

INSTALAȚIE PENTRU MĂSURAREA PIERDERILOR MAGNETICE ÎN STATORUL MOTORULUI ASINCRON TRIFAZAT CU ROTOR ÎN SCURT CIRCUIT ÎN PROCESUL DE REPARAȚIE CAPITALĂ

E. Catlabuga

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

După o reparație capitală a motorului asincron (MA) este strict necesar păstrarea caracteristicilor sale inițiale tehnice (curentul de mers în gol, puterea, factorul de putere etc.) altfel el va fi rebutat ceea ce sub aspect economic este costisitor.

Una din cauzele principale a necorespunderii a unor MA cerințelor tehnice după reparație capitală o constituie creșterea pierderilor magnetice în stator în legătura cu deteriorarea stratului izolant dintre tolele pachetului stator.

Din această cauză se trec la rebut în mediu 60% [1] din numărul total de motoare rebutate de aceea în procesul de reparație capitală a MA o atenție deosebită trebuie acordată diagnozei tehnice a statorului până la montarea înfășurării pe stator.

1. INSTALAȚII UTILIZATE PENTRU CONTROLAREA STATORULUI MOTORULUI ASINCRON

Există mai multe aparate [2] și instalații [3,4,5] pentru determinarea pierderilor magnetice în statorul MA în procesul de reparație, și anume:

- instalația cu utilizarea unui termovizor – defectoscop;
- aparat electronic portativ cu senzori de tip Rogowski;
- instalația de magnetizare a miezului stator cu folosirea unui permeamtru trifazic;
- instalație de magnetizare a statorului cu utilizarea la ieșirea sa a trei wattmetre.

Analiza metodelor de diagnoză tehnică a statorului MA în procesul de reparație capitală cu utilizarea acestor instalații constată o serie de dezavantaje.

Astfel, instalația cu utilizarea unui termovizor defectoscop determină zonele deteriorate a stratului izolant dintre tolele statorului la suprafața acestuia iar la adâncime necesită mai mult timp. Instalația se

utilizează numai pentru diagnosticarea statoarelor de dimensiuni mari.

Controlarea unui stator de dimensiuni mari cu un aparat portativ cu senzori de tip Rogowski necesită opt ore, iar zonele deteriorate a stratului izolant dintre tole se determină aproximativ.

Instalația de magnetizare a miezului stator cu utilizarea unui permeamtru trifazat este utilizată numai în condiții de laborator, de asemenea, este complicată în fabricare și scumpă.

Instalația de magnetizare a statorului cu utilizarea la ieșire sa a trei wattmetre este mai simplă, dar pentru măsurări necesită instalarea în creștăturile statorului a trei înfășurări de magnetizare ceea ce cere mai mult timp în exploatare.

2. INSTALAȚIE DE MĂSURARE A PIERDERILOR MAGNETICE ÎN STATORUL MOTORULUI ASINCRON DE PUTERE MICĂ

Dezavantajele arătate anterior sunt excluse folosind o instalație ca în Figura 1, asamblată cu un permeamtru monofazat 1, realizat din tole electrotehnice, în creștăturile cărui este repartizată o înfășurare de magnetizare 2.

În circuitul înfășurării de magnetizare este conectată bobina serie a wattmetrului 3, un ampermetru A și un voltmetru V pentru măsurarea tensiunii aplicate la bornele permeametrului de la autotransformatorul AT.

Bobina de măsurare, 4 este montată pe stator sau întrefier, se conectează la bobina paralelă a wattmetrului și la voltmetru digital 5, care măsoară t.e.m. indusă în ea de către fluxul permeametrului. Cu ajutorul autotransformatorului AT se modifică tensiunea la intrarea înfășurării de magnetizare, se instalează pe voltmetru digital valoarea tensiunii care corespunde inducției B_{j1} în jugul statorului, care prealabil se calculează cu expresia (1)

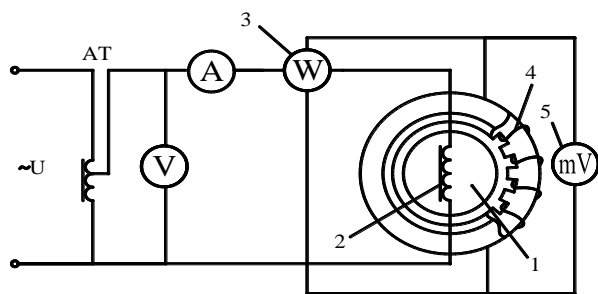


Figura 1. Schema de principiu a instalației.

$$B_{j1} = \frac{\Phi \times 10^6}{2 \times h_{j1} \times l_{j1m} \times k_f}, \text{ T} \quad (1)$$

în care:

Φ - valoarea efectivă a fluxului întrefier;

h_{j1} - înălțimea jug stator;

l_{j1m} - lungimea medie a liniei magnetice în jug stator;

k_f - coeficient de umplere a tolelor.

T.e.m. indusă în spirele bobinei de măsurare se determină folosind expresia:

$$E_2 = 4 \times k_{fi} \times w_2 \times s_{j1} \times B_{j1} \times 10^{-6}, \text{ V} \quad (2)$$

în care:

k_{fi} - factor de formă a curbei inducției;

f_1 - frecvența stator;

w_2 - numărul de spire a bobinei de măsurare;

s_{j1} - secțiunea jug stator;

B_{j1} - inducția magnetică jug stator.

3. CALCULUL PIERDERILOR MAGNETICE ÎN STATORUL MA FĂRĂ ÎNFAȘURARE TRIFAZATĂ

În cazul lipsei înfășurării statorului calculele pierderilor magnetice se efectuează separat pentru circuitul magnetic al jugului stator și separat pentru zona cu dinți a statorului. Calculele se efectuează în următoarea ordine, se determină:

Greutatea jugului stator [6]:

$$G_{j1} = \gamma_f \times h_{j1} \times l_p \times k_f \times l_{j1m} \times (2p) \times 10^{-6}, (3)$$

în care:

γ_f - greutatea specifică a fierului;

h_{j1} - înălțimea jug stator;

l_p - lungimea pachetului de tole a statorului;

k_f - coeficient de umplere a tolelor;

l_{j1m} - lungimea medie a liniei magnetice în jug stator;

$2p$ - număr pol stator.

Pierderile în fierul jugului stator:

$$P_{jf1} = k_{pj1} \times p_{sj} \times G_{j1} \times 10^{-3}, \quad (4)$$

în care:

k_{pj1} - coeficient experimental pentru pierderi în jug stator;

p_{sj} - pierderi specifice în oțelul electrotehnic pentru valoarea inducției din jugul statorului;

G_{j1} - greutatea jugului stator;

Greutatea dinților stator:

$$G_d = \gamma_f \times z_1 \times h_{d1} \times b_{md1} \times l_p \times k_f \times 10^{-6}, (5)$$

în care:

γ_f - greutatea specifică a fierului;

z_1 - număr crestături;

h_{d1} - înălțimea dintelui stator;

b_{md1} - lățimea la mijlocul dintelui stator;

l_p - lungimea pachetului stator;

k_f - coeficient de umplere a tolelor.

Inducția magnetică în mijlocul dintelui stator:

$$B_{md1} = \frac{B_\delta \times l_p \times t_c}{b_{md1} \times l_p \times k_f}, \text{ T} \quad (6)$$

în care:

B_δ - inducția magnetică în întrefier;

l_p - lungimea pachetului stator;

t_c - pas al crestăturii;

b_{md1} - lățimea la mijlocul dintelui stator;

k_f - coeficientul de umplere a tolelor.

Pierderile în fierul dinților stator:

$$P_{fd1} = k_{pd} \times p_{sd} \times G_{d1} \times 10^{-3}, \quad (7)$$

în care:

k_{pd} - coeficient experimental pentru pierderi în dinți;

p_{sd} - pierderi specifice în oțelul electrotehnic pentru valoarea inducției în dinți;

G_{d1} – greutatea dinților stator.

Cunoscând mărimile calculate pentru pierderile în jugul și în dinții statorului se determină pierderile totale din miezul statorului:

$$P_{9f1} = P_{ff1} + P_{fd1} \quad (8)$$

Calculul pierderilor magnetice sau efectuat la calculator în baza programului elaborat în limbajul Fortran pentru motoarele asincrone trifazate, seria 4A, cu puterea între 0.55-7.5 KW.

4. CALCULUL PIERDERILOR SPECIFICE ÎN STATORUL MA

Pierderile specifice în stator se calculează pe baza coeficientului de distribuire al pierderilor puterii în dinții și în jugul stator pentru valorile cunoscute ale inducției, cu expresia:

$$k_p = \frac{P_{fd1}}{P_{ff1}}, \quad (9)$$

în care:

P_{fd1} – pierderile în fierul dinților stator, W;

P_{ff1} – pierderile în fierul jugului stator, W.

Pierderile specifice în jugul stator se determină cu relația:

$$P_{sj1} = k_{sj1} \times (P_{01} - P_{0p}), \quad (10)$$

în care :

P_{01} - puterea consumată de circuitul electromagnetic, W (se determină după fig.2);

P_{0p} – pierderile totale ale permeometrului, W;

k_{sj1} – coeficientul pierderilor specifice în jug stator:

$$k_{sj1} = \frac{1}{(1 + k_p) \times G_{j1}}, \quad (11)$$

k_p – coeficientul de distribuire ale pierderilor de putere în dinții și în jugul statorului.

Pierderile specifice în dinții statorului se determină cu relația:

$$P_{sd1} = k_{sd1} (P_{01} - P_{0p}), \quad (12)$$

în care:

k_{sd1} - coeficientul pierderilor specifice în dinți:

$$k_{sd1} = \frac{1}{(1 + k_p) \times G_{d1}}, \quad (13)$$

în care :

G_{d1} - greutatea dinților stator;

k_p – coeficientul de distribuire a pierderilor de putere în dinții și în jugul statorului.

Formulele pentru determinarea pierderilor specifice în jugul statorului în procesul de reparație capitală pentru motoare asincrone tip 4A80, 4A90 sunt prezentate în tabelul 1. Pentru comparare în tabel sunt date pierderile specifice admisibile pentru jugul statorului.

Tabelul 1. Formule de calcul pentru determinarea pierderilor specifice în jugul statorului.

	Tip motor	Pierderile specifice jug stator, W/ kg	Pierderi specifice admise, W/ kg
1	4A80A2	$P_{sj1} = 0.22(P_{01} - P_{0p})$	1.9
2	4A80B2	$P_{sj1} = 0.18(P_{01} - P_{0p})$	1.23
3	4A80A4	$P_{sj1} = 0.36(P_{01} - P_{0p})$	11.3
4	4A80A6	$P_{sj1} = 0.29(P_{01} - P_{0p})$	7.19
5	4A80A6	$P_{sj1} = 0.49(P_{01} - P_{0p})$	10.5
6	4A80B6	$P_{sj1} = 0.37(P_{01} - P_{0p})$	10.8
7	4A90L2	$P_{sj1} = 0.13(P_{01} - P_{0p})$	2.2
8	4A90L4	$P_{sj1} = 0.20(P_{01} - P_{0p})$	9.94
9	4A90L6	$P_{sg1} = 0.24(P_{01} - P_{0p})$	3.93

Formule pentru determinarea pierderilor specifice în dinții statorului și valorile pierderilor specifice admise pentru zona dentară a statorului sunt trecute în tabelul 2.

Tabelul 2. Formule de calcul pentru determinarea pierderilor specifice în dinții statorului.

	Tip motor	Pierderile specifice în dinții statorului, W/ kg	Pierderi specifice admise W/kg
1	4A80A2	$P_{sd1} = 0.34(P_{01} - P_{0p})$	2.5
2	4A80B2	$P_{sd1} = 0.27(P_{01} - P_{0p})$	1.54

3	4A80A4	$P_{sd1} = 0.14(P_{01} - P_{0p})$	3.60
4	4A80A6	$P_{sd1} = 0.11(P_{01} - P_{0p})$	2.24
5	4A80A6	$P_{sd1} = 0.10(P_{01} - P_{0p})$	1.7
6	4A80B6	$P_{sd1} = 0.04(P_{01} - P_{0p})$	1.7
7	4A90L2	$P_{sd1} = 0.23(P_{01} - P_{0p})$	3.27
8	4A90L4	$P_{sd1} = 0.09(P_{01} - P_{0p})$	3.55
9	4A90L6	$P_{sd1} = 0.06(P_{01} - P_{0p})$	0.73

5. CALCULUL PIERDERILOR SPECIFICE ADMISIBILE ÎN STATOR

Cunoscând valoarea inducției magnetice în stator și marca oțelului se calculează pierderile specifice în jugul și în dinții statorului, în același timp se ia în considerație coeficientul de învechire a oțelului.

Coeficientul de învechire se determină cu expresia:

$$k_{fv} = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \times 100, \quad (14)$$

în care p_1 și p_2 – pierderile specifice în tabla de oțel electrotehnică până și după învechire, W/ kg.

Coeficientul de învechire pentru mărcile de oțel 2011, 2012, 2013 în corespundere cu [7] este egal cu $k_{fv}=1,08$.

Pierderile specifice admisibile în stator se calculează cu expresiile:

$$p_{sj1adm} = 1.08 \times p_{1,0/50} \times (B_{j1})^2 \times \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} \quad (15)$$

$$p_{sd1adm} = 1.08 \times p_{1,0/50} \times (B_{md1})^2 \times \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} \quad (16)$$

p_{sj1adm} – pierderile specifice admisibile în jug stator;

p_{sd1adm} – pierderile specifice admisibile în dinții statorului;

$p_{1,0/50}$ – pierderile specifice pentru inducția $B=1T$ și frecvența rețelei $f=50Hz$.

Rezultatele calculelor pentru pierderile specifice admisibile sunt prezentate în tabelele 1 și 2.

6. REZULTATELE EXPERIMENTALE

În calitate de probe pentru încercări au fost folosite mai multe statoare ale motoarelor de tipurile 4A80, 4A90 .

Schema de montaj a instalației folosită pentru măsurarea pierderilor este prezentată în Figura.2. Ea include un autotransformator AT pentru reglarea tensiunii, un transformator T de coborâre a tensiunii, un aparat K505 pentru măsurarea puterii P_{01} a circuitului electromagnetic, permeamtru – stator, a curentului I_0 din înfășurarea de magnetizare 5 și a tensiunii aplicate permeametrului 4, un milivoltmetru mV pentru măsurarea t.e.m. a bobinei de măsurare.

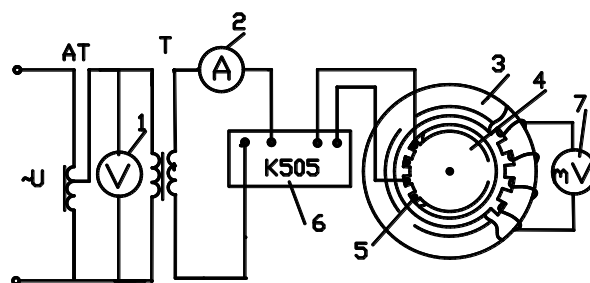


Figura 2. Schema de montaj a instalației

În tabelul 3 sunt trecute rezultatele comparative ale măsurărilor pierderilor specifice prin metoda arătată în paragraful 4 și verificate la standul de încercări după montare a înfășurării trifazice pe stator. Se observă, că statorul cu pierderile specifice mai mari decât cele admisibile se va trece la rebut, fiindcă caracteristicile sale tehnice nu vor corespunde cerințelor cerute de standard.

În tabelul 3 pierderile permeametrului se notează cu :

P_{m2} – pierderile în înfășurare;

P_{0p} – pierderile totale din permeamtru.

Aceste pierderi anterior au fost calculate în corespundere cu [7] pentru diferite valori ale curentului I_0 din înfășurarea permeametrului cu o exactitate de 0.01A. Cunoscând valoarea pierderilor totale din permeamtru după formulele din tabelele 1 și 2 se determină pierderile specifice în dinții și jugul statorului.

Tabelul 3. Rezultatele de calcul ale pierderilor magnetice în permeamtru și concluzii despre starea statorului.

Tip motor	I ₀ , A	P ₀₁ , W	P _{m2} , W	P _{0p} , W	P _{sj1} , W/kg	P _{sd1} , W/kg	P _{sj1adm} , W/kg	P _{sd1adm} , W/kg	Concluzii despre stare statorului pentru exploatare	
									Experimentale	La standul de încercări
4A80A2	0.64	23	4.42	15.42	1.67	2.60	1.9	2.49	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare
4A80A2	0.65	18	4.56	15.56	0.54	0.84	1.9	2.49	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A80A2	0.67	20	4.85	15.85	0.91	1.42	1.9	2.49	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A80A4	1.47	92.5	6.35	32.35	21.8	8.49	11.3	3.55	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare
4A80B2	0.52	19.0	2.92	9.92	1.6	2.45	1.23	1.54	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare
4A80B2	0.53	15.5	3.03	10.03	0.96	1.49	1.23	1.54	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A80B2	0.56	14.5	3.38	10.38	0.73	1.13	1.23	1.54	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A80B2	0.58	18.0	3.63	10.63	1.3	2.01	1.23	1.54	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare
4A80B4	0.80	32.5	1.88	18.88	3.96	1.47	7.19	2.24	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A80B4	0.93	47.5	2.54	19.54	8.12	3.01	7.19	2.24	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare
4A80B4	0.95	37.5	2.65	19.65	5.18	1.93	7.19	3.27	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A90L2	0.83	31.0	2.03	18.83	1.58	2.85	2.20	3.27	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A90L2	0.72	29.0	1.52	18.32	1.39	2.50	2.20	3.27	Satisfăcătoare	Satisfăcătoare
4A90L2	0.84	40.0	2.07	18.87	2.45	4.42	2.20	3.27	Nesatisfăcătoare	Nesatisfăcătoare

7. CONCLUZII

Instalația pentru măsurarea pierderilor magnetice în statorul motorului asincron în procesul de reparație capitală până la montarea înfășurării trifazice pe stator cu scopul de a verifica dacă este bun pentru exploatare are următoarele avantaje:

- este o construcție simplă și comodă în procesul d'exploatare;

- asigură un timp redus de măsurare a pierderilor magnetice, până la 3 minute pentru un stator;

- conține un aparataj simplu de măsurare, ceea ce permite de a o utiliza în atelierile de reparație a motoarelor asincrone cu rotor în scurt circuit de putere mică;

- permite reducerea cheltuelilor în procesul de reparație.

Bibliografie

1. *Sbornic. Intensificația prozhessov i oborudovaniya pishhevyh proizvodstv.L.,1976.*
2. *Controli sostoyaniya elektricheskikh mashin. Referativnyi jurnal „Elektrotehnika”,1984.*
3. *Glebov I.A., Miroșnicov M.M., Romanov V.V i dr. Defectosopia, nr.11, 1981.*
4. *Avtorskoe svidetel'stvo SSSR nr.1022083, cl. 01 31/34,1983.*
5. *Avtorskoe svidetel'stvo SSSR nr.960681,cl. 01 33/12, 1982.*
6. *Gheorghiu, I.S. Mașini electrice. Probleme, vol.II, Editura tehnică. București, 1961.*
7. *Catlabuga, E. Cercetarea și elaborarea metodei de defectare a statorului motorului asincron. IPCT Moldagroproiect, Chișinău, 1987.*

Recomandat spre publicare: 25.04.2008