

SOLUȚII ȘI ECHIPAMENTE REALIZATE DE ICPE ACTEL PENTRU CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE A FORAJULUI ELECTRIC MARIN ȘI TERESTRU

Ion POTĂRNICHE¹, Cornelia POPESCU², Mina GHEAMALINGA²

¹Membbru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România

²ICPE ACTEL

Rezumat. Lucrarea propusă se dorește a fi o încununare a eforturilor comune ale cercetătorilor și dezvoltatorilor de soluții și echipamente electrice destinate forajului marin și terestru, realizate de ICPE ACTEL în decursul a peste 45 ani de activitate în acest domeniu important al prospectării de hidrocarburi. În principal, criteriile care au stat la baza activităților noastre au fost într-o ordine deloc întâmplătoare următoarele: sisteme de reglare numerică utilizând pe scară largă microprocesoare și microcontrolere; gabarite diminuate, prin reducerea maselor specifice raportate la puterile realizate; fiabilitate sporită dată fiind importanța și rolul activităților din foraj; comanda, controlul și monitorizarea echipamentelor de la distanță; calitatea energiei vehiculate în raporturile cu rețeaua de alimentare; eficiența energetică maximă în raporturile mărime de ieșire - mărime de intrare. Structura complexă a soluțiilor și echipamentelor utilizate în conversia energiei electrice, respectiv a celei termice în energie mecanică în principal, a creat oportunități diverse de acțiune în domeniul cercetării aplicative, antrenându-se în activitățile noastre cunoștințe complexe din domenii diferite: energetică, electronică, electrotehnică, automatică, mecanică și altele. În lucrare se evidențiază indicatorii tehnici și economici obținuți în realizarea produselor noastre, deoarece eficiența energetică în final se cuantifică în bani economisiți pe de o parte, iar pe de altă parte criteriul de validare al clienților rămâne consumul specific pe metrul de foraj realizat.

Cuvinte cheie: eficiența energetică, compensare putere reactivă, filtrare armonice, regim deformant, convertoare de putere, eficiență economică.

Abstract. The proposed paper intends to be a crowning of commune efforts of researchers and developers of solutions and electric equipment used in offshore and onshore drilling, realized by ICPE ACTEL during over 45 years of activity in this important field of prospecting hydrocarbons. In principal, the order of the basis of our activities is not accidental: numerical control systems using widely microprocessors and microcontrollers; reduced gauges, by reducing the specifically mass reported at obtained powers; increased reliability by reason of importance and role of drilling activities; remote command, control and monitoring of equipment; quality of energy flux in relation with the supply network; maximum energy efficiency in relation with output characteristic quantity – input characteristic quantity. The complex structure of solutions and equipment used in electric energy conversion, respectively of thermal energy into mechanical energy mainly, created different opportunities of actions in applicative research field, using in our activities complex knowledge from different fields: energetic, electronics, electrotechnics, automatic, mechanics and others. It will be relieved in the paper content the controlled technical indicators taken into account in our product realization and the ones economical too, because finally the quantify energy efficiency means saving money and the validation criteria of the clients is the specifically consumption on each meter drilling. Finally it will be indicate the obtained realizations in the field of the proposed theme with quantifiable values and a bibliography with papers and works library of ICPE ACTEL's researchers.

Keywords: efficiency energy, reactive power compensation, harmonics filtering, deformant regime, power converters, financial efficiency.

1. ICPE ACTEL - DOMENII DE ACTIVITATE

ICPE ACTEL, astăzi societate cu capital privat integral românesc, apărută cu noua titulatură și statut în urma procesului de privatizare din 1992 prin separarea de ICPE, deține întreaga experiență acumulată de nucleul de cercetători pe parcursul a 63 ani în domeniul acționărilor electrice de putere.

Eficiența energetică, deziderat pentru domenii ca producerea energiei electrice, transportul energiei electrice, utilizarea energiei electrice, a fost și este în atenția continuă a specialiștilor de la ICPE ACTEL, care au dezvoltat acest concept în cadrul cercetării experimentale și dezvoltării tehnologice soluții pentru fiecare element din lanțul sursă - transport - consumator, corespunzător cu domeniile de activitate abordate.

Astfel, pentru domeniul energiei electrice, ICPE ACTEL a realizat pentru circa 95% din SEN, dar și pentru export, următoarele tipuri de echipamente:

- echipamente de excitație pentru turbogeneratoare și hidrogeneratoare;
- echipamente de alimentare a gospodăriilor de c.c. din centrale electrice, posturi de transformare și puncte de alimentare cu energie electrică;
- echipamente de acționare cu turație variabilă motoare de c.a. de medie și joasă tensiune din dotarea pompelor, respectiv ventilatoarelor din centralele electrice;
- echipamente de distribuție c.a. și c.c.

Pentru industria orizontală, ICPE ACTEL a elaborat noi

- echipamente de acționare motoare de c.c. și c.a., precum și
- echipamente de alimentare aplicații din electrochimie (galvanizare, electroliză, protecție catodică, managementul bateriilor de acumulatori).

Domeniul tracțiunii este de asemenea un domeniu tradițional pentru care ICPE ACTEL a dezvoltat echipamente pentru tracțiune feroviară și navală.

Forajul marin și terestru a ocupat o atenție specială din partea specialiștilor ICPE ACTEL. În contextul unei istorii de 150 de ani a petrolului românesc, ultimii 45 ani au fost marcați de implicarea S.C. ICPE ACTEL S.A. în activitățile de realizare a echipamentelor electrice destinate forajului marin și terestru românesc și chiar internațional.

Premierele din forajul românesc cu privire la utilizarea acționării electrice a proceselor de foraj au fost marcate de ICPE ACTEL în 1968 la sonda de foraj terestru de la Cobia și în 1975, când a avut loc lansarea la apă a primei platforme de foraj marin GLORIA. Toate celelalte platforme românești de foraj marin care au urmat FORTUNA, ORIZONT, PROMETEU, ATLAS, JUPITER, SATURN au fost realizate cu echipamente de alimentare electrică, comandă și reglare produse de colectivul de cercetători de la ICPE.

Deținerea acestei experiențe în domeniul forajului face din ICPE ACTEL unicul producător român de soluții și echipamente electrice destinate forajului marin și terestru, căruia pe plan european îi corespund numai patru firme.

Sondele de foraj terestru și platformele de foraj marin sunt dotate cu diferite tipuri de echipamente ICPE ACTEL enumerate mai jos, cu diferite funcții, adaptate procesului tehnologic complex de foraj și tipului de furnitură mecanică specifică:

- echipamente electrice pentru antrenarea cu turație variabilă și controlul cuplului agregatelor tehnologice (trotiu, pompe de noroi, masă rotativă);
- echipamente electrice pentru realizarea surselor insulare de energie electrică;
- echipamente electrice pentru comandă și controlul proceselor tehnologice de foraj (pupitrul sondor șef numeric, cabină de foraj numerică)
- soluții de alimentare redundantă a instalațiilor de foraj (de la rețele electrice) și multiplă (rețele electrice în paralel cu microcentrală cu grupuri diesel-generator);
- echipamente electrice de distribuție joasă tensiune pentru servicii auxiliare;
- echipamente de compensare a puterii reactive și filtrare a armonicilor.

Acest atu deținut de ICPE ACTEL a condus întotdeauna la creșterea continuă a responsabilității specialiștilor săi în fața unui domeniu pe cât de fascinant, pe atât de supus riscurilor. De aceea cercetătorii au analizat permanent necesităților forajștilor, pe măsura evoluției domeniului electronicii de putere.

Soluțiile specifice forajului elaborate integrează cele trei tipuri constitutive ale managementului energiei electrice, sursă - transport - consumator, motiv pentru care lucrarea de față se constituie într-o privire convergentă asupra soluțiilor de obținere a unei eficiențe energetice maxime în relația sursă - consumatorul din foraj.

2. SCHEMA ELECTRICĂ DE PRINCIPIU A UNEI APLICAȚII ÎN FORAJUL MARIN ȘI TERESTRU

Schema electrică de principiu a unei aplicații din domeniul forajului marin și terestru de tip izolat este reprezentată în figura 1.

Pentru acest tip de aplicație, sursa de alimentare electrică este o microcentrală formată din 2...5 grupuri electrogene motor - Diesel - generator.

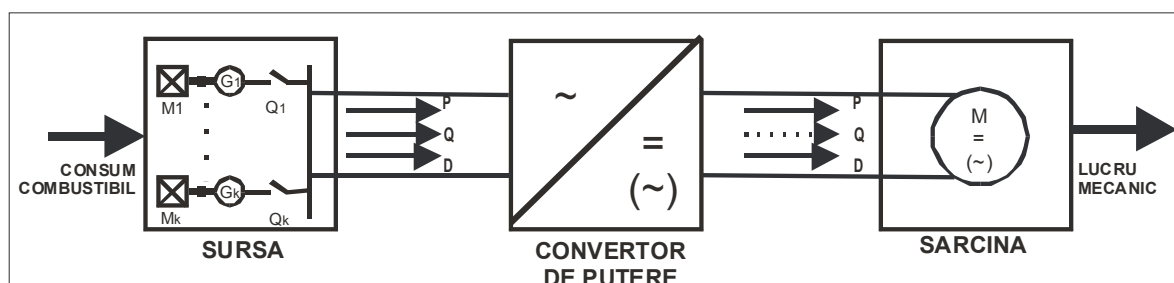


Fig. 1

Sarcina este reprezentată de motoarele principale ale procesului tehnologic de foraj, care pot fi de c.c. sau de c.a. și care acționează: trolitul, pompele de noroi, masa rotativă și top-drive-ul atunci când este cazul. O instalație de foraj complexă poate conține până la 12 motoare electrice principale pentru acționarea procesului tehnologic de foraj. Echipamentul tehnologic poate funcționa la parametrii maximi, cu toate motoarele încărcate la cuplu maxim și la o valoare medie a turației.

Motoarele electrice principale din procesele de foraj influențează prin propriul factor de putere cantitatea de putere reactivă solicitată de la sursa electrică de alimentare. Din acest motiv se recomandă utilizarea motoarelor de c.a., care au un factor de putere mediu aproape dublu față de cele de c.c. în asociere cu convertoarele specifice.

Funcționarea convertoarelor statice de putere, pe lângă avantajele cunoscute ale reglării turației și cuplurilor motoarelor electrice pe care le deservește, prezintă dezavantajul introducerii unui regim deformant armonic, cu pierderi specifice de energie.

Spectrul armonicelor importante, cu ponderile în tensiune și curent față de fundamentală, este redat după tipul motorului asociat cu convertorul de putere specific în tabelul 1.

Din calculele estimative se poate aprecia că pierderile datorate armonicilor produse de convertoarele statice de putere în cazul motoarelor de c.c. sunt de circa 7 ori mai mari față de cele corespunzătoare motoarelor de c.a., ceea ce evidențiază avantajul utilizării motoarelor de c.a. în foraj.

Transferul de energie de la sursă la sarcină se face prin intermediul convertoarelor de putere, de tip SCR pentru motoare de c.c. și de tip VFD pentru motoare de tip c.a.

Tabelul 1

Ordin armonică	Motor de c.c.		Motor de c.a.	
	$U(\%)$	$I(\%)$	$U(\%)$	$I(\%)$
5	24	45	5	14
7	18	31	3	11
11	13	23	2	8
13	8	14	1	5

Bilanțul energetic al instalației electrice de foraj este afectat de pierderile suplimentare identificate pe căile de curent, datorate componentei reactive a curentului debitat de sursă și vehiculării armonice introduse de convertoarele statice de putere aflate în funcționare. Scăderea energiei active, respectiv creșterea energiei reactive debitate de sursă determină creșterea consumului specific de combustibil al motorului termic (l/kWh) cu circa 15-20%, pentru același lucru mecanic la axul motorului și implicit scăderea randamentului.

Sistemele de acționări cu convertoare statice de putere trebuie să fie concepute pentru randamentul maxim al conversiei de energie și utilizarea maximă a puterii motoarelor la tensiune de alimentare scăzută, ceea ce implică un factor de putere scăzut.

Aceste cerințe implică din punctul de vedere al sursei de alimentare următoarele fenomene:

- puternică deformare a formei de undă a curentului absorbit și implicit a tensiunii;
- absorbție importantă de putere reactivă și deformantă din sursă;
- scăderea alarmantă a posibilităților sursei de a-și transforma energia activă în lucru mecanic util.

Pierderile importante de energie activă care însoțesc conversia energiei electrice în lucru mecanic sunt în atenția deosebită a specialiștilor ICPE ACTEL care elaborează soluții și produse pentru diminuarea acestor pierderi și creșterea eficienței energetice a aplicațiilor.

3. BILANȚUL ENERGETIC AL UNEI INSTALAȚII DE FORAJ

Identificarea soluțiilor pentru creșterea eficienței energetice a instalațiilor de foraj presupune o atentă analiză a bilanțului energetic al acesteia.

Se consideră modelul de conversie a energiei termice în energie electrică, respectiv în lucru mecanic din figura 2, pentru care se evidențiază aspecte cantitative și calitative pentru identificarea măsurilor de creștere a randamentului transferului energetic.

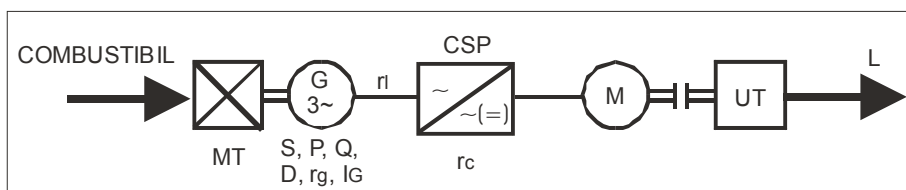


Fig. 2:

MT – motor termic al grupului motor diesel-generator; r_g – rezistență echivalentă a înfășurărilor generatorului grupului motor diesel-generator; r_l – rezistență echivalentă a căilor de curent de transport a energiei între generator și convertorul static de putere (CSP); r_c – rezistență echivalentă a căilor de curent din CSP; UT – utilaj tehnologic.

Pe lanțul de conversie a energiei termice consumate de motorul termic prin arderea combustibilului (motorină, benzină, gaz metan) în lucru mecanic (L) la axul utilajului tehnologic, se produc pierderi suplimentare datorită convertorului static de putere (CSP), care induce un regim nesinusoidal la bornele generatorului.

Aceste pierderi suplimentare se produc datorită vehiculării energiei reactive cerute de ansamblul convertor - motor, armonicilor de curent datorate regimului deformant, precum și vehiculării energiei deformante.

Considerăm pierderile datorate vehiculării energiei reactive $\Delta P_Q = I_Q^2 (r_g + r_l + r_c)$, iar curentul reactiv $I_Q = I_G \sqrt{1 - k^2}$, dacă se neglijează componenta deformantă a curentului debitat de generator, unde I_G este componenta aparentă a curentului debitat de generator și k este factorul de putere.

Rezultă pierderile datorate energiei reactive $\Delta P_Q = (1 - k^2) I_G^2 (r_g + r_l + r_c)$.

Din această relație se constată că diminuarea acestor pierderi se poate obține prin creșterea factorului de putere k , soluție posibilă cu filtre active sau pasive, sau prin compensarea externă a pierderilor de putere reactivă cu ajutorul unei surse externe de putere reactivă în regim controlat. Factorul de putere al sarcinii influențează consumul de combustibil, coroborat cu energia activă.

S-a constatat că vehicularea celor două componente de curent corespunzător pierderilor de putere reactivă și deformantă produce pe rezistența echivalentă a căilor de curent pierderi de energie activă ce determină creșterea consumului specific de motorină cu circa 15-20%.

Bilanțul energetic al unei instalații de foraj este puternic influențat de consumul de combustibil, energia consumată și timpul de lucru efectiv, raportate la adâncime forată.

În forajul din locurile izolate de rețeaua electrică sunt utilizate sursele de tip microcentrală cu grupuri electrogene motor diesel - generator, ale căror generatoare funcționează în regim periodic nesinusoidal, caracterizat de o absorbție importantă de putere reactivă și deformantă din sursă, datorită utilizării convertoarelor de putere. Drept urmare, utilizatorii se confruntă cu creșterea consumului specific de combustibil al motorului termic și cu scădea posibilităților sursei de a-și transforma energia activă în lucru mecanic util.



4. SOLUȚII ȘI ECHIPAMENTE ICPE ACTEL PENTRU CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE A FORAJULUI MARIN ȘI TERESTRU

În ultimii ani, ICPE ACTEL a elaborat o serie de soluții noi destinate optimizării activităților din forajul marin și terestru având drept consecință creșterea eficienței energetice și implicit economice. În această lucrare ne vom referi la diminuarea puterilor reactive și deformante eliberate de sursă prin utilizarea unui filtru static autoadaptiv, diminuarea puterilor reactive și deformante eliberate de sursă în cazul sarcinii cu motoare de c.a. și eficientizarea sursei utilizând un sistem de tip power management, PMS.

Filtrele active pot reduce puterea reactivă și deformantă până la zero, dar sunt scumpe și necesită o mentenanță deosebită.

În acest caz, ICPE ACTEL propune soluțiile de mai jos, prin care se ajunge la un factor de putere mai mare decât cel neutral și un $THD_U < 8\%$.

Soluția pentru diminuarea puterii reactive și deformante eliberate de sursa cu filtru static autoadaptiv este reprezentată ca schemă bloc în figura 3.

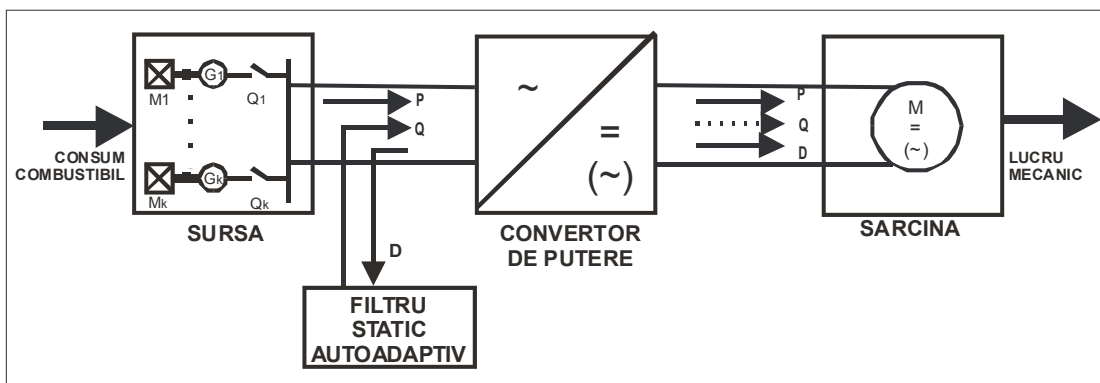


Fig. 3

Soluția pentru diminuarea puterii reactive și deformante eliberate de sursa folosind ca sarcină motoare de c.a. este reprezentată ca schemă bloc în figura 4.

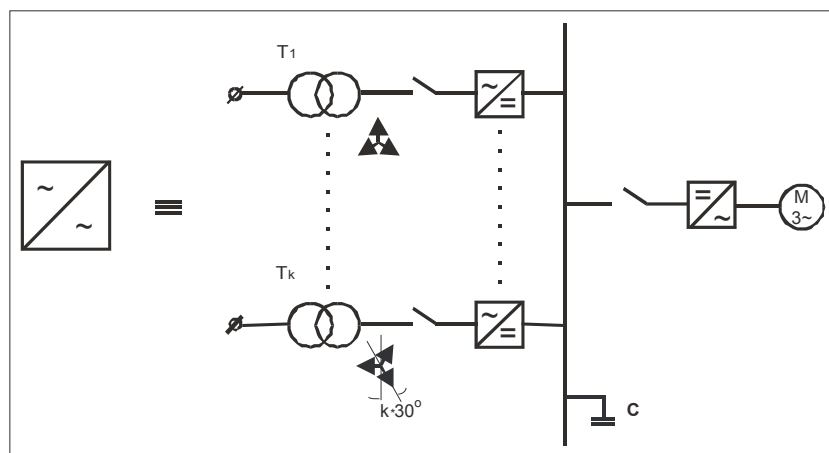
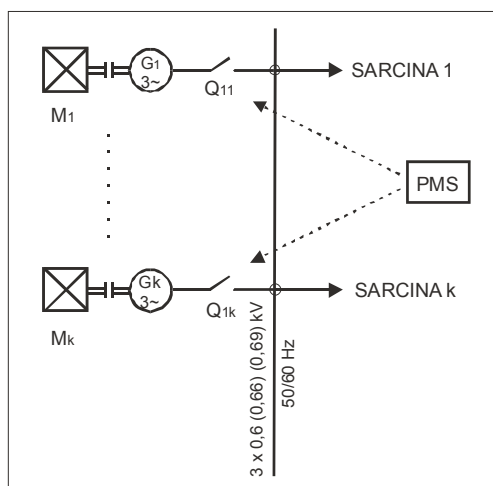


Fig. 4

Fig. 5



Această soluție constă în utilizarea unui convertor cu bară comună de tensiune de c.c. , pentru fiecare motor tehnologic, alimentat printr-un grup de 12 transformatoare ale căror înfășurări sunt decalate cu câte 30° electrice. Prin redresarea tensiunii de alimentare se obține un factor de distorsiune puternic scăzut și un factor de putere neutral. De aceea această soluție înlătură aproape în totalitate prezența filtrului din punctul de vedere al THD_U și THD_I .

Soluția pentru eficientizarea sursei folosind sistemul de tip power management PMS este indicată prin schema bloc din figura 5. În această situație generatoarele vor funcționa în regim dinamic controlat, cu regim de histerezis controlat. Rolul acestui sistem PMS de comandă și control al funcționării microcentralei constă în realizarea următoarelor funcții:

- utilizarea unei puteri debitate de generatoare mai mari sau egale cu puterea consumată de sarcină;
- realizarea protecțiilor pentru fiecare grup motor diesel – generator;
- protecția pe fiecare generator la putere inversă;
- echilibrarea puterilor active P_k ;
- echilibrarea puterilor reactive Q_k ;
- limitarea puterii la consumator în cazul depășirii P_k ;
- sincronizarea automată la cuplarea oricărui grup motor diesel - generator pe bara comună de tensiune;
- cuplarea și decuplarea automată a oricărui grup motor diesel - generator, funcție de mărimea sarcinii;
- permutarea secvențelor de funcționare pentru fiecare grup motor diesel - generator astfel încât timpul de funcționare al fiecăruia să fie aproximativ același, ce conduce la o durată de viață prelungită a grupurilor și la mentenanța lor facilă.

5. EFICIENȚA TEHNICO-ECONOMICĂ A SOLUȚIILOR PROPUSE DE ICPE ACTEL

Din punct de vedere tehnic, aceasta se materializează prin:

- trecerea unui grup M_k , G_k în rezervă prin descărcarea celorlalte în putere reactivă și încărcarea lor în echivalent putere activă la o microcentrală de 5 grupuri electrogene;
- creșterea duratei de viață a grupurilor electrogene din dotarea microcentralelor de c.a.;
- diminuarea gabaritelor și creșterea flexibilității în exploatare prin utilizarea motoarelor de c.a.

Din punct de vedere economic, soluțiile ICPE ACTEL sunt eficiente prin:

- obținerea unor economii de combustibil de cca. 21% prin utilizarea combinată a soluțiilor prezentate;
- diminuarea cheltuielilor de mentenanță cu 3,6% prin utilizarea sistemului de management PMS;
- amortizarea investițiilor prin realizarea soluțiilor și produselor prezentate în circa 8 luni pentru o instalație de foraj F320 (320 t la cârlig și foraj la 5600 m adâncime).

Un exemplu concret pentru obținerea indicatorilor de bază pentru identificarea rezultatelor în cazul beneficiarilor îl constituie instalația de foraj F320, în variantele EC/DEC destinată acționării motoarelor de c.c. și EA/DEA destinată acționării motoarelor de c.a., se obțin următoarele economii anuale:

Economii/an	Caz 1: alimentare de la rețele electrice		Caz 2: alimentare de la microcentrale	
	Motoare de c.c.	Motoare de c.a.	Motoare de c.c.	Motoare de c.a.
Combustibil (l/kWh)	-	-	1.289.425	172.330
Energie electrică (kWh)	10.702.092	1.082.385	-	-
Financiare (euro)	1.374.065	218.190	1.714.935	229.198

6. REALIZĂRI PRACTICE ALE ICPE ACTEL PENTRU EFICIENȚA ENERGETICĂ ÎN FORAJUL MARIN ȘI TERESTRU

Din punct de vedere tehnic, soluțiile propuse s-au verificat pe:

- instalații de foraj pentru platformele de foraj (Orizont, Fortuna, Jupiter , Saturn);
- instalații de foraj pentru export (Rusia, zona cercului polar – 12 buc., Indonezia, Irak, Franța);
- instalații de foraj pentru contractori autohtoni (DAFORA Mediaș, Foraj Sonde Tg.-Mureș, Foraj Sonde Craiova).

Considerăm că o extindere a soluțiilor dezvoltate în cadrul ICPE ACTEL și în alte domenii de utilizare este o necesitate și o oportunitate pentru deschiderea de noi piețe.

Bibliografie

- [1] I. Potârniche, Revista Tehnică și Tehnologie nr. 3-6/2010, nr. 1-6/2011, nr. 1-6/2012, nr. 1-4/2013.
- [2] I. Potârniche, Cornelia Popescu, *ICPE ACTEL customized equipment to improve efficiency power systems*, Buletinul AGIR nr. 3/2012.
- [3] Carmen Ionescu Golovanov, *Măsurarea mărimilor electrice în sistemul electromagnetic*, Editura AGIR, București 2009.
- [4] Aureliu Leca, Virgil Mușatescu, *Managementul energiei*, Editura AGIR, București 2008.
- [5] C.I. Mocanu, *Teoria circuitelor electrice*, Editura Didactică și Pedagogică, București 1979.