

ELEMENTE ELECTROCHIMICE DE EXECUȚIE

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Gutt
Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
Prof. univ. dr. ing. Sonia Gutt
Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava

Rezumat

Elementele electrochimice de execuție sunt în principiu motoare liniare pneumatice alimentate și comandate electric ale căror energie de volum rezultă din presiunea gazelor produse pe cale electrochimică. Drumul de poziționare se obține cu ajutorul unui burduf care se dilată sau se contractă datorită presiunii unui gaz produs prin reacții de electrod. Presiunea gazelor din burduf produce o forță ce învinge forța de reacție a unui element de închidere/ deschidere prin intermediul căruia se reglează un flux de energie sau de materiale. Dilatarea burdufului are loc până în poziția ce corespunde egalității celor două forțe. Pentru retragerea burdufului se scade presiunea gazelor. Acest lucru se realizează prin inversarea polarității, respectiv prin scurtcircuitarea alimentării electrice a electrozilor celei electrochimice. Utilizările acestui tip de element de execuție sunt în domeniul lanțurilor de reglare automate lente a fluxului de energie sau de materiale.

Kurzfassung

Elektrochemische Aktoren sind prinzipiell pneumatische Liniarmotoren die elektrisch gespeist und gesteuert werden und deren Volumenarbeit durch den Druck von Gasen, die auf elektrochemischen Weg erzeugt werden, gegeben wird. Der Stellweg wird mit Hilfe eines Faltebalgs erzeugt, der sich über ein auf elektrochemischem Weg erzeugten Gas druckabhängig ausdehnt oder faltet. Der Gasdruck im Balg erzeugt eine Kraft welche die Reaktionskraft des betätigten Schliess Öffnungselements des geregelten Energie- oder Materialflusses überwindet. Die Dehnung des Balges volzieht sich bis zur Gleichheit der beiden Kräfte. Zwecks des Faltens des Balges wird der Druck der erzeugten Gase abgebaut. Dieses geschieht über Umpolung oder über den Kurzschluss der Elektroden der elektrochemischen Zelle. Die Anwendungen dieses Aktorentypes sind hauptsächlich im Bereich langsamer automatischen Regelungen von Energie oder Materialflüssen.

Abstract

Electrochemical actuators are always linear motors, electrically fed and controlled those volume work results from the gases pressure, which are produced on electrochemical way. A bellows device produces the regulating distance by expanding or holding a gas produced on electrochemical way. The force of pressure gases overcomes the reaction force of the operated element, which adjust the material or energy flux. The expansion of the bellows device volume pulls itself up to the equality of the two forces. The gases pressure is diminished for folding the bellows. This takes place over pole reversal or over short circuit of the electrochemical cell electrodes. Applications of this type of actuator are mainly in the area more slowly automatic regulations of energy or flow of material.

Într-un lanț de reglare automată elementul de execuție constituie o verigă de legătură importantă între partea de prelucrare informațională și procesul industrial sau neindustrial propriu-zis.

Comanda unui element de execuție se realizează întotdeauna printr-un curent sau o tensiune, iar alimentarea se face cu energie electrică, pneumatică sau hidraulică. Ieșirea unui element de execuție o

constituie de regulă un lucru mecanic în măsură să acționeze prin elemente specifice asupra fluxurilor de energie, masă sau volum modificându-le în scopul dorit. Simplificând, se poate spune că un element de execuție este un transformator de energie oarecare în energie mecanică.

Celulele electrochimice sub formă de baterii sau acumulate, ca transformatori de energie chimică pe cale electrochimică în energie electrică, sunt folosite de mult timp ca surse electrice mobile. Mai puțin cunoscuți și folosiți sunt transformatorii de energie chimică pe cale electrochimică în energie mecanică, transformatori cărora li se dedică în ultima vreme eforturi de cercetare importante reușindu-se într-un timp extrem de scurt trecerea în producție de serie a unor elemente electrochimice de execuție. Pentru a putea folosi reacții electrochimice în tehnica acționării, ca elemente de execuție, există două căi posibile:

- modificarea materiei prin reacții electrochimice:
- producerea de materie prin reacții electrochimice

Prima cale este principial posibilă, însă din cauza faptului că reacțiile electrochimice, unde este folosită, nu sunt total reversibile ea nu are reproductibilitatea și fiabilitatea necesară. Folosirea celulei electrochimice ca element de execuție se bazează în principal pe cea de a doua cale și anume pe folosirea energiei de presiune a gazelor rezultate în urma electrolizei la cei doi electrozi. Principial, aceste elemente de

execuție senzori pot fi asemănați cu motoare liniare pneumatice cu precizarea că, gazele ce execută lucrul mecanic provin din electroliză și se supun legiților cantitative ale acesteia.

Din punct de vedere cantitativ producerea gazelor la electrozii unei celule de electroliză este descrisă de legea lui Faraday :

$$n_{\text{gaz}} = It / zF \quad (1)$$

unde:

n_{gaz} - numărul de moli de gaz degajați la unul din electrozii celulei de electroliză

I - intensitatea curentului electric, [A]

z - valența

t - timpul de electroliză, [s]

F- constanta lui Faraday, [A · s · mol⁻¹]

Fenomenul de transformare a energiei de volum a unui număr de moli de gaz (n_{gaz}), rezultați prin electroliză, în lucru mecanic de acționare, este descris cantitativ de legea gazelor:

$$PV = nRT \quad (2)$$

unde:

P - presiunea gazelor dezvoltate, [N/m²]

V - volumul de gaz dezvoltat, [m³]

n - numărul de moli de gaz rezultați din procesul de electroliză

r - constanta universală a gazelor [8,31·10³J/Kmol·°K]

T - temperatura, [°K]

Dat fiind faptul că la electroliza apei hidrogenul are nevoie numai de un transfer

de electroni, iar oxigenul are nevoie de două transferuri de electroni, din electroliză rezultă două volume de hidrogen și numai un volum de oxigen, motiv pentru care primul este preferat pentru producerea lucrului mecanic cu toate problemele pe care le produce la etanșări [Jen 98]. În figura 1 este reprezentată schema de principiu a unui element electrochimic de acționare cu burduf (1) și pachete de electrozi (2).

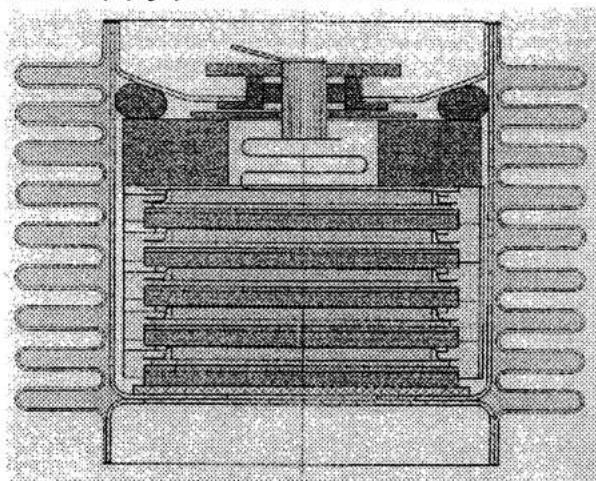


Fig.1. Schema de principiu a unui element electrochimic de acționare cu burduf
1-burduf; 2-pachet de electrozi.

Principial, sunt posibile trei tipuri de reacții electrochimice și celule electrochimice aferente ce pot funcționa ca elemente de execuție mecanice:

- element electrochimic de execuție tip celulă de combustie,
- element electrochimic de execuție tip pompă de oxigen,
- element electrochimic de execuție tip corp solid- gaz.

I. Element electrochimic de execuție tip celulă de combustie

Așa cum este cunoscut [Gut 91], celula electrochimică de combustie este un transformator de energie chimică, pe cale electrochimică, în energie electrică. Ea formează baza unui concept de folosire a oxigenului și a hidrogenului în tracțiunea electrică a autovehiculelor. Există două avantaje mari ale acestui tip de tracțiune :

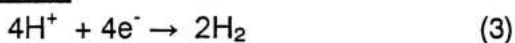
1. este complet nepoluant, din consumul celor două gaze în celula de combustie rezultând apă și energie electrică cu care se acționează motorul electric de tracțiune.
2. reversibilitatea celulei electrochimice și a motorului de tracțiune permite alimentarea primei cu energie electrică generată de către motorul electric de tracțiune transformat în generator la coborârea pantelor și producerea celor două gaze oxigen și hidrogen în celula electrochimică.

După cum s-a arătat și elementul electrochimic de execuție este un transformator (motor) reversibil în sensul că pentru producerea lucrului mecanic de poziționare este nevoie de gaze produse pe cale electrochimică, iar pentru retragerea elementului de acționare este nevoie de consumul acestor gaze. Privită în acest fel, problematica teoretică a celulei electrochimice de combustie este aceeași cu cea a elementului electrochimic de execuție. Acesta este și motivul pentru care denumirea primului tip de element electrochimic de execuție este acela de "Element electrochimic de execuție tip celulă

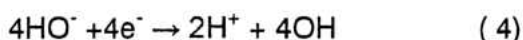
de combustie", cercetările în domeniul celulelor de combustie fiind cu mult premergătoare celor din domeniul elementelor electrochimice de execuție.

La folosirea electrolizei apei în mediu acid, (acid sulfuric sau acid fosforic – cel din urmă fiind mai recomandat din motive de mediu și de protecție a materialului celulei de electroliză), pentru producerea hidrogenului și oxigenului necesar acționării unui element de execuție, au loc următoarele reacții la cei doi electrozi ai celulei electrochimice :

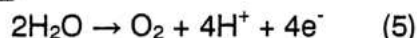
la catod:



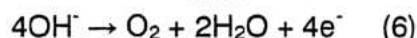
sau:



la anod:



sau:



Desfășurarea acestor reacții din punct de vedere a vitezei lor, dar și a sensului de reacție este influențată de temperatură, de presiune precum și de efectul catalitic al electrozilor (atunci când acesta există). Din motive de densitate de curent limită [Gut 86],[Gut 88], productivitatea procesului mai este influențată de suprafața activă a electrozilor, motiv pentru care aceștia se fabrică din pulberi și substanțe granulare din cărbune și grafit. Îmbinarea acestor materiale în electrozi de o anumită geometrie, mărime și rezistență mecanică se realizează prin sinterizare cu folosirea unui liant polimeric special. Pe lângă funcțiile

enumerat mai sus liantul trebuie să asigure și o anumită capacitate de umectare, astfel încât să se asigure tot timpul prezența în condiții optime a fazelor lichidă, gazoasă și solidă la interfața electrozilor. Folosirea în amestecurile de sinterizare a pulberii de platină sau de paladiu drept catalizator are un efect benefic asupra vitezei de formare pe cale electrochimică a gazelor hidrogen și oxigen. Efectul catalizatorului este și mai pronunțat la reacția inversă de consum pe cale electrochimică a gazelor în cadrul procesului de re poziționare a elementului electrochimic de execuție. Pentru a împiedica amestecarea hidrogenului și a oxigenului rezultate la electroliza apei (amestecul se găsește în raport stoechiometric și poate duce la inițiere prin scânteie la explozie cu reformarea apei) se folosesc membrane polimerice semipermeabile. Asemenea membrane folosite la scară largă și în industria clorosodică [Jen 98], se bazează pe diferența foarte mare între dimensiunea moleculei de hidrogen și dimensiunea moleculei de oxigen.

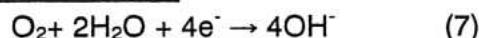
Cu toate că problematica teoretică este bine lămurită, prezența concomitentă a celor două gaze, chiar și separate de o membrană, complică tehnic soluția constructivă pentru elemente electrochimice de execuție bazate pe principiul celulei de combustie.

II. Element electrochimic de execuție tip pompă de oxigen

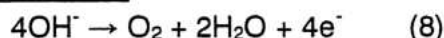
La folosirea pompei de oxigen ca element electrochimic de execuție pentru obținerea

presiunii de oxigen necesare se menține potențialul catodului acid de oxigen în domeniul reducerii oxigenului. La cei doi electrozi au loc următoarele reacții:

electrod de lucru:



contraelectrod:



Sistemul este deschis unilateral, oxigenul din aer reducându-se la electrodul de lucru (7), iar la electrodul opus are loc oxidarea apei sau a hidroxilului la oxigen gazos (8), [Jen 98]. Acest lucru înseamnă că la creșterea presiunii transportul oxigenului se realizează din aer prin faza lichidă în camera de presiune (burduf). Ca și în cazul elementului de execuție de tip celulă de combustie și aici este folosită o membrană separatoare cu deosebirea că aceasta separă spațiul interior al celulei electrochimice de atmosferă.

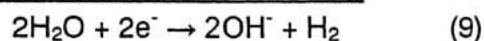
Acest tip de element are avantajul lucrului cu un singur gaz, însă are și dezavantajul sistemului deschis care duce la o utilizare îndelungată la pierderea apei din electrolit, de unde necesitatea unor celule de dimensiuni mai mari care să ofere o capacitate suficient de mare de stocare pentru electrolit, încât să fie asigurată funcționarea pe termen lung a elementului electrochimic de execuție.

III. Element electrochimic de execuție tip corp solid- gaz

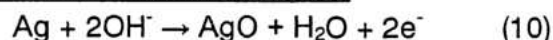
Celula electrochimică de acest tip este indicată pentru realizarea elementelor de

execuție electrochimică întrucât lucrează închis cu degajarea unui singur gaz, a hidrogenului, oxigenul fiind folosit pentru oxidarea anodului metalic. Cel mai recomandat metal pentru anod, din motive de raport preț/calitate, este argintul. Reacțiile ce se petrec la cei doi electrozi sunt următoarele;

la catod (electrod de cărbune):



la anod (electrod de argint):



Folosirea la anod a unui electrod metalic presupune un mediu de lucru alcalin deoarece un acid ar dizolva anodul în timp, acesta transformându-se ireversibil în săruri ale metalului. Cel mai recomandat electrolit este hidroxidul de potasiu care la concentrația de 25% are conductivitatea specifică maximă de $0,500 \Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, valoarea pH-ului la această concentrație este de 14, [Jen 98]. Dat fiind faptul că în timpul exploatării se modifică concentrația electrolitului datorită pierderii de apă la început se folosește o concentrație de numai 20% KOH care se concentrează în timp până în jurul valorii optime de cca 25%.

La acest tip de element electrochimic nu mai este nevoie de o membrană separatoare ion selectivă pentru separarea spațiului anodic de cel catodic, ci pur și simplu de o membrană permeabilă ieftină și rezistentă la mediu bazic ce separă spațiul anodic de cel catodic. Un element de execuție de tip corp-solid gaz este

asemănător unui acumulator electric. Reacțiile electrochimice opuse (retragerea rapidă a burdufului) se desfășoară prin scurtcircuitarea celor doi electrozi. Pentru retrageri lente este posibil ca energia electrică produsă de reacțiile inverse să alimenteze un acumulator oferind o autonomie de lucru mare acestui tip de element de execuție chiar și atunci când lipsește tensiunea electrică în rețeaua de alimentare a celei electrochimice.

VI. Construcția, caracteristicile și utilizarea elementelor electrochimice de acționare

Așa cum s-a menționat deja elementele electrochimice de execuție sunt practic niște celule electrochimice speciale ce funcționează în interiorul unui burduf pneumatic. Unul din gazele hidrogen și oxigen ce se formează la electrozi în procesul de electroliză produce prin energie de volum dilatarea, respectiv prin consumul gazului la electrod, contracția burdufului.

Problematica constructivă nu este însă chiar așa de simplă pe cât pare. Nu trebuie uitat că hidrogenul este elementul cu atomul cel mai mic în măsură să pătrundă chiar și prin rețeaua cristalină a metalelor cu atât mai mult prin niște etanșări. De asemenea, trebuie rezolvată fie separarea celor două gaze prin membrane speciale permeabile numai pentru unul dintre ele, fie optat pentru consumul oxigenului la anod, cu oxidarea metalului anodului. La acestea se mai adaugă și altele cum ar fi realizarea unor electrozi performanți cu suprafață activă mare, reducerea cât mai mult posibil a volumului liber din interiorul elementului de execuție, în vederea măririi vitezei de răspuns, etc. Dată fiind importanța acestui tip de element de execuție o mare parte din aceste probleme au fost parțial rezolvate, la ora actuală găsindu-se pe piață ca produse de serie primele elemente electrochimice de execuție. În tabelul 1 sunt prezentate principalele caracteristici a două asemenea elemente de execuție.

Tabelul 1

Caracteristicile de bază pentru două elemente de execuție electrochimice [Jen 98]

Parametru	SK5/30	SK16/3000	Unitate măsură
Drum de poziționare x_{max}	5	16	mm
Forță de poziționare	300	3000	N
Timp de poziționare	150 (I_{max})	100 (I_{max})	s
Viteză de poziționare v_s (F_{max})	0,033 (I_{max})	10,16 (I_{max})	mm/s
Tensiune de alimentare U_a	12	36	V(DC)
Curent de lucru maxim I_{max}	300	1000	mA
Temperatură de lucru	-5 ...+60	-5 ...+60	°C
Masă	50	275	g
Durată de viață	100.000	100.000	cicluri
Stabilitate ciclu	> 99	> 99	%/h
Volum	32	170	cm ³

Concluzii

Elementele de execuție electrochimice constituie o perspectivă interesantă pentru acționări lente de mare fiabilitate. Structura compactă și durata de exploatare extrem de

mare combinată cu avantajul funcționării unei perioade apreciable fără curent exterior, precum și raportul preț /calitate bun, recomandă aceste elemente în special pentru reglarea fluxurilor termice de încălzire, dar și în alte aplicații precum aerisiri, irigații etc.

Bibliografie

- [Bon 91] Bonfig, K., W., Lagois J., Moll R. Sensoren und Sensorsysteme, Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, (1991), pag. 542, 575
- [Gut 98] Gutt S., Gutt G., Analiză instrumentală, Editura Universității „Ștefan cel Mare”, Suceava, (1998), pag. 263
- [Gut 86] Gutt G., Teză de doctorat, Iași 1986
- [Gut 88] Gutt G., Teză de doctorat, Iași 1986
- [Gut 91] Gutt S., Electrochimie, Editura Universității „Ștefan cel Mare”, Suceava 1992
- [Gut 98] Gutt Gh., Gutt S., Propunere de invenție - sistem de închidere cu element de execuție electrochimic, OSIM București 2002
- [Hes 96] Hess St., Lexikon Sensoren in Fertigung und Betrieb, Expert Verlag Renningen - Malsheim, (1996), pag. 147
- [Jen, 95] Jendritza D., J., Kuhnen K., Einsatz und Marktpotenziale elektrochemischer Aktoren, Vogel Verlag GmbH, Würzburg, 1995, pag. 60-80
- [Jen 98] Jendritza D., J., Kempe W., Technischer Einsatz neuer Aktoren, Expert Verlag Renningen - Malsheim, (1998), pag. 368
- [Sch 00] Schmitz G., Jendritza D., J., Mechatronik im Automobil, Expert Verlag Renningen - Malsheim, (2000), pag. 24 - 25