen for lineær-regresjon over de øyeblikkelige hellinger, for å initiere og modullere overmatingen i seg selv i henhold til prinsippet at høy krumming er et forvarsel på en abrupt økning av resistansen. Således initieres en ultrahøy matehastighet kjent som "CUR" når settpunkt-verdien C_0 passerer. For en krumming mindre enn C_0 er hurtig-mate-hastigheten CR , kontrollert ved parametrene $P(i)$ og $PX(i)$, ansett tilstrekkelig til å redusere $R(i)$ og å unngå en anode-effekt.
- 10 Det skal påpekes at referanse-settpunktene P_0 , PX_0 og C_0 , kan anta forskjellige på forhånd bestemte verdier eller verdier beregnet i henhold til driftsbetingelsene for cellen (for eksempel bad-surhet, temperatur eller resistans).
- 15 Som indikasjon er, for en celle som arbeider ved 400.000 ampère (400 kA), verdien for referanse-hellingen mellom 10 og 150 pΩ/s, den for den ekstrapolerte referansehelling PX_0 mellom 10 og 200 pΩ/s og den for referansekrummingen C_0 mellom 0,010 og 0,200 pΩ/s².
- 20 Alle disse driftskarakteristika, gyldige for en celle med strøm $i = 400$ kA, kan lett transponeres til celler med lavere strømstyrke idet man vet at de ovenfor angitte verdier for resistansen R , hellingen P og krummingen C , kan defineres som verdier i forhold til strømmen $I' < I$ som går gjennom cellene, slik at:
- 25
$$R' = R \times 400 / I'$$

$$P' = P \times 400 / I'$$

$$C' = C \times 400 / I'.$$
- Oppfinnelsen skal forklares nærmere ved hjelp av de følgende utførelseseksempler.
- 30 Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen ble gjennomført i flere måneder på en prototype-elektrolysecelle med for-brente anoder som arbeidet ved 400 000 ampère under de følgende betingelser:
- 35 Aluminiumoksydet innføres direkte til det smeltede elektrolyt-bad i suksessive doser med konstant vekt via flere innløpsmunninger som kontinuerlig holdes åpne ved hjelp av en skorpebryter. For dette formål vil det være fordelaktig å benytte en punktmate-

innretning for tilmatning av aluminiumoksyd til elektrolysecellene som beskrevet i EP 044.794 (US 4.431.491) eller også i FR 2.527.647 (US 4.437.964) i foreliggende søkers navn.

- 5 Resistansen R beregnes hver tiendedels sekund fra målinger av strømmen I og spenningen U ved celle-elektrodepolene i henhold til følgende klassiske ligning:

$$10 \quad R \text{ ohm} = \frac{U_{\text{volt}} - 1,65}{I_{\text{ampere}}}$$

- En integrerende kalkulator benyttes for å bestemme middelveiden for resistansene $r(k)$ hvert 10. sekund eller de øyeblikkelige resistanser $r(k)$ innen en kontrollcyklus i) med varighet $T = 3$ minutter og etter eliminering, hvis nødvendig, av de første verdier av kontroll-cyklopen tilsvarende den periode i løpet av hvilken kommandoer for å justere anoderamme-posisjonen for å modifisere resistansnivået, transmitteres, den beregner den midlere motstand $R(k)$ for cyklusen og de midlere hellinger $dr(k) = r(k) - r(k-1)$ for den gjenværende varighet av cyklusen og bestemmer så, ved lineær regresjon over verdiene $dr(k)$ som er lagret i hukommelsen siden begynnelsen av fase 1 og opp til en grense av de siste $N=360$ verdier idet hellingen P , den ekstrapolerte helling PX og krummingen $C = dP/dt$. Sammenligningen av verdiene P , PX og C som beregnes på denne måte med de respektive referanseverdier, initierer så de riktige kommandoer til innretningene for bryting av aluminiumoksyd-skorpen og tilmatning, via kontroll-systemet. I det foreliggende tilfellet er disse referanseverdier:

$$30 \quad \begin{array}{lll} P0 & = & 66 \text{ } \Omega/\text{s} \\ PX0 & = & 110 \text{ p } \Omega/\text{s} \\ C0 & = & 0.065 \text{ p } \Omega/\text{s}^2. \end{array}$$

- Det midlere aluminiumoksyd-forbruket pr. time for en 400 000 ampère celle er i størrelsesorden 230 kg $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{time}$, noe som tilsvarer referansematehastigheten eller den teoretiske matehastighet CT . De følgende definisjoner gjøres for eksempel i forhold til denne teoretiske hastighet:

$$CL \text{ langsom hastighet} = CT - 25 \%, \text{ det vil si } 173 \text{ kg } \text{Al}_2\text{O}_3/\text{time}, \text{ benyttet i matefase 1.}$$

CR høy hastighet = CT + 25 %, det vil si 288 kg Al_2O_3 /time.

CUR ultrahøy hastighet = 4 CT, det vil si 920 kg Al_2O_3 /time, benyttet i matefase 2.

5 Hvis cellen er under vanlige driftsbetingelser og tilmatningen er i fase 1, er en typisk sekvens for kontroll av aluminiumoksyd-matchastigheten, som følger:

- a) De typiske verdier finnes ved slutten av cyklus i) med varighet $T = 3$ minutter.
- 10 $R(i) = 5.924 \mu\Omega$
 $P(i) = 26 \text{ p}\Omega$
 $PX(i) = 31 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 $C(i) = 0.028 \text{ p}\Omega/\text{s}^2$.
 Matefase 1 fortsetter.
- b) Ved slutten av cyklusen i+1 og for de verdiene for $P(i+1)$ og $PX(i+1)$ fremdeles
 15 er under referanse-settpunktene $P0 = 65 \text{ p}\Omega/\text{s}$ og $PX0 = 110 \text{ p}\Omega/\text{s}$, fortsetter matefase 1.
- c) De følgende verdier finnes ved slutten av cyklus i+2:
- 20 $R(i+2) = 5.936 \mu\Omega$
 $P(i+2) = 71 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 $PX(i+2) = 75 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 $C(i+2) = 0,002 \text{ p}\Omega/\text{s}^2$
 som initierer endring til matefase 2 ved høyhastighets CR for en varighet på 12
 minutter (som beregnes i forhold til hellingen av slutten av cyklusen under
 25 betraktning på basis av det eksperimentelt definerte forhold: varighet i minutter
 $= 0,083 \times P(i) + 6$ avrundet til neste høyere minutt, det vil si i det foreliggende
 tilfellet: $0,083 \times 71 + 6$ lik ca. 12 minutter).
- d) Fase 2 fortsetter inntil starten av cyklus i+7, til hvilket tidspunkt matefase 1
 30 begynner igjen.
- e) De følgende verdier finnes ved slutten av cyklus i+7:
- 35 $R(i+7) = 5.898 \mu\Omega$
 $P(i+7) = 7 \mu\Omega/\text{s}$
 $PX(i+7) = 10 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 $C(i+7) = 0.017 \text{ p}\Omega/\text{s}^2$
 og matefase 1 fortsetter.

- f) Ved slutten av cyklus i+8 og i+9 og fordi verdiene av hellingene $P(i+8)$ og $P(i+9)$ såvel som verdien for de ekstrapolerte hellingene $PX(i+8)$ og $PX(i+9)$ fremdeles er under sine referanse-settpunkter P_0 henholdsvis PX_0 , fortsetter
5 matefase 1.
- g) De følgende verdier finnes ved slutten av cyklus i+10:
 $R(i+10) = 5.917 \mu\Omega$
 $P(i+10) = 108 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 10 $PX(i+10) = 120 \text{ p}\Omega/\text{s}$
 $C(i+10) = 0.067 \text{ p}\Omega/\text{s}^2$
 og matefase 2 initieres med umiddelbar ultrahøy matehastighet i et på forhånd
 bestemt tidsrom på 2 minutter (CUR-matehastigheten fikseres generelt til en
 verdi mellom 1 og 5 minutter for å sikre hurtig aluminiumoksyd-supplering i
 15 badet uten å risikere metning og som en konsekvens en begroing av cellen).
 Etter 2 minutter går matefase 2 over til høy hastighet for en beregnet varighet på
 15 minutter $[0.083 \times P(i+10) + 6 \text{ avrundet til nest høyere minutt}]$.
- h) Ved slutten av $(2+15) = 17$ minutter, det vil si under cyklus i+16, begynner
20 matefase 1 igjen.
- i) Ved slutten av cyklus i+16 og for de verdiene for $P(i+16)$ og $PX(i+16)$ fremdeles
 ligger under referanse-settpunktene P_0 og PX_0 fortsetter matefase 1 og en mer
 generell kontroll av aluminiumoksyd-konsentrasjonen i elektrolysebadet fort
 25 setter også i henhold til de regler som er fastlagt i det ovenfor anførte.

Ved gjennomføring av fremgangsmåten som er definert på denne måte er, etter mer enn
 6 måneders drift i 400 000 ampère prototype-celler ved bruk av et kryolitt-basert elek-
 trolysebad inneholdende 12 % overskudd av AlF_3 og derfor med markert sur karakter,
 30 og ved en temperatur på 950°C , aluminiumoksyd-innholdet opprettholdt kontinuerlig
 mellom 1,5 % og 3,5 % med en midlere verdi på 2,1 %.

I løpet av dette tidsrom var den midlere Faraday-effektivitet 95,6 % og anode-effekt-
 forholdet var 0,018 AE/celle/dag.

P a t e n t k r a v

1.

- 5 Fremgangsmåte for kontroll av aluminiumoksyd-innholdet i badet i en celle for fremstilling av aluminium ved elektrolyse av aluminiumoksyd, oppløst i et smeltet kryolitt-base-salt, der prosessen benytter aluminiumoksyd-tilmatning i en hastighet modulert som en funksjon av verdien og endringen av resistansen R i cellen som beregnet fra differansen av elektrisk potensial, målt ved celle-elektrode-polene, der faser av aluminiumoksyd undermatning med tilførsel av aluminiumoksyd i lav hastighet CL (fase 1) alternerer med faser med aluminiumoksyd-overmatning med tilførsel av aluminiumoksyd i en høy hastighet CR eller meget høy hastighet CUR (fase 2), sammenlignet med en referanse-hastighet eller teoretisk hastighet CT tilsvarende den midlere, teoretiske hastighet for aluminiumoksyd-forbruket i cellen,
- 10 k a r a k t e r i s e r t v e d kontrollcykler med varighet T , omfattende de følgende operasjons-sekvenser i hver cyklus:

- A) Ved slutten av hver kontroll-cyklus i) beregnes den midlere resistans $R(i)$, graden av endring av resistans eller resistanshellingen $P(i)$ og graden av endring av resistanshellingen eller krummingen $C(i)$ og en prediksjon foretas med
- 20 henblikk på verdien av resistans-hellingen på tidsrommet $t(i+1)$ eller ekstrapolert helling $PX(i)=P(i)+C(i)\times T$, som er et estimat av den fremtidige resistans-helling $P(i+1)$ ved slutten av kontroll-cyklusen $i+1$;
- B) Verdien av $R(i)$ sammenlignes med en settpunktverdi R_0 og på denne basis
- 25 transmitteres de følgende kommandoer for å bevege anoderamme-posisjonen: forkort anode-metall-avstanden (pot-squeeze) eller forleng anode-metall-avstanden (pot-unsqueeze);
- C) Aluminiumoksyd-tilmatningen kontrolleres som en funksjon av verdiene av hellingen $P(i)$, krummingen $C(i)$ og den ekstrapolerte helling $PX(i)$ på en slik måte at det kompenseres for variasjoner i aluminiumoksyd-innholdet ved å antisipere dem.
- 30

2.

- 35 Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at aluminium-tilmatningen i trinn C) kontrolleres som en funksjon av verdien av hellingen

$P(i)$, krummingen $C(i)$ og den ekstrapolerte helling $PX(i)$ i forhold til referanse-settpunkter $P0$, $C0$ henholdsvis $PX0$.

3.

- 5 Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t aluminiumoksyd-tilmatningen i trinn C) kontrolleres under de følgende betingelser:

- Hvis aluminiumtilmatningen er i fase 1, sammenlignes verdiene $P(i)$, $C(i)$ og $PX(i)$ respektivt med referanse-settpunktene $P0$, $C0$ og $PX0$:
 - 10 - hvis $P(i) < P0$ og $PX(i) < PX0$, fortsetter fase 1;
 - hvis $P(i) \geq P0$ eller $PX(i) \geq PX0$, skjer det en endring til aluminiumoksyd-matefase 2:
 - hvis $C(i) \geq C0$ begynner fase 2 med en ultrahurtig matehastighet i et på forhånd bestemt eller beregnet tidsrom, som følges av en
 - 15 tilmatning med høy hastighet i et på forhånd bestemt eller beregnet tidsrom, idet beregningen av tidene gjennomføres som en funksjon av verdiene som beregnes ved slutten av den foregående definerte kontroll-syklus;
 - hvis $C(i) < C0$ endres aluminiumoksyd-tilmatningen direkte til
 - 20 høy hastighet i et på forhånd bestemt tidsrom eller et tidsrom som er beregnet som en funksjon av verdiene som ble beregnet ved slutten av den forutgående definerte kontroll-syklus.
 - Hvis aluminiumoksydmatningen er i fase 2:
 - 25 - fase 2 fortsetter normalt i den på forhånd bestemte tid eller den tid som ble beregnet ved slutten av den forutgående fase 1.

4.

- 30 Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d a t kontroll-prosedyren autoriseres kun når cellen er i normal driftstilstand eller med andre ord er korrekt kontrollert, stabil og fri for hendelser som ville forstyrre driften eller kontrollen som bytte av anode, tapping av metall eller spesifikke kontroll-prosedyrer, og at kontroll-prosedyren begynner med en fase 1 av aluminiumoksyd-undermating.

5.

Fremgangsmåte ifølge et hvilket som helst av kravene 1 til 4, k a r a k -
t e r i s e r t v e d at cellen, ved slutten av aluminium-matefasen 2, re-
turnerer til fase 1, forutsatt at cellen er i normal driftstilstand.

5

6.

Fremgangsmåte ifølge et hvilket som helst av kravene 1 til 5, k a r a k -
t e r i s e r t v e d at, ved slutten av fase 2, aluminiumoksydtilmatningen
går over til den teoretiske hastighet eller til en stand-by-fase hvis cellen ikke er i normal
10 driftstilstand, og så gjenopptar fase 1 så snart cellen har gjenvunnet normal driftstil-
stand.

7.

Fremgangsmåte ifølge kravene 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
15 v e d at, hvis varigheten av fase 1 overskrider et på forhånd bestemt tidsrom og hvis
antallet "pot unsqueeze"-kommandoer under denne fase 1 overskrider et på forhånd be-
stemt sikkerhets-settpunkt, detekteres at badet er for rikt på aluminiumoksyd og at alu-
miniumoksyd-tilmatningen reduseres meget drastisk eller fullstendig stanses for å spyle
badet for overskytende aluminiumoksyd.

20

8.

Fremgangsmåte ifølge krav 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
v e d at, hvis antallet "pot squeeze"-kommandoer under en slik fase 1 overskrider et
på forhånd bestemt sikkerhets settpunkt, aluminiumoksyd-matefase 2 initieres uansett
25 verdiene for resistans-hellingen og den ekstrapolerte helling.

9.

Fremgangsmåte ifølge krav 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
v e d at, hvis krummingen overskrider et på forhånd bestemt sikkerhets-settpunkt,
30 aluminiumoksyd-matefase 2 initieres uansett verdiene for resistans-hellingen og den
ekstrapolerte helling.

10.

Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at
35 hver kontroll-cyklus 1 med varighet T mellom 10 sekunder og 15 minutter deles i n
elementære cykler k med varighet t mellom 1 sekund og 15 minutter.

11.
Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 10, k a r a k t e r i s e r t
v e d at resistansen $R(i)$ som beregnes ved slutten av hver kontroll-lyklus med va-
righet T er den midlere resistans over de siste n -a elementcykler i kontroll-lyklusen, det
5 vil si de første a elementære cykler av kontroll-lyklusen under hvilke kontroll-systemet
kan transmittere kommandoer for å justere anode-ramme-posisjonen for å modifisere
resistans-nivået, elimineres.
12.
10 Fremgangsmåte ifølge krav 10 eller 11, k a r a k t e r i s e r t
v e d at den midlere resistans $r(k)$ av den elementære lyklus beregnes ved slutten av
hver elementære lyklus k med varighet t og at de suksessive verdier $r(k)$ lagres i hu-
kommelsen.
- 15 13.
Fremgangsmåte ifølge krav 12, k a r a k t e r i s e r t v e d at
verdiene $r(k)$ lagres i hukommelsen under fase 1 i henhold til en grense for de siste N
verdier.
- 20 14.
Fremgangsmåte ifølge kravene 12 eller 13, k a r a k t e r i s e r t
v e d at resistans-hellingen $P(i)$, den ekstrapolerte helling $PX(i)$ og krummingen $C(i)$
som bestemmes ved slutten av hver kontroll-lyklus i med varighet T beregnes fra histo-
rien fra de midlere resistanser $r(k)$ av de elementære cykler ved en hvilken som helst
25 metode som er i stand til å jevne ut rådata $r(k)$ under eliminering av resistens-variasjoner
på grunn av kommandoer for å justere anode-rammeposisjonen.
15.
Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 14, k a r a k t e r i s e r t
30 v e d at resistanshellingen $P(i)$ og hjelpeparametrene $PX(i)$ og $C(i)$ beregnes ved
parabolisk regresjon over resistansene eller ved lineær regresjon over resistans-
variasjonene, eller ved en hvilken som helst annen metode som er ekvivalent ikke-
lineær regresjon over resistansene.

16.

- Fremgangsmåte ifølge kravene 1, 14 eller 15, k a r a k t e r i s e r t
v e d at metoden som benyttes for beregning av resistanshellingen $P(i)$ og hjelpe-
parametrene består i en lineær regresjon over de øyeblikkelige hellinger $dr(k) = r(k) -$
5 $r(k)$ etter eliminering av cyklene under hvilke kommandoer for å justere anode-ramme-
posisjonen, transmitteres.

17.

- Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 16, k a r a k t e r i s e r t
10 v e d at verdien av resistans-hellingen $P(i)$ tilsvarer ordinaten på tidspunktet $t(i)$ av
linjen av lineær regresjon over de øyeblikkelige hellinger.

18.

- Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 16, k a r a k t e r i s e r t
15 v e d at den predikterte verdi for resistans-hellingen for cyklusen $i+1$ eller ekstrapo-
lerte helling $PX(i)$ tilsvarer ordinaten av regresjonslinjen ekstrapolert til tidspunktet
 $t(i+1) = t(i) + T$.

19.

- 20 Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 16, k a r a k t e r i s e r t
v e d at verdien for krummingen $C(i)$ gies ved fallet av linjen av lineær regresjon
over de øyeblikkelige hellinger.

20.

- 25 Fremgangsmåte ifølge krav 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
v e d at referanse-settpunktene $P0$, $PX0$ og $C0$ kan anta forskjellige, på forhånd be-
stemte verdier eller verdier beregnet i henhold til driftsbetingelsene i cellen.

21.

- 30 Fremgangsmåte ifølge krav 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t
v e d at, for en celle som arbeider ved 400 kA, referansehellingen $P0$ legges mellom
10 og 150 pΩ/s, den ekstrapolerte referansehelling $PX0$ til mellom 10 og 200 pΩ/s og
referansekrummingen $C0$ fikseres til mellom 0,010 og 0,200 pΩ/s².

22.

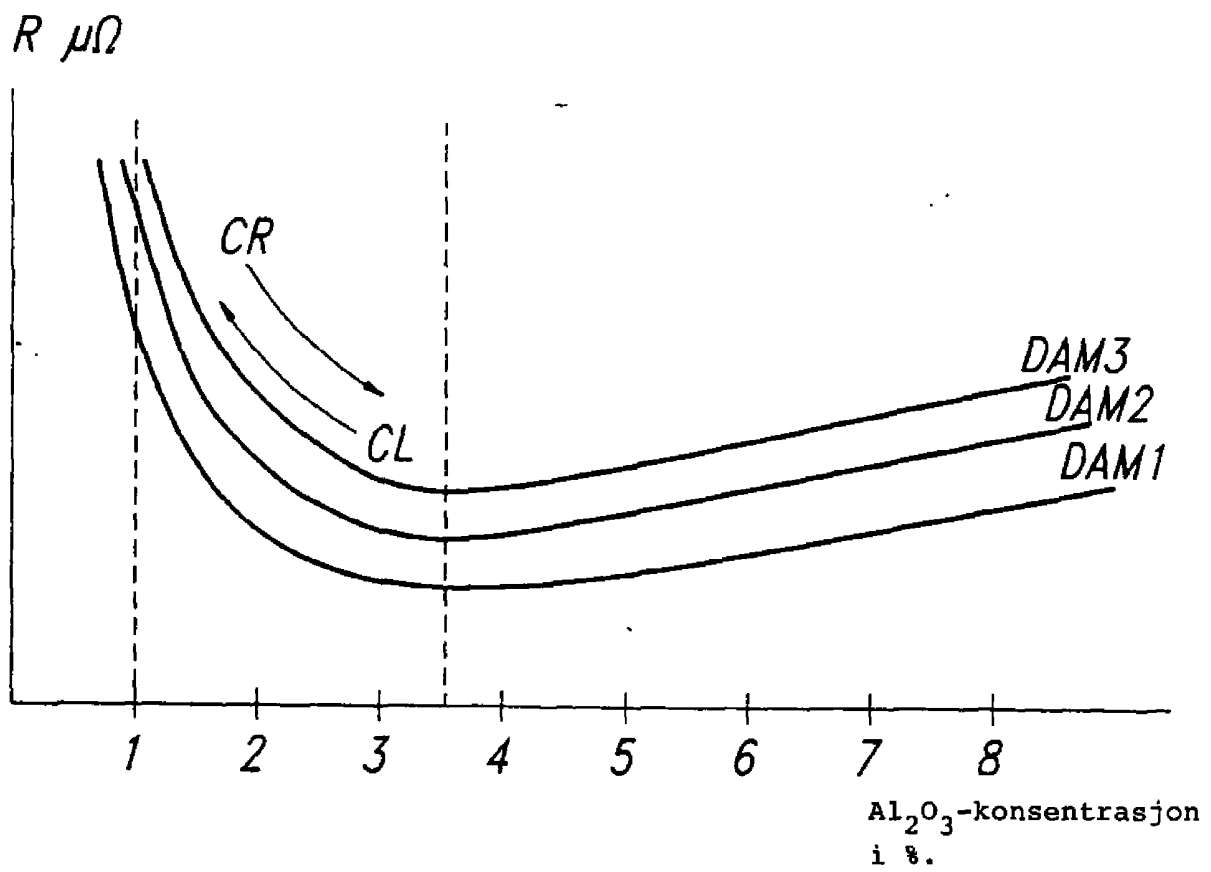
Frengangsmåte ifølge krav 1, 2, 3 eller 21, k a r a k t e r i s e r t
v e d at driftsegenskapene for resistans R, resistanshelling P, ekstrapolert helling PX
og krumming C, som gjelder for en celle med strøm I = 400 kA, kan transponeres til

5 celler med lavere eller høyere strøm I' i henhold til forholdene:

$$\begin{array}{rcl}
 R' & = & R \times 400/I' \\
 P' & = & P \times 400/I' \\
 PX' & = & PX \times 400/I' \\
 10 \quad C' & = & C \times 400/I'.
 \end{array}$$

1.3

FIG. 1



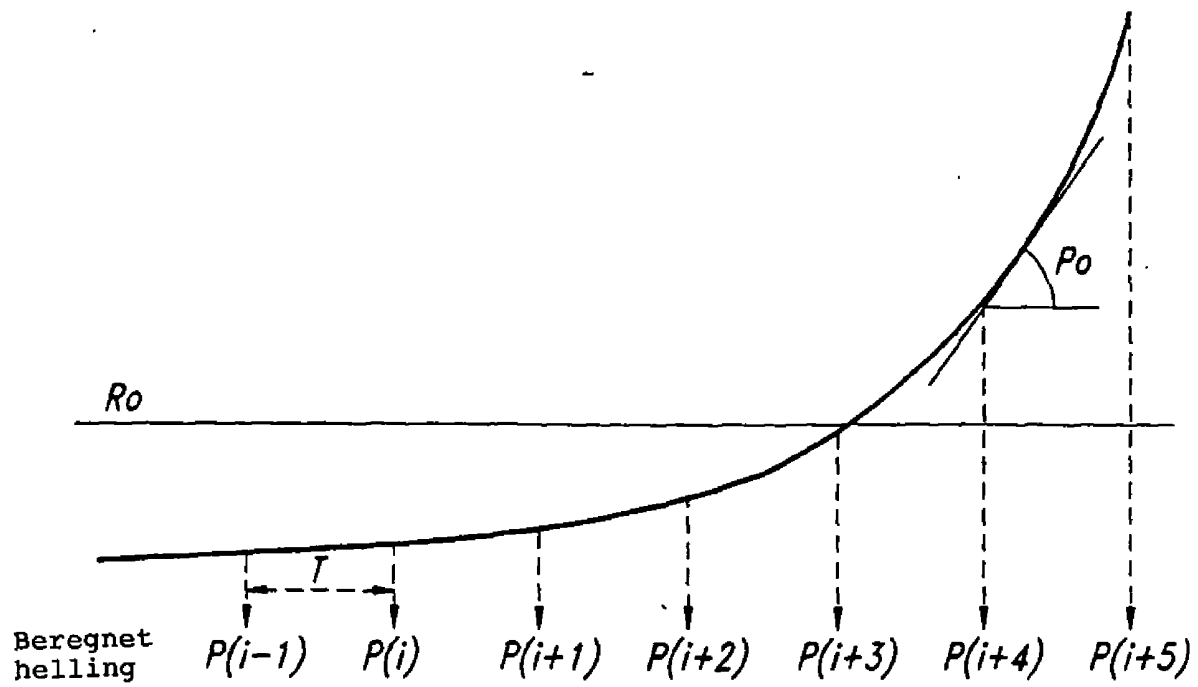
CR: Høy hastighet.

CL: Lav hastighet.

DAM: Avstand anode - metall.

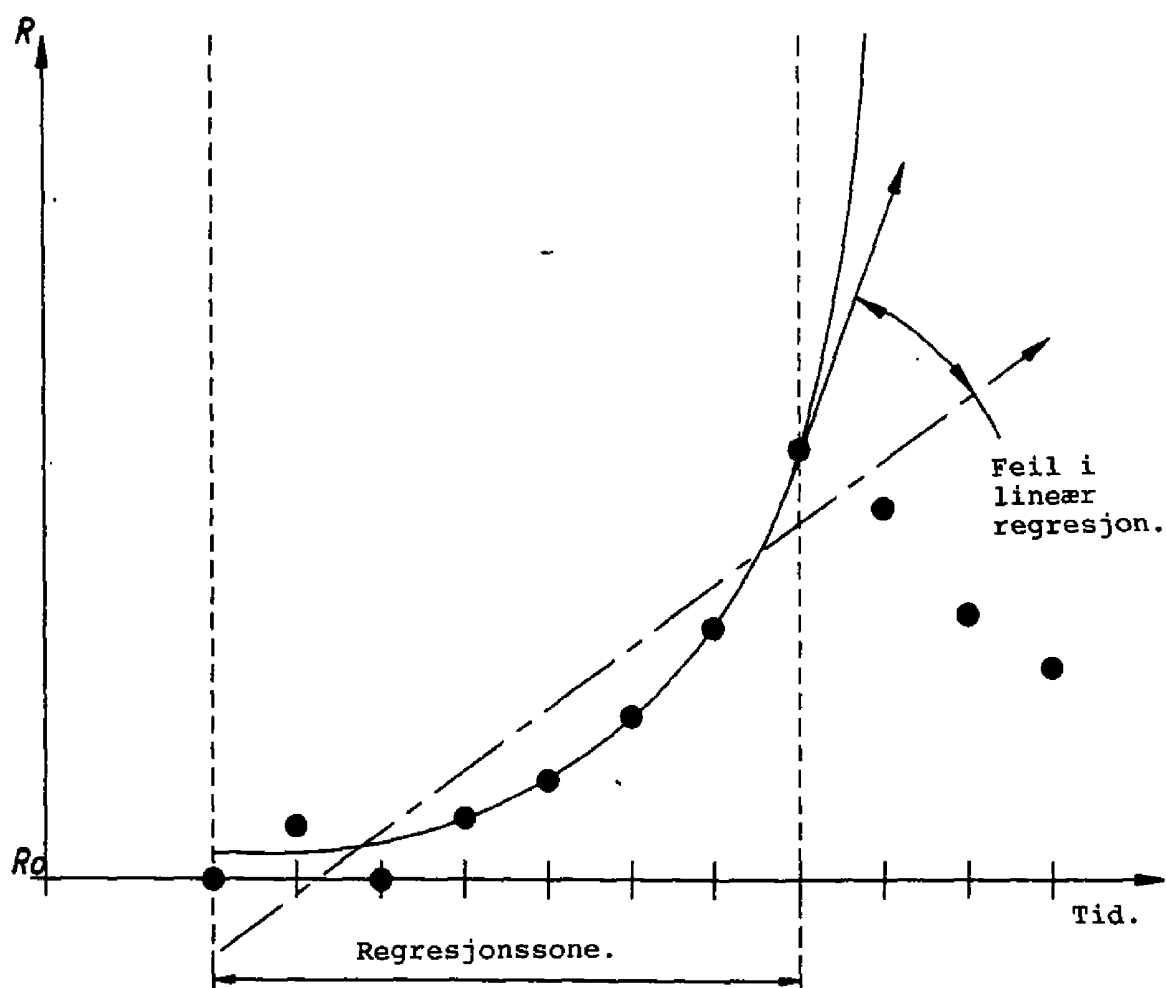
2.3

FIG.2



3.3

FIG.3



• • • •	Intialkurve.
—————	Parabolisk regresjon.
-----	Lineær regresjon.