

SINTEZĂ ASUPRA SISTEMELOR DE ACȚIONARE ELECTRICĂ UTILIZATE ÎN INDUSTRIA PETROLIERĂ SPECIFICĂ FORAJULUI MARIN

Adelina-Maria CÎRSTOIU¹, Aurel-Ionuț CHIRILĂ¹, Ioan-Dragoș DEACONU¹

¹Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București,

Facultatea de Inginerie Electrică

adelina.m.cirstoiu@gmail.com¹, aurel.chirila@gmail.com¹,

dragos.deaconu@gmail.com¹

Rezumat. Sinteza cuprinde o serie de elemente caracteristice aplicațiilor de exploatare a resurselor petroliere, precum extracție, măsurare, detectare, prelucrare etc., cu aplecare asupra sistemelor de acționare electrică - principii și echipamente utilizate pentru comandă și control. Totodată se prezintă un scurt istoric al evoluției acestor sisteme de acționare electrică, prezentând avantajele și dezavantajele. O tematică importantă în acest domeniu al exploatării resurselor de petrol o reprezintă standardele de conformitate, care permit funcționarea în siguranță a acestor infrastructuri, cât și asigurarea eficienței și calității proceselor.

1. INTRODUCERE

Deși resursele regenerabile au luat o amploare deosebită în ultimul deceniu, resursele de petrol și gaze naturale încă reprezintă cea mai puternică sursă de combustibil. Astfel, odată cu proiectarea sistemelor de acționare electrică utilizate în exploatarea acestor resurse trebuie îndeplinite cerințe și reglementări impuse de standardele relevante domeniului petrolier și al gazelor naturale, astfel încât riscurile să fie minimizate, de exemplu reducerea riscului de incendiu și evitarea unor tragedii dezastruoase precum cele de la platformele Piper Alpha în anul 1988 [1] și Deepwater Horizon în anul 2010 [2].

Odată cu trecerea timpului, exploatarea resurselor petroliere la adâncimi mici poate intra într-o fază de declin natural, ceea ce duce la exploatarea acestor resurse la adâncimi uriașe, mai ales în cazul forajului petrolier marin. În acest sens, apar provocări noi și proiecte în derulare privind posibilitatea de a obține resurse naturale din adâncimi de până la 10 kilometri [3].

În industria petrolieră, toate echipamentele ce stau la baza dezvoltării acestor structuri sunt concepute astfel încât să reziste condițiilor de operare dificile, ca de exemplu salinitatea apei și să îndeplinească toate măsurile de siguranță în funcționare, mai ales a personalului uman. Fie că este vorba despre structuri de foraj marin sau structuri de foraj pe uscat, în ambele situații toate echipamentele componente trebuie să îndeplinească standarde de conformitate riguroase [4]. De exemplu, toate procedurile pentru testarea și realizarea unei bune fortificări a puțurilor de foraj submarin trebuie să fie conforme cu standardele ISO 10426-1, ISO 10426-2 și ISO 10426-3, după cum este prezentat de către Asociația Internațională a Producătorilor de Petrol și Gaze în [5].

2. APLICAȚII UTILIZATE ÎN EXPLOATAREA RESURSELOR PETROLIERE

Prin acest studiu a fost realizată o sinteză a sistemelor de acționare electrică utilizate în exploatarea resurselor petroliere, care are la bază procesele de extracție, transport și distribuție și prelucrarea în rafinării în vederea obținerii produselor finite. Cele două categorii de extracție

petrolieră sunt terestră (onshore) și submarină (offshore), în acest caz procesele de extracție având loc în adâncurile mărilor și oceanelor. Costurile operative, investiția în timp și echipamentele necesare pentru a susține o operațiune de foraj în întregime sunt influențate substanțial de locația amplasamentului de foraj. În cazul forajului terestru, configurarea platformei de foraj implică procedee mai simpliste, acestea fiind gata de operare chiar în câteva ore sau zile, pe când în cazul forajului marin, costurile sunt mai ridicate, forajul având loc în locații mai îndepărtate, iar procesul de instalare al platformei de foraj devine mai complex, fiind menit să găzduiască totul, de la facilitățile membrilor echipajului și până la totalitatea utilajelor de foraj petrolier și a instalațiilor de procesare.

Actualmente, situația s-a îmbunătățit, iar tehnologiile de foraj marin au avansat considerabil, fiind posibilă amplasarea majorității sistemelor de acționare electrică necesare proceselor de exploatare a resurselor pe fundul mărilor sau al oceanelor. Astfel, platforma plutitoare sau fixă de la suprafața apei este menită să susțină o serie foarte mică de echipamente și procese, restul fiind amplasate în adâncimile apelor, așa cum poate fi observat în figura 1 [6]. Prin această îmbunătățire, costurile operative se reduc, nemaifiind necesară o mulțime de cabluri care să alimenteze cu energie electrică diversele echipamente de capăt ale garniturii de foraj, ci sistemul se reduce la utilizarea unui singur cablu de înaltă tensiune, care să transporte energia electrică de pe uscat către sistemul energetic amplasat în adâncime. Prin acest aspect, energia electrică poate fi furnizată prin intermediul unei platforme plutitoare sau chiar direct de pe uscat, ducând la posibilitatea forajului la adâncimi din ce în ce mai mari.

De la primul transformator electric submarin realizat de către compania ABB, s-a ajuns la convertizoare de frecvență submarine, tablouri de distribuție de medie tensiune submarine și echipamente utilizate în controlul și distribuția submarină de joasă tensiune. O parte extrem de importantă este reprezentată prin sistemul submarin de control și protecție destinat a fi responsabil pentru distribuția energiei, conversia, alimentarea auxiliară și controlul alimentării cu energie electrică [6].

Un aspect deloc neglijabil este faptul că prin această metodă de utilizare a sistemelor de extracție în mediul subacvatic se elimină riscul de accidentare a personalului uman aflat pe platformele plutitoare sau fixe de la suprafață. În acest caz, salvarea persoanelor aflate supuse unor riscuri imediate trebuie realizată cu ajutorul elicopterelor de urgență. Operarea și mentenanța echipamentelor subacvatice sunt realizate de la distanță, prin intermediul senzorilor și roboților de inspecție submarină. Toate aceste echipamente menite să funcționeze în mediul subacvatic sunt încapsulate, de exemplu convertizoarele de frecvență sunt amplasate într-un rezervor cu lichid dielectric, presurizat. Lichidul asigură, pe de o parte, răcirea componentelor în mod natural, prin convecție, iar pe de cealaltă parte compensarea presiunii, deci asigurarea compatibilității cu mediul subacvatic, fiind proiectate să funcționeze până la 30 de ani, fără nevoia de intervenție asupra acestora [7].

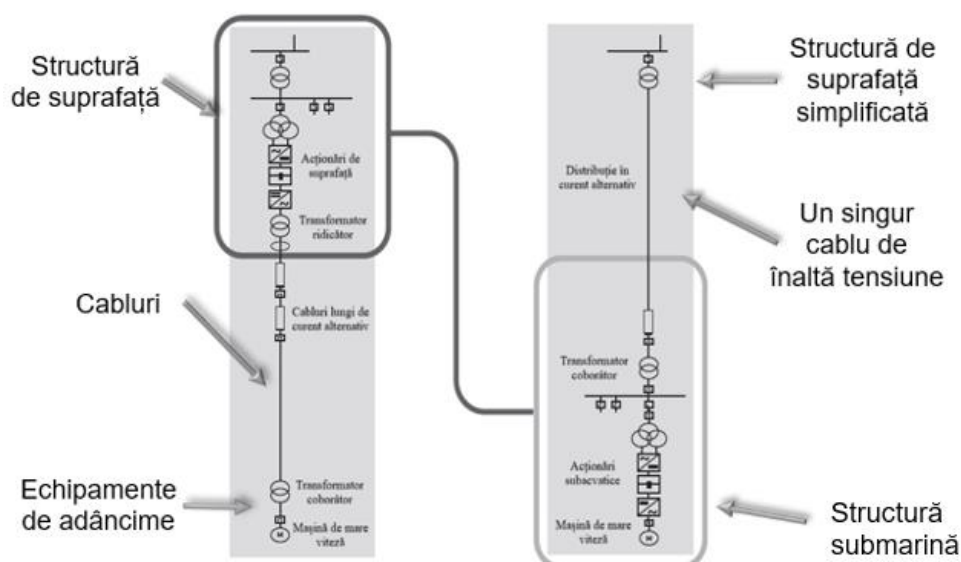


Fig. 1 – Stânga – Sisteme de producție amplasate pe structuri plutitoare
Dreapta – Sisteme de producție amplasate și alimentate direct în mediul subacvatic [7].

2.1 Extracția petrolieră

Atât în cazul extracției petroliere terestre, cât și în cazul extracției petroliere subacvatice, este nevoie de sisteme de acționare electrică foarte bine proiectate și dimensionate astfel încât sistemul să ducă la realizarea optimă a tuturor proceselor necesare în vederea extracției resurselor naturale. Pentru această aplicație, sistemele de acționare electrică utilizează convertizoare de frecvență în vederea alimentării motoarelor electrice folosite la acționarea galeriei de foraj, dar și a pompelor de noroi pentru injecția lichidului de foraj pentru realizarea mișcării de rotație a sapei de foraj și extracția lichidului de foraj încărcat cu detritus. Cel mai des întâlnite sunt motoarele asincrone trifazate și motoarele sincrone, utilizate de obicei la puteri mari pentru acționarea compresoarelor sau a pompelor submersibile de mare adâncime. Tehnologia modernă implică și motoarele sincrone cu reluctanță variabilă, utilizate mai ales pentru acționarea echipamentelor auxiliare de suprafață. Motoarele asincrone trifazate alimentate prin convertizoare de frecvență au rolul de a regla viteza pentru controlul debitului fluidului de foraj. În ceea ce privește forajul marin, echipamentele sunt concepute ca modele compacte, închise etanș, umplute cu ulei pentru a permite funcționarea la adâncimi mari, egalizarea presiunii. În ambele tipuri de extracție se dorește, pe cât posibil, electrificarea acestora cu scopul de a se reduce poluarea atmosferică, datorată turbinelor cu gaz. Electrificarea platformelor petroliere situate la distanțe foarte lungi față de țărm, de exemplu 100 până la 300 kilometri, este posibilă, soluția modernă fiind cablul submarin de înaltă tensiune. Cea mai îndepărtată platformă petrolieră marină față de țărm este Turitella, în Golful Mexic, la aproximativ 322 kilometri față de coasta New Orleans, la o adâncime de 2896 metri [8].

2.2 Transportul și distribuția resurselor petroliere

Transportul și distribuția petrolului se pot realiza atât prin intermediul conductelor, cât și prin intermediul trenurilor de marfă, de la platforma de extracție până la rafinărie, de la platforma de extracție la diverse depozite de stocare sau în vederea exportului. În ambele cazuri, sistemele de acționare electrică sunt nelipsite și au un rol esențial, se dovedesc a fi aproape imposibil de realizat aceste procese fără acționări electrice. Există numeroase companii feroviare care se ocupă de transportul petrolului atât la noi în țară, cât și în afara ei. Această soluție de transport petrolier este fezabilă mai ales pentru companiile care nu sunt conectate

direct la conducte ori se află în zone mult prea îndepărtate. Desigur, în acest caz, pot interveni diverse restricții logistice, ce pot duce la blocarea sau chiar abandonarea cisternelor pe rețeaua feroviară, ceea ce reprezintă un dezavantaj. Transportul și distribuția petrolului reprezintă procese ciclice, nelipsite în exploatare, fiind necesare atât după procesul de extracție, care se reiau și după procesul de prelucrare în vederea distribuției către consumatori sau a stocării.

2.3 Prelucrarea resurselor petroliere

Din punct de vedere al prelucrării resurselor petroliere extrase, echipamentele ce necesită implementarea sistemelor de acționare electrică sunt pompe, ventilatoare, valve de siguranță, benzi transportoare, agitatoare etc., fiecare dintre acestea având un rol bine definit pentru a asigura în procesul de rafinare. Acționarea pompelor și ventilatoarelor se realizează prin motoare asincrone trifazate cu puteri de la 5 kW până la 5 MW, tensiunile de alimentare fiind cuprinse între 0,4 kV și 13 kV. Motoarele pot fi alimentate direct sau prin convertizoare de frecvență în scopul controlului vitezei, eficiență, dar și pentru reducerea șocurilor mecanice în timpul pornirii sau opririi. În funcție de aplicație, acolo unde este nevoie de control precis la turație constantă, se folosesc motoare sincrone. De exemplu, pompele pot fi utilizate pentru centrifugare, alimentarea coloanelor de distilare, unde debitul trebuie să aibă control precis sau pentru răcire. Indiferent de destinația aplicațiilor petroliere, toate necesită ansamble acționate și controlate electric, așa cum se observă în Fig. 2 prezentată mai jos [9].

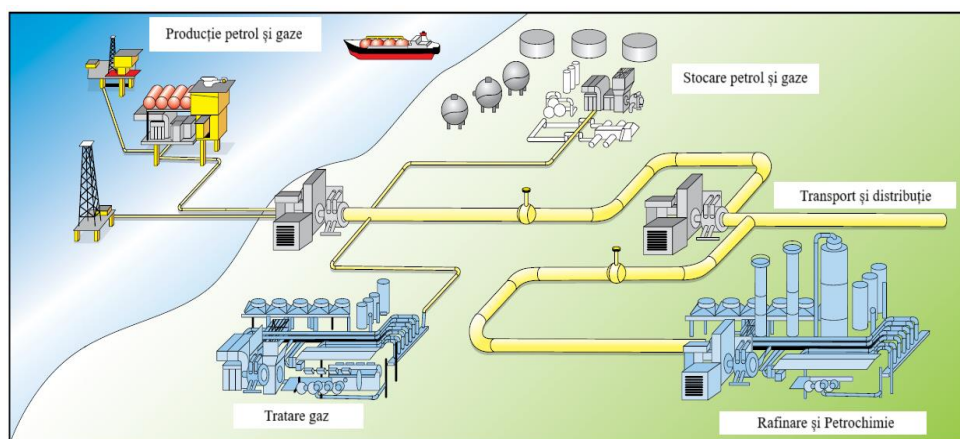


Fig. 2 – Platformă petrolieră – extracția, transportul, distribuția și procesarea petrolului [9].

În funcție de tipul aplicației, sistemele de acționare electrică diferă, de la motoarele electrice folosite și până la echipamentele finale acționate. În cele ce urmează, se va prezenta, prin intermediul Tabelului 1, o scurtă clasificare a tipurilor de motoare folosite în procesele de extracție, transport și distribuție și rafinare, funcție de gamele de puteri, tensiuni și aplicații.

Tabelul 1.

Tipuri de motoare electrice folosite în industria petrolieră [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17]

Etapă	Aplicații	Tipuri de motoare	Gama de puteri	Gama de tensiuni
Extracție	Foraj - Acționare tambur și instalații de suprafață	Motor asincron + VFD Motor sincron	500 kW...2,5 MW	690 V / 3,3 kV / 6,6 kV
Extracție	Pompe noroi – injecția fluidului de foraj	Motor asincron + VFD	500...1500 kW	690 V...3,3 kV
Extracție	Pompe submersibile	Motor asincron submersibil	1...6 MW	3...6 kV
Extracție	Compresoare de gaz	Motor sincron	2...20 MW	6,6...13,8 kV

Motor asincron + VFD

Etapă	Aplicații	Tipuri de motoare	Gama de puteri	Gama de tensiuni
Transport	Stații de pompare a resurselor către conducte	Motoare sincrone	1...25 MW	6,6...20 kV
Transport	Pompe de încărcare / descărcare petrol în terminale	Motor asincron + VFD	200...2000 kW	400 V...6,6 kV
Transport	Pompe de încărcare / descărcare în/din vagoane feroviare	Motoare asincrone certificate ATEX în zone periculoase	50...300 kW	400...690 V
Rafinare	Pompe de alimentare, recirculare, ulei, utilizate la distilare atmosferică / în vid	Motor asincron + VFD	50...2000 kW	400 V...6,6 kV
Rafinare	Compresoare pentru reformare catalitică	Motor sincron	2...10 MW	6,6...13,8 kV
Rafinare	Utilități, echipamente auxiliare precum ventilatoare, HVAC, pompe apă	Motor asincron	5...300 kW	400...690 V

Astfel, prin clasificarea realizată în tabelul de mai sus, se poate concluziona că întreg lanțul petrolier începând cu extracția și până la rafinarea hidrocarburilor și distribuția finală a acestora, se bazează pe acționări electrice, tipul de motor utilizat fiind mereu corelat cu aplicația, puterea necesară, gama de tensiuni și condițiile de mediu, în vederea asigurării continuității proceselor și eficientizarea acestora. Deși în majoritatea proceselor se folosesc motoare asincrone alimentate prin convertizoare de frecvență (VFD – Variable Speed Drive) pentru reducerea consumului de energie, controlul vitezei și creșterea duratei de viață a motoarelor, motoarele sincrone se folosesc acolo unde este necesar cuplul ridicat și sarcină constantă, deși costurile sunt mai mari decât în cazul motoarelor asincrone.

3. SISTEM SUBACVATIC COMPLET

Compania ABB a dezvoltat un întreg sistem ce poate fi utilizat în mediul subacvatic, care cuprinde transformatoare subacvatice, tablouri de distribuție de medie tensiune, convertizoare de frecvență, sisteme de protecție și control pentru echipamente auxiliare de joasă tensiune. Sursa de energie poate fi furnizată fie direct de la țărm prin cabluri de înaltă tensiune, prin cabluri subacvatice sau prin cabluri de înaltă tensiune de la o platformă mamă sau chiar de la surse de energie regenerabile. Chiar dacă, în prezent, majoritatea platformelor încă își generează total sau parțial singura energie prin turbine cu gaz și generatoare, soluția modernă dezvoltată de compania mai sus menționată a fost testată și s-a dovedit a fi fezabilă la o adâncime de 3000 de metri și o distanță de 600 km față de țărm. Dacă toate echipamentele electrice, mai puțin cele de capăt, destinate procesului de foraj ar fi amplasate pe platforme maritime de suprafață, atunci ar fi nevoie de turbine cu gaz pentru alimentarea acestora, ceea ce duce la poluarea mediului și expunerea personalului uman la riscuri. Prin utilizarea metodei subacvatice de acționare electrică, se reduc riscurile, poluarea și costurile, întreținerea nu este necesară timp de până la 30 de ani, eficiența fiind crescută substanțial prin scăderea consumului total de energie [18]. Motoarele electrice de la ABB folosite în mediul subacvatic sunt motoare asincrone trifazate, complet scufundabile utilizate în aplicații precum pompe de injecție a apei

[19] și motoare sincrone cu magneți permanenți, submersibile, cu scopul de a acționa compresoarele de gaz subacvatic. Primul sistem subacvatic de comprimare din lume a fost implementat de către ABB în Norvegia, prin proiectul Asgard [20]. Soluția modernă presupune alimentarea, controlul și operarea echipamentelor electrice situate complet sub apă, ceea ce permite ca forajul și implicit procesarea primară să fie realizate în adâncime, reducând costurile și cel mai important, riscurile, nemaifiind necesară generarea energiei la suprafață prin compresoare mari pe platforme costisitoare. De asemenea, un alt mare avantaj al acestei soluții este reprezentat prin posibilitatea extinderii exploatării petrolului în zone ultra adânci [18]. Imaginea de mai jos prezintă un echipament subacvatic de distribuție dezvoltat de compania ABB [6]. Acesta este proiectat și testat să funcționeze în condiții extreme, toate componentele de protecție și control fiind integrate într-un pachet presurizat și umplut cu lichid dielectric, asigurând alimentarea echipamentelor de capăt fie direct de la țărm, fie conectat la un transformator subacvatic [18].



Fig. 3 – Echipament subacvatic de distribuție [6].

4. CONCLUZII

Industria petrolieră reprezintă unul dintre cei mai mari utilizatori de sisteme de acționare electrică din lume, motoarele asincrone trifazate fiind stâlpul principal în componența acestora. Desigur, nici motoarele sincrone nu pot fi neglijate, acestea au, de asemenea, un scop clar definit în procesele critice, care necesită cel mai înalt nivel de precizie.

Așadar, exploatarea resurselor naturale, extracția, transportul și distribuția și inclusiv prelucrarea acestora, în ceea ce privește sistemele de acționare electrică, diversitatea este mare și ele sunt proiectate în funcție de tipul mărimilor electrice, alternative sau continue. Există, desigur, diverse tipuri de motoare electrice, cum ar fi motoare asincrone trifazate, motoare sincrone și de curent continuu, fiind alese în funcție de puterea necesară și de nivelurile de tensiune: joasă tensiune, medie tensiune, înaltă tensiune. Din ultima categorie menționată pot face parte și cablurile submarine lungi, care pot avea tensiuni de până la 150 kV. Numeroase echipamente electrice pot fi acționate de aceste sisteme, de la pompe, ventilatoare, benzi transportoare și până la agitatoare și valve de siguranță.

CONFIRMARE

Lucrarea a fost prezentată la Simpozionul de Mașini Electrice SME'XXI, ediția 2025.

BIBLIOGRAFIE

1. ***<https://safety4sea.com/cm-piper-alpha-the-worlds-deadliest-offshore-oil-disaster/>.
2. ***<https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/reports/safety/2-deepwaterhorizon-roi-uscg-volume-i-20110707-redacted-final.pdf>

3. Q. Wang, G. Ji, J. Guo, K. Wu, C. Mei, L. Zeng, Q. Xue, *Research on surface processing method of pulse transmission signal of amplitude-modulated drilling fluid in 10,000-m Deep Wells*. Electronics, **13**, 3231, 2024.
4. E. van der Bijl, *The importance of standardization and recommended practices for e&i equipment in the oil&gas industry*, Petroleum and Chemical Industry Conference Europe (PCIC Europe), Antwerp, Belgium, pp. 1-5, 2018.
5. International Association for Oil and Gas Producers, ISO - International Organization for Standardization, <https://committee.iso.org/>.
6. ABB's subsea technology is powering the seabed for a new energy future, 44-49 m9049_EN_72dpi.pdf
7. ***abb.com/oilaandgas/
8. ***<https://www.nesfircroft.com/resources/blog/the-10-biggest-oil-rigs-in-the-world>
9. Drive Solutions for the Oil and Gas Industry, TMEIC, TMEIC Oil-Gas Brochure 2011.indd
10. ***https://library.e.abb.com/public/34d5b70e18f7d6c8c1257be500438ac3/Oil%20and%20gas%20production%20handbook%20ed3x0_web.pdf
11. production%20handbook%20ed3x0_web.pdf
12. ***<https://www.novometgroup.com/products-services/artificial-lift/esp-motors>.
13. ***<https://www.abb.com/global/en/areas/motion/drives>.
14. ***<https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/pipeline-compressors.html>.
15. ***<https://www.weg.net/institutional/US/en/solutions/oil-gas/motors>.
16. ***<https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-compendium/electric-motors-2023>.
17. ***<https://www.sulzer.com/en/applications/oil-gas-chemicals/midstream/pipeline>.
18. A. Setiabudi, M. Fathaddin, S. Prakoso, *The application of permanent magnet motor on electric submersible pump in X Well*. Journal of Earth Energy Science, Engineering, and Technology. **3**, 2020.
19. ***<https://new.abb.com/oil-and-gas/sectors/offshore-oil-and-gas/subsea/subsea-power/subsea-power-substation>.
20. ***<https://new.abb.com/oil-and-gas/sectors/offshore-oil-and-gas/subsea>.
21. ***<https://new.abb.com/oil-and-gas/case-studies/offshore/Reference-Asgard-subsea-compression>.