

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
FACULTATEA DE INGINERIA PETROLULUI ȘI GAZELOR**

TEZĂ DE DOCTORAT-REZUMAT

**Contribuții privind optimizarea
punerii în funcțiune a instalațiilor
electrice din cadrul sistemelor de
foraj-extracție**

Ploiești 2015

**Conducător Științific,
Profesor Dr. Ing. Lazăr Avram**

**Doctorand,
Ing. Traian-Octavian Susanu**

Rezumat

Punerea în funcțiune a unui obiectiv industrial reprezintă procesul prin care toate elementele și sistemele obiectivului se verifică și se testează în vederea asigurării următoarelor aspecte:

- toate sistemele respectivului obiectiv (sisteme de foraj, sisteme de extracție, uzine de procesare, stații de pompare, centre de colectare, stații de injecție etc.) sunt instalate, pregătite pentru operarea normală (energizate) și performează interactiv conform așteptărilor de proiectare;
- aceste sisteme sunt eficiente și respectă cerințele operaționale conform contractului;
- procesul de instalare este documentat în mod adecvat, inclusiv în ceea ce privește modificările „*as built*” (conform construcției), respectiv toată documentația necesară a fost înmănată operatorului de sistem;
- operatorii au fost instruiți în mod corespunzător pentru a putea opera pe mai departe sistemele, în condiții de maximă siguranță și de eficiență economică.

Procesul de punere în funcțiune a instalațiilor electrice, pe lângă obiectivele tipice detaliate în cadrul definiției anterioare, crește fiabilitatea sistemelor electrice atât prin identificarea și soluționarea problemelor apărute după etapa instalării sistemului, cât și prin asigurarea unor seturi de valori de referință pentru comparații ulterioare în cadrul testelor periodice. În vederea efectuării unei planificări corespunzătoare a verificării instalării sistemelor electrice și a funcționalității acestora în interdependență cu celelalte sisteme, se va dezvolta un plan și o metodologie de punere în funcțiune.

În primul capitol al lucrării sunt expuse cercetările efectuate în privința stadiului actual al metodologiei și problematicii punerii în funcțiune a instalațiilor electrice aferente sistemelor de foraj - extracție. Pentru început, este exemplificată utilizarea energiei electrice în cadrul proceselor tehnologice de foraj și de extracție; ulterior se sintetizează elementele principale ale metodologiei de punere în funcțiune, inclusiv problematica fazei de punere în funcțiune cu cauzele aferente. Se insistă asupra importanței următoarelor elemente de management al punerii în funcțiune:

- abordarea metodologică utilizând partiționarea în subsisteme și sisteme a proiectului ajuns în faza de punere în funcțiune;
- abordarea metodologică prin separarea tipurilor de teste (de conformitate, statice, dinamice, funcționale) și considerarea punerii în funcțiune în două etape;
- modul de gestionare a neconformităților în vederea efectuării procesului de punere în funcțiune cu diminuarea pe cât posibil a timpilor de întârziere introduși de necesitatea rezolvării neconformităților;
- dezvoltarea unui plan coerent de punere în funcțiune prin implicarea tuturor factorilor decizionali: client, contractor, proiectant;

- dezvoltarea unei documentații specifice și corelarea informațiilor cu *status*-ul real al proiectului;
- structura și capabilitatea echipei de punere în funcțiune precum și apartenența contractuală a acestei echipe.

Analiza acestor elemente metodologice s-a efectuat considerându-se standardele și prescripțiile românești referitoare la punerea în funcțiune, documentația tehnică din domeniu, standardele internaționale referitoare la punerea în funcțiune precum și codurile de practică respectiv manualele de punere în funcțiune ale principalilor operatori mondiali din petrol și gaze la a căror documentatie am avut acces.

După evidențierea importanței abordării metodice, bazate pe teoria partiționării în sisteme, a punerii în funcțiune a unui proiect complex din domeniul foraj - extracție, lucrarea sintetizează în capitolul 3, principalele metode de testare ale echipamentelor electrice în cadrul fazei de punere în funcțiune.

Aceste metode, așa cum au fost clarificate în urma analizării documentației menționate anterior, sunt: inspecția, verificarea izolației aflată sub formă solidă sau fluidă, verificarea protecțiilor prin relee, testul de analiză timp - deplasare la întreruptoare, măsurători de rezistență și de impedanță, inspecția în infraroșu, analiza gazului generat de defecte, testele funcționale și testele funcționale de performanță.

Se insistă în cadrul acestui capitol asupra principalelor metode de testare utilizate pe plan mondial precum și asupra criteriilor de acceptanță și valorilor de acceptanță ale testelor, având în vedere că aceste metode vor fi analizate în capitolele 5 și 6, în cadrul studiului de caz.

În capitolul 4 se studiază diversele tipuri de instalații electrice din cadrul sistemelor de foraj - extracție, atât *onshore* cât și *offshore* și se identifică principalele echipamente și sisteme electrice care deservește instalațiile de foraj și de extracție.

Considerând elementele principale ale instalațiilor electrice identificate în capitolul precedent al lucrării cercetăm în capitolele 5 și 6 modul în care se efectuează probele de punere în funcțiune ale următoarelor echipamente și sisteme: generatoare, transformatoare de putere, sisteme de distribuție și celule de medie și joasă tensiune (împreună cu echipamentele de comutație), motoare electrice, cabluri și sisteme de protecție prin relee.

În urma acestei analize, identificăm diferențele de abordare în efectuarea diverselor teste, inclusiv în considerarea valorilor de acceptanță. Aceste diferențe sunt identificate atât în cadrul standardelor locale și internaționale precum și în cadrul prescripțiilor și al manualelor de punere în funcțiune ale unora dintre principalii operatori mondiali din petrol și gaze.

În capitolul 7 se sintetizează contribuțiile personale ale autorului efectuându-se propuneri de optimizare a procesului de punere în funcțiune a instalațiilor electrice din foraj - extracție, considerându-se următoarele:

Ing.Traian Octavian Susanu
Contribuții privind optimizarea punerii în funcțiune a instalațiilor electrice
din cadrul sistemelor de foraj-extracție
Rezumat teză de doctorat

- implementarea celor mai severe valori de acceptanță, având în vedere condițiile dificile de funcționare ale echipamentelor și impactul pe care un defect electric major îl poate avea asupra instalațiilor, mediului și personalului;
- implementarea unor teste într-o manieră care să nu ducă la îmbătrânirea prematură a izolației echipamentului;
- implementarea unor teste care identifică defecte constructive ce nu sunt relevate de testele recomandate de prescripțiile respective;
- implementarea unor teste care identifică defectele de montaj ale echipamentelor, defecte care nu sunt relevate de testele recomandate de prescripțiile respective;
- implementarea unor teste care să aplice izolației un stres ce modelează cât mai fidel stresul real aplicat în timpul funcționării echipamentului.

Propunerile efectuate se referă la următoarele probe de punere în funcțiune:

- Generatoare sincrone: măsurarea rezistenței de izolație R_{iz} a înfășurărilor, măsurarea indicelui de polarizare I_p al înfășurărilor statorice, testarea izolației înfășurărilor cu tensiune mărită continuă, testarea izolației înfășurărilor cu tensiune mărită alternativă de frecvență industrială, măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$, măsurarea rezistenței ohmice R_{Ω} a înfășurărilor;
- Transformatoare de putere: măsurarea rezistenței de izolație R_{iz} a înfășurărilor, măsurarea coeficientului de absorbție și al indicelui de polarizare I_p , măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$, măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor R_{Ω} , testarea izolației înfășurărilor cu tensiune mărită alternativă de frecvență industrială, verificarea tensiunii de străpungere a uleiurilor minerale de transformator;
- Distribuitoare și celule de medie tensiune și de joasă tensiune, inclusiv aparatajul de comutație: măsurători de rezistență de izolație R_{iz} , încercarea cu tensiune mărită de frecvență industrială a barelor colectoare de medie tensiune, măsurarea rezistenței ohmice de contact R_{Ω} la barele colectoare de joasă tensiune;
- Cabluri de medie tensiune: verificarea mantalei de protecție din materiale extrudate, verificarea rezistenței ohmice la conductoarele și la ecranele cablurilor, verificarea cu tensiune mărită continuă a cablurilor noi;
- Motoare electrice: verificarea rezistenței de izolație R_{iz} a înfășurărilor, măsurarea indicelui de polarizare I_p a înfășurărilor.
- **Cuvinte cheie:** izolație, încercări, indice de polarizare, metodologie, punere în funcțiune, probe, sisteme, teste, rezistență de izolație, rezistență ohmică, tensiune mărită, $tg\delta$.

Cuprins

1. Introducere	pag.3
2. Cercetări privind stadiul actual al metodologiei și problematicii punerii în funcțiune a instalațiilor electrice aferente sistemelor de foraj – extracție	pag.5
2.1. Utilizarea instalațiilor electrice în sistemele de foraj – extracție	pag.5
2.2. Elemente de metodologie a fazei de punere în funcțiune	pag.15
2.3. Probleme tipice ale fazei de punere în funcțiune și cauzele acestora	pag.17
2.4. Punerea în funcțiune a instalațiilor electrice	pag.19
2.5. Planul de punere în funcțiune a instalațiilor electrice	pag.21
2.6. Documentația de punere în funcțiune a instalațiilor electrice	pag.26
2.7. Echipa de punere în funcțiune	pag.28
2.8. Concluzii și propuneri	pag.30
3. Metode de testare a echipamentelor și instalațiilor electrice în cadrul procesului de punere în funcțiune	pag.32
3.1. Inspecția	pag.32
3.2. Verificarea izolației aflată sub formă solidă	pag.33
3.2.1. Verificarea izolației în curent continuu	pag.34
3.2.2. Verificarea izolației în curent alternativ	pag.38
3.3. Testarea lichidelor izolatoare	pag.47
3.3.1. Umiditatea în uleiurile minerale izolatoare	pag.47
3.3.2. Oxidarea uleiurilor minerale	pag.48
3.3.3. Testarea lichidelor izolatoare	pag.48
3.4. Testarea releelor și a dispozitivelor de protecție	pag.51
3.5. Testul de analiză timp - deplasare la întreruptoare	pag.53
3.6. Măsurători de impedanță și de rezistență	pag.53
3.7. Inspecția cu dispozitive de citire în infraroșu (IR)	pag.54
3.8. Analiza gazului generat de defecte în transformator	pag.56
3.9. Teste funcționale	pag.59
3.10. Teste funcționale de performanță (teste operaționale)	pag.60

4. Echipamente și sisteme din cadrul instalațiilor electrice de foraj-extracție	pag.63
4.1. Echipamentele și sistemele electrice din cadrul instalațiilor de foraj utilizate în domeniul petrol și gaze	pag.63
4.2. Echipamentele și sistemele electrice din cadrul instalațiilor de extracție	pag.77
4.3. Principalele echipamente și sisteme electrice din foraj – extracție	pag.87
5. Studiu de caz privind verificările și probele specifice etapei inițiale de punere în funcțiune a instalațiilor electrice din sistemele de foraj – extracție	pag.89
5.1. Generatoare	pag.89
5.2. Transformatoare de putere	pag.105
5.3. Distribuitoare și celule de medie tensiune și de joasă tensiune, inclusiv aparatul de comutație	pag.130
5.4. Cabluri electrice	pag.145
5.5. Motoare electrice	pag.154
5.6. Verificări specifice în cazul instalațiilor electrice situate în zone periculoase	pag.160
6. Studiu de caz privind verificările și probele specifice etapei finale de punere în funcțiune a instalațiilor electrice din sistemele de foraj-extracție	pag.168
6.1. Protecții prin rele	pag.168
6.2. Generatoare	pag.172
6.3. Transformatoare de putere	pag.176
6.4. Distribuitoare	pag.176
6.5. Motoare	pag.177
7. Concluzii și contribuții personale privind optimizarea punerii în funcțiune a instalațiilor electrice din cadrul sistemelor de foraj-extracție	pag.178
7.1. Concluzii	pag.178
7.2. Contribuții personale	pag.180
Bibliografie	pag.187

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
OIL-GAS UNIVERSITY OF PLOIEȘTI
OIL&GAS ENGINEERING FACULTY**

DOCTORAL THESIS ABSTRACT

**Contributions to Drilling and
Production facilities electrical systems'
commissioning process optimization**

Ploiești 2015

**Scientific Supervisor,
University Professor PhD. Eng. Lazăr Avram**

**Ph.D. Candidate,
Eng. Traian-Octavian Susanu**

Abstract

Commissioning of an industrial facility is the process by which all the systems are verified and tested in order to ensure that:

- All the project systems (e.g. drilling units, production units, processing plants, pumping stations, gathering centers) are completely installed, energized and ready for the routine operation, performing interactively according to the engineering provisions
- These systems are functioning efficiently, in respect of the operational contractual provisions
- The installation status is properly documented, including the “as built” modifications; all the relevant documentation was handed over to the start –up department
- The start-up personnel was instructed in order to perform the operation of the systems with maximum safe and economical efficiency

The electrical commissioning, beyond the above detailed typical commissioning objectives, is increasing the reliability of the electrical systems by identifying and solving of the electrical construction phase problems and by the issuance of test reference values, values which shall be used at later stages within the maintenance process.

In order to achieve an accurate planning regarding the checks and tests of the electrical systems including the functional interdependence with the other systems there is a must to be developed a commissioning plan based on a suitable methodology.

The thesis' first chapter details the researches regarding the actual stage of the commissioning methodology, inclusive the electrical commissioning typical problems and the related causes. There is exemplified the use of the electrical power systems within the drilling and production technological systems; furthermore there is analyzed the commissioning methodology along with the typical causes for the commissioning problems. The following commissioning management aspects are emphasized:

- The use of the systems methodology, inclusive the partition of the project in systems and subsystems;
- The methodology of commissioning tests segregation by type of tests (conformity checks, static tests, dynamic tests, functional tests) and the execution of the commissioning in two stages: pre-commissioning and commissioning;
- The nonconformities management process in order to decrease the commissioning delay timing imposed by the solving of the nonconformities;

Eng. Traian Octavian Susanu
Contributions to Drilling and Production facilities electrical systems'
commissioning process optimization
Doctoral thesis abstract

- The issuance of a coherent and sustainable commissioning plan by involving the management belonging to the client, the engineering provider, the main contractor and the commissioning contractor;
- The development of a specific commissioning documentation correlated with the real status of the project;
- The structure and the real competencies of the commissioning team and the contractual bonds of this team.

The analyze of the above mentioned methodology elements was made upon the provisions detailed within the Romanian commissioning standards and prescriptions, specialized technical literature, international acceptance standards and, last but not least, the codes of commissioning practice and the commissioning manuals of the major oil& gas operators which could be investigated.

After the underlining of the systems methodology approach importance within the drilling & production complex projects within the 3rd chapter of the thesis, there are synthesized the fundamental electrical commissioning testing methods.

These testing methods as revealed by the aforementioned documentation are: inspection, solid or fluid insulation resistance checking, relay protection checking and testing, analysis of the circuit breaker time-travel, ohmic resistance and impedance measurements, infrared inspection, the transformers fault gas analysis testing, functional testing and operational testing.

These testing methods and the test acceptance criteria and values are well detailed within this chapter as the application of these methods will be analyzed within study case developed within the chapters 5th and 6th.

Within the 4th chapter are studied various onshore and offshore installations belonging to the drilling and/ or production systems, based on this study are identified the main common electrical equipments and systems which are performing within the drilling and production macro-systems.

Based on the main elements of the electrical systems, as acknowledged in chapter 4, and based on the main commissioning tests identified in chapter 3, there is analyzed within the chapter 5th and 6th the pre-commissioning and the commissioning of the following equipments and systems: power generator, power transformer, medium and low voltage switchboards including the switchgears and busbars, electric motors, cables and relay protection systems.

As a result of this analyze, there are identified the different approaches in performing various tests, including various test values for acceptance. These differences are identified not only in the local and international standards, but also within the oil& gas operators' codes and manuals of commissioning practice.

Eng. Traian Octavian Susanu
Contributions to Drilling and Production facilities electrical systems'
commissioning process optimization
Doctoral thesis abstract

Within the chapter 7, the author is synthesizing his own contributions by issuing commissioning optimization proposals for the electrical installation belonging to the drilling and production systems. These proposals are made in respect of:

- The implementing of the most severe acceptance criteria, considering the rough operations conditions of the electrical equipments and the devastating impact of a major electrical failure on the human operator and on the environment;
- The implementing of testing methods which diminish the ageing effects on the equipment insulation properties;
- The implementing of tests which are identifying the fabrication errors not revealed by the other commissioning tests already in use within the analyzed prescriptions;
- The implementing of tests which are identifying the installation errors not revealed by the other commissioning tests already in use within the analyzed prescriptions.

More specific, the proposals are made in respect of:

- Generators: windings IR measurement, stator windings PI measurement, windings DC Hi-pot test, windings AC Hi-pot test with industrial frequency, $\text{tg}\delta$ measurements (DF), windings ohmic resistance $R\Omega$ measurement;
- Power transformers: windings IR measurement, absorption coefficient and PI measurements, $\text{tg}\delta$ measurements (DF), windings ohmic resistance measurement $R\Omega$, windings AC High potential test with industrial frequency, dielectric breakdown voltage test;
- Medium and low voltage switchboards including the switchgears and busbars: IR measurements, busbars AC High potential test with industrial frequency, measurement of busbars ohmic contact resistance $R\Omega$;
- Medium voltage cables: the test of the protection sheet made of extruded materials, the ohmic resistance measurement $R\Omega$ of the conductors and of the cable screens, DC Hi-pot test of the new cables;
- Electrical motors: windings IR measurement, windings PI measurement.

Keywords: electrical commissioning, checks, Hi-pot test, insulation, insulation resistance, methodology, ohmic resistance, pre-commissioning, polarization index, systems, tests, $\text{tg}\delta$.

Content

1. Introduction	pg.3
2. Researches regarding the commissioning methodology's actual stage for the electrical installations of the drilling and production facilities	pg.5
2.1. Electrical systems within the drilling and production facilities	pg.5
2.2. The commissioning methodology	pg.15
2.3. The commissioning process -typical problems and problems' roots	pg.17
2.4. The commissioning of electrical equipments and systems	pg.19
2.5. The commissioning plan for electrical equipments and systems	pg.21
2.6. The electrical systems' commissioning documentation	pg.26
2.7. The commissioning team	pg.28
2.8. Conclusions and proposals	pg.30
3. Commissioning process: electrical equipments and systems' testing methods	pg.32
3.1. Inspection	pg.32
3.2. Testing of the solid insulation	pg.33
3.2.1. Testing of insulation with direct current	pg.34
3.2.2. Testing of insulation with alternative current	pg.38
3.3. Testing of the insulating liquids	pg.47
3.3.1. Moisture within the insulating mineral oils	pg.47
3.3.2. The oxidation of the mineral oils	pg.48
3.3.3. The testing of the insulating liquids	pg.48
3.4. The testing of the relays and of the protective devices	pg.51
3.5. Circuit breaker time-travel analysis	pg.53
3.6. Impedance and resistance measurements	pg.53
3.7. The inspection with infrared devices (IR)	pg.54
3.8. The analyze of the transformer's faults generated gas	pg.56
3.9. Functional tests	pg.59
3.10. Performance functional tests (operational test)	pg.60

4. The electrical equipments and systems of the drilling and production facilities	pg.63
4.1. Electrical equipments and systems used in oil and gas drilling facilities	pg.63
4.2. Electrical equipments and systems used in oil and gas production facilities	pg.77
4.3. Main electrical equipments and systems used in drilling and production facilities	pg.87
5. Pre-commissioning checkings and testings-case study for the electrical installations of the drilling and production facilities	pg.89
5.1. Power generators	pg.89
5.2. Power transformers	pg.105
5.3. Medium and low voltage switchgears and circuit breakers	pg.130
5.4. Electrical cables	pg.145
5.5. Electrical motors	pg.154
5.6. Specific checkings of the electrical installations from the clasificated areas	pg.160
6. Commissioning checkings and testings-case study for the electrical installations of the drilling and production facilities	pg.168
6.1. Relays protections	pg.168
6.2. Power generators	pg.172
6.3. Power transformers	pg.176
6.4. Switchboards	pg.176
6.5. Electrical motors	pg.177
7. Conclusions and personal contributions for the commissioning process optimization of the electrical systems used in drilling and production facilities	pg.178
7.1. Conclusions	pg.178
7.2. Personal contributions	pg.180
Bibliography	pg.187