



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

STAND PENTRU TESTAREA MECANISMULUI CENTRIFUGAL DE PROTECȚIE LA SUPRATURARE A UNUI ROTOR DE TURBINĂ EOLIANĂ DE 5 kW

Rodica BĂDĂRĂU, Teodor MILOȘ

STAND FOR TESTING THE OVERSPEED PROTECTION CENTRIFUGAL MECHANISM OF A 5 KW WIND TURBINE ROTOR

The testing stand is designed to check the rotor protection complex system of a wind aggregate of 5 kW at over speed. The planned complex system is designed as an automatic mechanical system to react without electronic control. Only the returning to the initial state is controlled by the electronic system of automatic control of the wind turbine. The stand checks triggering centrifugal mechanism when is achieved the maximum rotation speed initially prescribed. The triggering of the centrifugal mechanism must be followed by the locking in its extreme position of the rotation of the blades. After locking, the centrifugal speed is reduced to 20 ... 30 rpm then, if weather conditions allow, it gives the command to unlock the centrifugal mechanism. An electric motor drives a cam which raises the locking pin so that the centrifugal mechanism returns back to the normal working position. The adjusting of the centrifugal counterweight of the centrifugal mechanism and the impeccable operation of the whole automatic system should be checked on the testing stand. The purposes of the tests are to adjust, check and improve the endurance of the mechanism.

Keywords: wind turbine, testing stand, protection mechanism at overspeed, locking-unlocking device

Cuvinte cheie: turbină eoliană, stand de probă, mecanism de protecție la supraturare, dispozitiv de blocare-deblocare

1. Introducere

În proiectarea sistemului de conducere și protecție a agregatelor eoliene se pornește de la câteva elemente și restricții impuse [1], [2], [4]:

- exploatarea grupului de mașini (turbina de vânt + generator electric) trebuie optimizată prin reglarea turației. Acest reglaj se face prin controlul puterii de ieșire la convertizorul de frecvență (putere corelată cu cea de intrare de la turbina în funcție de regimul vântului, respectiv tensiuni și frecvențe admise de standarde pentru consumatorii electrici conectați);

- menținerea puterii maxime de lucru la arborii generatorului chiar și în cazul unui regim de vânt cu rafale puternice;

- menținerea valorii turației maxime admise în cazul mersului în gol.

Sistemul de protecție trebuie să intervină în cazul avariilor de natură electrică sau mecanică.

Interesul asupra mecanismelor de protecție este unul general având în vedere posibilele accidente provocate de supraturare și care duc la avarierea gravă a turbinei sau a unei importante părți a acesteia, dar și pericolul pentru zona potențial locuită adiacentă turbinei. Cercetările s-au desfășurat în direcția adaptării și perfecționării sistemelor existente precum și punerea în aplicare a unor noi concepte.

În cadrul Grant-ului RO-0018/2009 [4] a fost proiectat, executat și montat de către colectivul Centrului de Cercetări Aeroenergetice din cadrul Universității "Politehnica" Timișoara, un agregat eolian pe amplasamentul de la Șeușa, comuna Ciugud, județul Alba [4].

Una din variantele turbinei a fost concepută având la butuc un mecanism de protecție centrifugal, cu contragreutăți, care rotește paletelile în poziția „drapel” în cazul unor viteze ale vântului foarte mari, care duc la turații mari ale rotorului.

Cercetările continuă fiind urmărite anumite aspecte legate de declanșarea mecanismului centrifugal la atingerea turației maxime prescrise inițial, precum și modul de blocare a mecanismului în poziția extremă de rotire a paletelor.

În acest scop s-a proiectat și este în faza de execuție un stand de testare a mecanismelor de protecție cu punere a paletelor în „drapel”. Acest stand vine ca o necesitate pentru încercarea, verificarea și validarea soluțiilor proiectate ale acestor tipuri de mecanisme originale cu costuri minime.

2. Aspecte generale privind standul pentru testarea mecanismului centrifugal de supraturare

Mecanismele de protecție la supraturare au o structură complexă, diversă. Funcționarea acestora se bazează în multe cazuri pe principiul utilizării unei forțe centrifuge care acționează la valori determinate ale turației rotorului turbinei.

Standul de probă care este prezentat în această lucrare este destinat testării sistemului complex de protecție la supraturare al rotorului agregatului eolian de 5 kW de pe amplasamentul Șeușa, ulterior urmând a fi folosit și pentru testarea altor mecanisme de protecție la supraturare.

Mecanismul de protecție supus testării este un sistem complex conceput ca un sistem mecanic automat care să reacționeze automat fără un control electronic. Doar readucerea la starea inițială este comandată prin intermediul sistemului electronic de conducere automată a regimului optim de lucru al turbinei eoliene. Conceperea acestui mecanism a rezolvat problema modificării unghiului de instalare β_s sau „pich-ul” paletei în funcție de turația rotorului, care este la rândul ei în funcție de viteza vântului. Mecanismele centrifugale de protecție la supraturare funcționează alternativ în sensul că într-un interval scurt de câteva secunde de la declanșare și punere a paletelor rotorice în „drapel” se produce frânarea aerodinamică. Turația turbinei scade și arcul mecanismului readuce paletele în poziția de lucru optimă. Dacă vântul persistă cu viteze peste limita de lucru admisă, rotorul se turează din nou în sarcină și dacă este aruncat din sarcină readuce paletele rotorice în „drapel”. Alternanțele acestea nu sunt de dorit pentru că solicită dinamic întregul agregat eolian.

Pentru a evita astfel de situații, s-a ajuns la concluzia că mecanismul de protecție centrifugal, odată declanșat, ar trebui să rămână blocat în poziția „drapel” până ce condițiile meteo revin în domeniul de lucru al turbinei eoliene. Totodată dacă a fost semnalată o avarie pe partea electrică blocarea mecanismului oferă șansa de a remedia la timp defecțiunea, cu costuri minime. În acest sens, a fost conceput un dispozitiv de blocare-deblocare a mecanismului centrifugal de protecție la supraturare. Dispozitivul de blocare-deblocare este un sistem mecanic semiautomat în sensul că acțiunea de blocare a mecanismului centrifugal de protecție la supraturare se realizează automat, iar acțiunea de deblocare se realizează printr-o acționare electrică comandată de sistemul automat de comandă și control al agregatului eolian.

Pe standul conceput se verifică declanșarea mecanismului centrifugal la atingerea turației maxime prescrise inițial. Declanșarea mecanismului centrifugal trebuie să fie urmată de blocarea sa în poziția extremă de rotire a paletelor. Pentru deblocarea mecanismului un motor electric acționează o camă care ridică bolțul de blocare, astfel că mecanismul centrifugal revine din nou în poziția normală de lucru. Reglarea forțelor centrifuge cu ajutorul poziției contragreutăților din mecanismul centrifugal și funcționarea ireproșabilă a întregului sistem automat se vor verifica pe standul de probă. Pe stand se pot face și probele de duranță pentru mecanismele centrifugale. Standul poate fi adaptat pentru diverse mecanisme de protecție la supraturare, nu doar centrifugale.

3. Descrierea standului de probă

Standul de probă [3] se compune din trei subansamble:

- Dispozitiv de susținere al rotorului (fără palete) cu mecanism centrifugal de rotire a paletelor în poziția drapel și mecanism de blocare-deblocare al mecanismului centrifugal, (figura 1).
- Sistem de acționare al rotorului cu motor electric cu turație variabilă, (figura 2).
- Masă suport pentru montajul dispozitivului de susținere a rotorului și a sistemului de acționare, (figura 3).

3.1. Dispozitivul de susținere al rotorului (fără palete) cu mecanism centrifugal de rotire a paletelor în poziția drapel și mecanism de blocare-deblocare al mecanismului centrifugal, (figura 1)

Dispozitivul preconizat (figura 1) se compune din rotorul cu mecanism centrifugal de protecție la supraturare (1), cadru suport pentru sistemul de antrenare al rotorului (2) și mecanism de blocare-deblocare al mecanismului centrifugal (7). Antrenarea în mișcare de rotație de la 50 rot/min până la 150 rot/min se face prin intermediul unei roți de curea (3) și o curea dințată (4). Raportul de transmisie este de 1:1. Cadrul suport al sistemului de antrenare (2) înlocuiește riguros (ca dimensiuni) generatorul electric al agregatului eolian. Nu se folosește generatorul electric propriu-zis deoarece acesta nu poate funcționa în regim de motor electric. Întregul ansamblu rotitor se fixează pe suportul (10), având o placă înclinată la 82° față de verticală pentru a reproduce identic poziția de montaj a agregatului eolian cu axa înclinată cu 8° față

de poziția orizontală. Conexiunea între rotorul cu mecanism centrifugal și mecanismul de blocare-deblocare se face prin tija (8) care trece prin arborele turbinei (găurit în prealabil la aceleași cote cu ale arborelui generatorului).

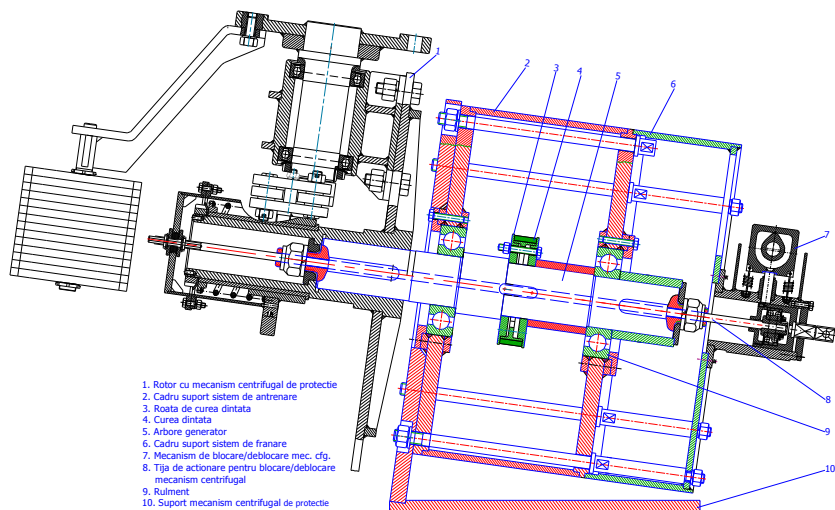


Fig. 1 Dispozitiv de testare al rotorului (fără paletă) cu mecanism centrifugal de rotire a paletelor în poziția drapel și mecanism de blocare-deblocare al mecanismului centrifugal

Testarea în laborator a acestui sistem mecanic automat de protecție la supraturare constă în antrenarea rotorului la turații variabile începând cu 50 rot/min până la maximum 150 rot/min. Conform calculelor de predimensionare a mecanismului centrifugal, la atingerea turației de aprox. 115 rot/min, trebuie ca mecanismul centrifugal să se declanșeze și să rotească paletelile rotorice până la poziția de „drapel”. În această poziție, indiferent de viteza vântului, până la maximum 20 m/s se produce frânarea aerodinamică a rotorului, turația scăzând spre 20 - 30 rot/min. Scăderea turației face ca mecanismul centrifugal să nu mai poată să mențină paletelile în poziția de drapel, astfel că se produce tendința de revenire la poziția normală de lucru, fapt ce ar duce la o nouă tendință de supraturare. Pentru a nu se produce alternanța supraturare – frânare aerodinamică cu solicitări dinamice ale paletelor, a fost prevăzut un mecanism de blocare (7) a paletelor în poziția „drapel”, de frânare aerodinamică.

Se consideră că în zona noastră climatică, creșterea vitezei vântului se produce în caz de furtună și durează de la câteva zeci de minute până la câteva ore. În tot acest timp rotorul eolian rămâne cu paletetele blocate în poziția drapel, asigurând protecția rotorului prin frânare aerodinamică. Dacă viteza vântului depășește 20 m/s se trece la protecția finală prin frânarea rotorului. După ce viteza vântului scade sub 9 m/s sistemul electronic de automatizare dă comanda de alimentare a motorului electric de curent continuu (12 V) care rotind cama (7) din mecanismul de blocare – deblocare va ridica bolțul de blocare, permițând ca arcul elicoidal din mecanismul centrifugal (1) să readucă paletetele în poziția normală de lucru, iar apoi turbina eoliană să fie cuplată în sarcină.

Fiabilitatea acestui sistem mecanic automat este mult mai bună decât a sistemului electronic de automatizare care, în caz de avarie pe partea electrică de alimentare, devine total inoperabil. Singurul risc în sistemul mecanic automat este blocarea unor piese culisante sau ruperea unor piese suprasolicitate. Dacă se fac revizii periodice, aceste riscuri se diminuează foarte mult.

3.2. Sistemul de acționare al rotorului cu motor electric cu turație variabilă (figura 2)

Antrenarea rotorului eolian se face prin intermediul unui motor electric asincron trifazat (1). Acest motor electric se alimentează de la un convertizor de curent trifazat cu frecvență variabilă. Astfel că turația motorului se poate regla continuu de la 50 rot/min până la 200 rot/min, suficient pentru a acoperi plaja de turații în care funcționează optim agregatul eolian. Motorul electric fiind cu flanșă se fixează cu șuruburi pe placă suport (3) înclinată cu 82° față de verticală astfel încât axa de rotație să fie înclinată cu 8° față de orizontală. Pe capătul de arbore al motorului electric se află aceeași roată de curea dințată prin care se transmite mișcarea de rotație la dispozitivul de testare al mecanismului centrifugal cu sistem de blocare – deblocare. Acest subsansamblu se fixează pe masa suport prin intermediul șuruburilor cu piulițe și șaibe (4). Poziția de fixare se stabilește la montaj astfel încât cele două roți de curea să fie perfect alinierte.

3.3. Masa suport pentru montajul dispozitivului de susținere a rotorului și a sistemului de acționare, (figura 3)

Pentru a avea condiții optime de măsurare a parametrilor funcționali ai preconizatului sistem automat de protecție la supraturare

a fost concepută o masă suport rigidă și cu spațiu de manevră extins pe circa 0,6 m². Placa de montaj (1) de pe masa suport este o foaie de tablă groasă de 8 mm în care s-au prevăzut găuri corespunzătoare pentru fixarea dispozitivului automat cu mecanism centrifugal și sistem de blocare – deblocare. Pentru a avea o rigiditate sporită, placa de montaj se sudează pe un cadru suport dreptunghiular (2) confecționat din profil cornier cu aripi egale, L60.

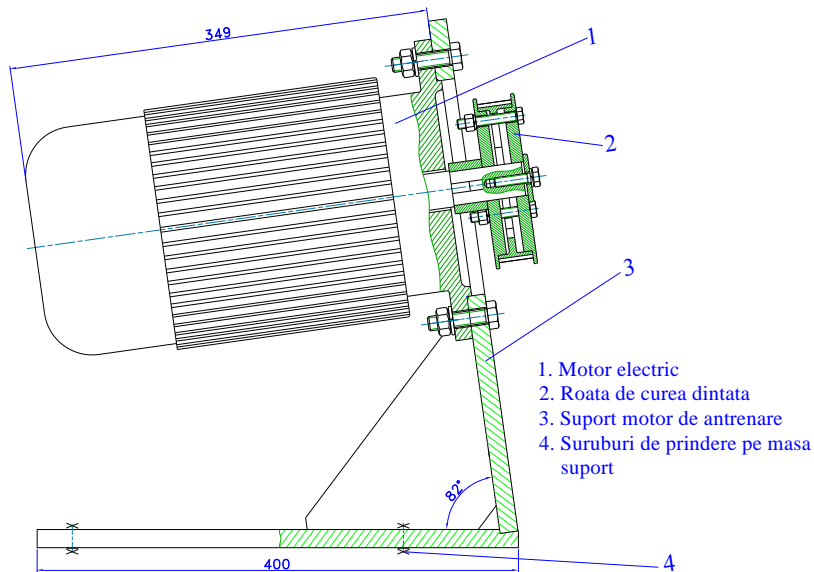


Fig. 2 Sistem de acționare al rotorului cu motor electric cu turație variabilă

Deoarece dispozitivul de testare se montează pe marginea mesei suport, apărând tendința de răsturnare, s-au prevăzut două tălpi (4), lungi de 1 m, din profil laminat U100, care ies din cadrul mesei în exterior în partea în care apare tendința de răsturnare. Întregul subansamblu se montează în laborator, direct pe pardoseală sau pe structura de grilaje existentă, din profile I80, prin intermediul șuruburilor (5).

4. Simularea momentului aerodinamic ce apare pe palete când se depășește turația limită corespunzătoare puterii maxime admise la generatorul cu magneți permanenți

Mecanismul centrifugal împreună cu cel de blocare – deblocare conțin toate elementele necesare funcționării în condiții similare celor

din exploatare, mai puțin momentul dat de forțele aerodinamice în raport cu axa longitudinală a paletelor.

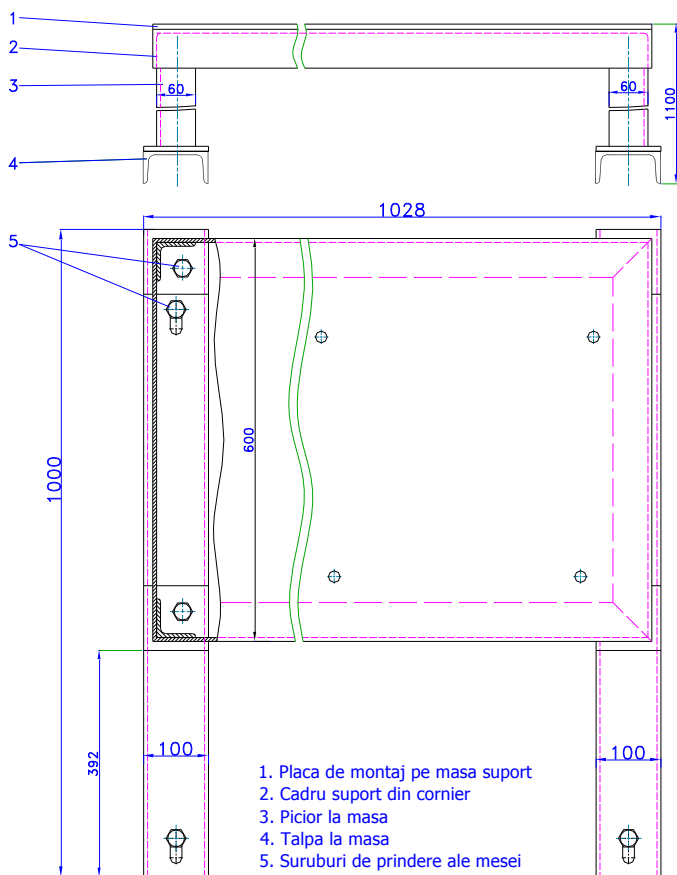


Fig. 3 Masă suport pentru montajul dispozitivului de susținere a rotorului și a sistemului de acționare

Acest moment trebuie să fie egalat și depășit de cuplul dat de mecanismul centrifugal. Momentul când cele două cupluri sunt egale și de sens contrar trebuie să corespundă cu atingerea turației limită corespunzătoare puterii maxime admise la generatorul cu magneți permanenți. Simularea acestui cuplu aerodinamic pe standul de probă se face cu un arc pretensionat. În acest caz s-a ales un arc pneumatic

care are avantajul unui gabarit redus și facilități deosebite de montaj. Brațul forței date de arcul cu gaz este de 80 mm (fig. 4). Arcul cu gaz (1) face legătura mecanică între flanșa paletelor (2) și discul suport al butucului rotorului (4). Contragreutatea prin intermediul brațului (3) determină momentul de rotație a paletelor spre poziția de protecție, drapel. Montajul arcului pneumatic conform fig. 4 se aplică la fiecare din cele trei palete ale rotorului. Arcul cu gaz poate fi pretensionat și astfel se reglează cuplul necesar a fi simulat pe standul de probă.

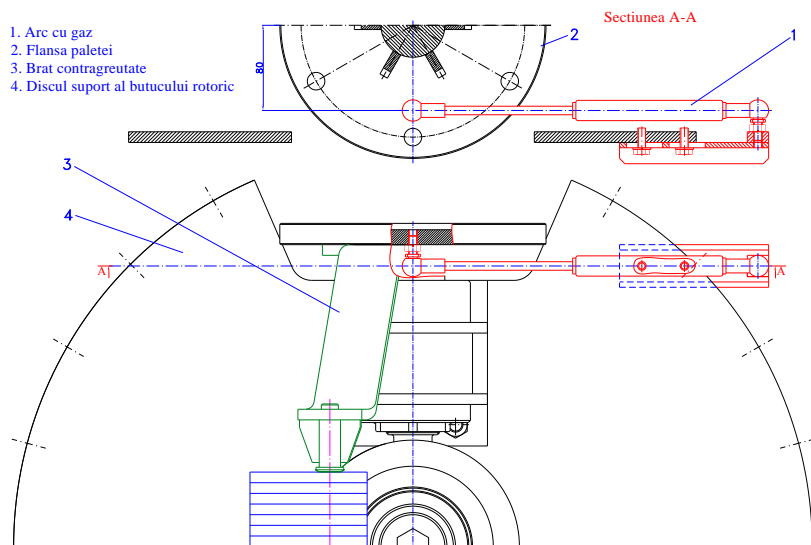


Fig. 4 Simularea momentului aerodinamic ce apare pe palete când se depășește turația limită

Testele pe standul de probă trebuie să demonstreze că întregul sistem automat mecanic reacționează prompt, în limitele parametrilor prescriși și în mod repetitiv fără abateri semnificative. De asemenea se vor obține grafice între parametrii funcționali astfel încât la montajul pe amplasament să se facă ultimele reglaje de finețe pentru acoperirea optimă a întregului domeniu de turații.

5. Concluzii

- Standul de probă pentru testarea funcționării automate a rotorului de turbină eoliană de 5 kW (fără palete) cu mecanism

centrifugal de rotire a paletelor în poziția „drapel” este necesar pentru reglarea mecanismului centrifugal astfel încât să determine declanșarea rotirii paletelor spre poziția „drapel” la turația prescrisă de aprox. 115 rot/min.

■ Mecanismul de blocare/deblocare a mecanismului centrifugal necesită reglaje pe stand a cursei tijei culisante astfel încât să fie în concordanță cu valoarea cursei axiale a mecanismului centrifugal. De asemenea se verifică acțiunea secvențială a camei pentru deblocarea mecanismului centrifugal și revenirea în poziția normală de lucru a paletelor rotorice.

■ Dacă aceste teste s-ar face direct pe agregatul eolian ar necesita costuri foarte mari de ridicare-coborâre a agregatului eolian și riscuri majore de manevrare în condiții climatice ce nu pot fi prevăzute din timp (vânt sub 3 m/s necesar pentru montare-demontare, vânt peste 3 m/s necesar pentru teste pe centrala eoliană).

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bej, A., *Turbine de vânt (Wind turbines)*, Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
- [2] Gipe, P., *Wind turbine basics*, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, USA, 2009.
- [3] * * * *Microgrid Integrated Small Power Renewable Energy Hybrid Systems*, Grant UEFISCDI-PCCA 36/2012., Parteneriat UEFISCDI 2012-2016, Raport științific 2013, 2014.
- [4] * * * *Improvement of the Structures and Efficiency of Small Horizontal Axis Wind Generators with Non-Regulated Blades*, EEA-Grant RO-0018/2009.
- [5] Bădărău, R., *Contribuții la studiul turbomașinilor axiale neîntubate*, Teză de doctorat, Editura Politehnica, Timișoara, 2011.
- [6] Abbott, I. H., Doenhoff, A. E., *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, Inc., New York 1958.

Șef lucr.Dr.Ing. Rodica BĂDĂRĂU
Universitatea "Politehnica" Timișoara
membru AGIR
e-mail: badarau_r@yahoo.com
Conf.Dr.Ing. Teodor MILOȘ
Universitatea "Politehnica" Timișoara
membru AGIR
e-mail: teodor.milos@gmail.com