DIMINUAREA ȘOCULUI DE CURENT LA PORNIREA STEA-TRIUGHI A MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE

Dr. ing. **Cosmin CRISTEA** [1], Dr. ing. **Beatrice GHIȚĂ** [1]

[1] Colegiul Tehnic Energetic „Remus Răduleț", Brașov, România

REZUMAT. Lucrarea prezintă caracteristici electrice ale motorului asincron trifazat la pornirea în conexiune stea și triunghi, urmărindu-se influența socului de curent de la pornire. Este prezentată caracteristica pornirii stea-triunghi observându-se diminuarea șocului de curent de la pornire. Este prezentat standul de testare, utilizat pentru a determina caracteristicile electrice motorului asincron trifazat, care influențează pornirea acestuia. Caracteristicile prezentate arată comportarea electrică a motorului asincron trifazat, urmărind influența curentului de pornire în funcție de timp, până la stabilizarea acestuia în regimul nominal de funcționare .

Cuvinte cheie: motor asincron trifazat, curent de pornire, caracteristici electrice.

ABSTRACT. This paper presents the electrical characteristics of the three-phase asynchronous motor when starting in a star and delta connection and follows the influence of the current shock at startup. It also presents the starting properties of star-triangle connections,by particularly noticing the lowered values of the startup current shock. The test stand used to determine the electrical properties specific to the startup of asynchronous three-phase engines is also elaborated upon. The reported characteristics indicate the electrical behaviour of the three-phase asynchronous engine by following the influence of the starting current as a function of time until it settles into its nominal operating mode..

Keywords: three-phase asynchronous motor, starting current, electrical characteristics.

1. INTRODUCERE

Mașina asincronă este cea mai utilizată mașină electrică datorită construcției sale simple, robusteții și calităților sale electromecanice, care o fac utilizabilă mai ales în regim de funcționare ca motor în diferite acționări electrice.

Mașinile asincrone sunt în general trifazate, iar la puteri mici pot fi monofazate sau bifazate. [1]

Mașina asincronă constă dintr-o armătură primară care are rolul de inductor și o armătură secundară care are rolul de indus. Mașina asincronă se folosește de obicei ca motor. În construcțiile uzuale armătura primară este statorul, iar armătura secundară rotorul.

Armatura primar, denumită pe scurt PRIMARUL, cuprinde pachetul de tole de otel și trei înfășurări, care se conectează la rețea.

Armătura secundară, denumită pe scurt SECUNDARUL cuprinde un pachet de tole de otel și o înfășurare închisă în scurtcircuit sau pe o impedanță. [2]

Motoarele asincrone se construiesc pentru o gamă variată de puteri (de la ordinul unităților de W până la ordinul zecilor de MW), pentru tensiuni joase (sub 500 V), tensiuni medii (3 kV, 6 kV sau 10 kV) și având turația sincronă la frecvența $f = 50$Hz egală în mod uzual cu n = 500, 600, 750, 1000, 1500 sau 3000 rot/min, în funcție de numărul de perechi de poli. [3]

În lucrare se prezintă determinări experimentale ale mașinii asincrone utilizate ca motor: $I = f(t)$, pentru a determina influența curentului de pornire I_p asupra funcționării mașinii asincrone .

2. MAȘINA ASINCRONĂ

Mașina asincronă este o mașină de curent alternativ cu câmp magnetic învârtitor, al cărei rotor are turația diferită de cea sincronă (a câmpului învârtitor), dependentă de caracteristica ***cuplu - turație*** a dispozitivului cu care este cuplat. Mașina asincronă se mai întâlnește în literatura de specialitate și sub numele de mașina de inducție. Are aceeași construcție ca și generatorul de curent alternativ monofazat, numai că pe stator are dispuse trei înfășurări de ieșire, cu parametrii identici, decalate spațial una față de alta cu câte 120°.

Ca urmare, cutia cu borne a unei astfel de mașini electrice va avea de regulă șase borne, dintre care: trei pentru bornele de intrare și trei pentru bornele de ieșire ale celor trei înfășurări.

Înfăşurările statorice sunt notate cu U_1-U_2, V_1-V_2, W_1-W_2,. [4]

2.1. Pornirea maşinii asincrone trifazate

Motoarele asincrone trifazate cu rotor în colivie se pornesc în diferite moduri, determinate de puterea maşinii şi de condiţiile de exploatare a instalaţiilor acţionate.

Pornirea prin conectare directă la reţea este cea mai simplă metodă.

Dezavantajul ei îl constituie căderea de tensiune datorită curentului de pornire. Din acest motiv au fost elaborate prescripţii, care limitează puterile motoarelor cu rotor în scurtcircuit ce se pornesc prin această metodă. Spre exemplu, la o reţea obişnuită de distribuţie de 230/400 V se admite pornirea prin conectare directă a motoarelor cu simplă colivie până la o putere de 2,2 kW, iar a celor cu refularea curentului până la 4 kW. Conectarea directă a motoarelor de puteri mai mari poate perturba funcţionarea altor instalaţii conectate la aceeaşi reţea prin intermediul căderii de tensiune care are loc cu această ocazie.

Pentru reducerea curentului de pornire, se pot folosi metode de pornire cu raport constant între cuplul de pornire şi curentul de pornire deci a raportului $k_p = \frac{I_p}{I_n}$ se poate influenţa asupra statorului prin intermediul tensiunii la borne. Când se influenţează curentul de pornire se influenţează si cuplul de pornire. Din categoria metodelor care influenţează în aceeaşi măsură asupra curentului Ip şi cuplul Mp face parte şi metoda pornirii stea-triunghi. La acesta metodă, se conectează mai întâi înfăşurările statorice în conexiune stea, şi după ce maşina a pornit se conectează in conexiune triunghi. [2]

2.2. Caracteristici ale maşinii asincrone

- Viteza de rotaţie este diferită de viteza câmpului rotitor, de unde şi numele de asincrone.
- Pot funcţiona în regim de generator (mai puţin utilizat) sau de motor. Cea mai largă utilizare o au ca motoare electrice (în curent alternativ trifazat), fiind mai utilizate faţă de celelalte tipuri de motoare prin construcţia lor simplă (în consecinţă, mai ieftină).
- Prezintă siguranţă în exploatare.
- Viteza scade uşor în sarcină - din acest motiv caracteristica lor mecanică se mai numeşte şi caracteristică tip derivaţie.
- Motoarele asincrone se utilizează în acţionările în care se cere ca turaţia să nu prezinte variaţii în raport cu sarcina: maşini unelte, ventilatoare, maşini de ridicat, ascensoare etc. [5]
- Comandate de invertoare de frecvenţă se folosesc în majoritatea maşinilor unelte şi a aplicaţiilor industriale.

Pentru ridicarea caracteristicilor electrice $I = f(t)$ la arborele motorului asincron trifazat, s-au folosit următoarele echipamente:

1) sursă de alimentare trifazată 32A;
2) servomotor cu frână;
3) 3. maşină asincronă trifazată 0.37 kW;
4) controler servomotor;
5) comutator pentru pornirea directă a motoarelor;
6) comutator stea-triunghi;
7) multimetru analog/digital, voltmetru, cosfimetru, multimetru trifazat;
8) software ACTIVE SERVO pentru achiziţii de date.

Echipamentele sunt configurate în Fig.1.

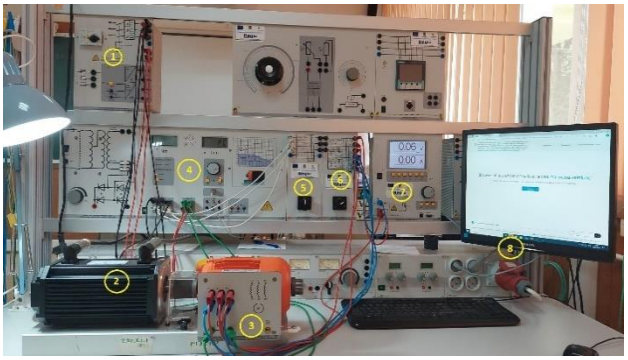

Fig. 1. Stand pentru determinarea caracteristicilor motorului asincron trifazat.

Sursa de tensiune de curent alternativ trifazat (1), asigură o tensiune în curent alternativ înfăşurărilor statorice ale maşinii asincrone (3), înfăşurarea statorică fiind conectată la un comutator de pornire directă (5) şi la un comutator manual stea-triunghi (6). Multimetrul analog/digital (7) măsoară valorile tensiunii pe înfăşurările trifazate şi ale curentului din aceste înfăşurări.

Servomotorul cu frână (2), prin intermediul controlerului (4), măsoară parametri curentului din sistem în timpul funcţionarii. Parametri de ieşire sunt afişaţi pe monitor prin intermediul software-ului ACTIVE SERVO (8).

Servomotorul, utilizat pentru determinarea valorilor experimentale este compus din: servomotor cu frână, controler digital, şi software dedicat: ActiveServo. Sistemul permite determinarea caracteristicilor motoarelor electrice în puncte şi grafice predefinite, afişarea valorilor nominale în diagrame de timp, precum şi sincronizarea generatoarelor. Sistemul este prezentat în [6].

3. MODELAREA CURENTULUI DE PORNIRE PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR

Pentru determinarea caracteristicilor privind diminuarea șocului de curent de la pornirea motoarelor asincrone trifazate, motorul asincron trifazat a fost supus unei porniri în conexiune stea. După determinarea parametrilor, s-a trecut la pornirea aceluiași motor în conexiune triunghi. Pentru a se observa diferența motorul asincron trifazat a fost pornit în conexiune stea-triunghi și s-au achiziționat date. Toate datele au fost colectate într-o desfășurare de timp 20s pentru a se putea observa diferențele și pentru a se putea formula concluziile.

3.1. Pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea

Pentru studiul comportării motorului asincron trifazat la pornirea în conexiune stea, s-a conectat comutatorul manual stea-triunghi pe poziție stea, pornindu-se motorul din comutatorul de pornire directă (5) .

S-a obținut următoarea caracteristică:

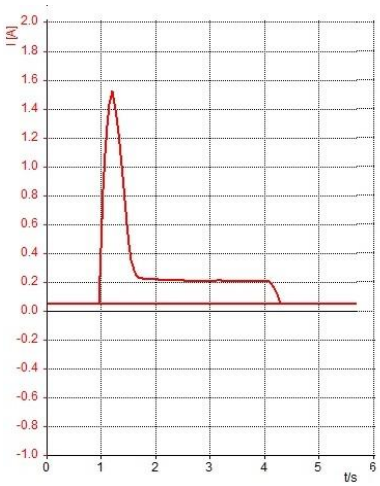

Fig. 2 Caracteristica I=f(t) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea

În urma efectuării măsurătorilor, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 1.

Analizând caracteristica prezentată în figura 2 precum și datele obținute în tabelul 1, se observă valoarea curentului de pornire care are un salt de la valoarea 0 a curentului până la valoarea de 1,52A. Într-un timp de 0,5 s ajunge la valoarea curentului nominal de 0.2A la mers în gol și fără sarcină la arbore. Astfel valoarea raportului k_p devine

$$k_p = \frac{I_p}{I_n} = \frac{1{,}52}{0{,}2} = 7{,}6$$

Deci, în acest caz, valoarea curentului de pornire este de 7.6 ori mai mare decât valoarea curentului nominal, la mers în gol.

Tabelul 1. **Parametri electrici obținuți *I = f(t)* la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea**

t[s]	I [A]	t[s]	I [A]
0,8	0,049091	1,68	0,234395
0,84	0,049031	1,72	0,228395
0,88	0,049423	1,76	0,225884
0,92	0,049376	1,8	0,224725
0,96	0,049328	3,8	0,208859
1	0,432576	3,84	0,209016
1,04	0,83865	3,88	0,208717
1,08	1,09442	3,92	0,208537
1,12	1,28272	3,96	0,208394
1,16	1,43037	4	0,20819
1,2	1,52265	4,04	0,208221
1,24	1,44392	4,08	0,207892
1,28	1,3479	4,12	0,195366
1,32	1,23204	4,16	0,174029
1,36	1,08763	4,2	0,149403
1,4	0,934811	4,24	0,119897
1,44	0,769096	4,28	0,080087
1,48	0,609566	4,32	0,048936
1,52	0,466325	4,36	0,048864
1,56	0,354819	4,4	0,049126
1,6	0,285079	4,44	0,049043
1,64	0,249599	4,48	0,049352
		4,52	0,049706

3.2. Pornirea motorului asincron trifazat în conexiune triunghi

Pentru studiul comportării motorului asincron trifazat la pornirea în conexiune triunghi, s-a conectat comutatorul manual stea-triunghi pe poziție triunghi, pornindu-se motorul din comutatorul de pornire directă (5) .

S-a obținut următoarea caracteristică:

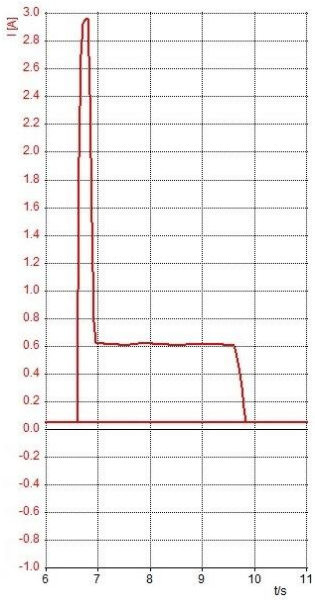

Fig. 3 Caracteristica I=f(t) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune triunghi

În urma efectuării determinărilor s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 2

Tabelul 2. **Parametri electrici obținuți I=f(t) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune triunghi**

t[s]	I [A]	t[s]	I [A]
6,52	0,049529	9	0,616668
6,56	0,049517	9,4	0,611062
6,6	0,049411	9,44	0,609876
6,64	1,96091	9,48	0,60848
6,68	2,69847	9,52	0,607822
6,72	2,92118	9,56	0,60685
6,76	2,94975	9,6	0,607176
6,8	2,96286	9,64	0,555205
6,84	2,41729	9,68	0,48657
6,88	1,49771	9,72	0,407505
6,92	0,776607	9,76	0,310224
6,96	0,626145	9,8	0,156692
7	0,61953	9,84	0,049975
7,6	0,61166	9,88	0,050081
7,8	0,618926	9,92	0,050011
8	0,617915	9,96	0,050116
8,6	0,608806	10	0,050034

Analizând caracteristica prezentată în figura 3 precum și datele obținute în tabelul 2, se observă valoarea curentului de pornire care are un salt de la valoarea 0 a curentului până la valoarea maximă de 2,96A. Într-un timp de 0,2 s ajunge la valoarea curentului nominal de 0.6A la mers în gol și fără sarcină la arbore. Astfel valoarea raportului k_p devine

$$k_p = \frac{I_p}{I_n} = \frac{2{,}96}{0{,}6} = 4{,}93$$

Deci, în acest caz, valoarea curentului de pornire este de 4.9 ori mai mare decât valoarea curentului nominal, la mers în gol, motorul absorbind de la rețea un curent de pornire de 2,96A

3.3. Pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea-triunghi

Pentru studiul comportării motorului asincron trifazat la pornirea stea-triunghi, s-a cuplat comutatorul de pornire directă în poziția 1, pornindu-se motorul din comutatorul stea-triunghi (6) .

Astfel, s-a obținut caracteristic din figura 4.

În urma efectuării măsurătorilor, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 3.

Analizând caracteristica prezentată în figura 4 precum și datele obținute în tabelul 3, se observă valoarea curentului de pornire care are un salt de la valoarea 0 a curentului până la valoarea maximă de 1,52A. Într-un timp de 0,2s ajunge la valoarea curentului nominal de 0.2A la mers în gol și fără sarcină la arbore.

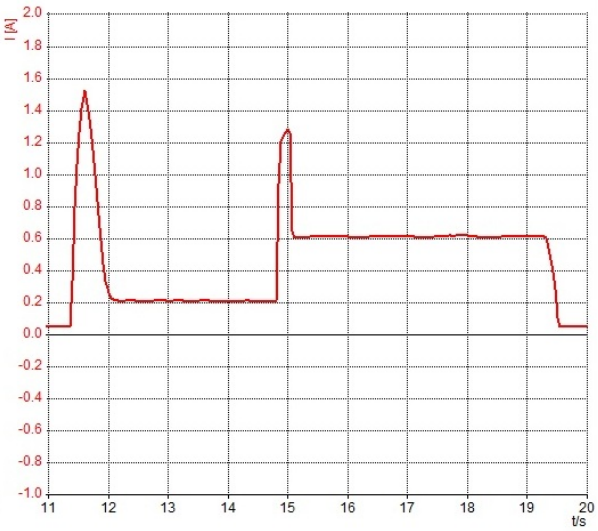

Fig. 4 Caracteristica I=f(t) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea-triunghi

Tabelul 3. **Parametri electrici obținuți I=f(t) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea-triunghi**

t[s]	I [A]	t[s]	I [A]
11	0,049293	12,16	0,211785
11,2	0,049576	12,2	0,211094
11,36	0,048971	12,8	0,21205
11,4	0,338544	13	0,211238
11,44	0,800533	13,2	0,212066
11,48	1,06524	13,4	0,210623
11,52	1,2594	13,6	0,21173
11,56	1,41213	13,8	0,210884
11,6	1,52933	14	0,210437
11,64	1,44415	14,2	0,210681
11,68	1,34825	14,8	0,215738
11,72	1,22478	14,84	0,940134
11,76	1,07695	14,88	1,20231
11,8	0,921329	14,92	1,23634
11,84	0,752772	14,96	1,26193
11,88	0,589618	15	1,28439
11,92	0,445362	15,04	1,26292
11,96	0,334905	15,08	0,65124
12	0,265952	15,12	0,605889
12,04	0,232254	15,16	0,604167
12,08	0,219079	15,2	0,605156
12,12	0,213948		

După aproximativ 3 s motorul este trecut în conexiune triunghi, curentul absorbit de motor ajungând la valoarea de 1,28 A. Într-un timp scurt se stabilizează la valoarea nominală de mers în gol de 0,6A. Astfel valoarea raportului k_p la trecere în conexiune triunghi devine:

$$k_p = \frac{I_p}{I_n} = \frac{1{,}28}{0{,}6} = 2{,}13$$

Deci, în acest caz, valoarea curentului de trecere în conexiune triunghi este de 2.13 ori mai mare decât valoarea curentului nominal, la mers în gol, motorul absorbind de la rețea un curent de pornire de 1,52 A.

CONCLUZII

Studiul prezintă cercetări privind mașina asincronă trifazată. S-a insistat pe caracteristicile electrice ***I* = *f*(*t*)** la pornire în conexiune stea, triunghi, făcându-se o comparație cu valoarea curentului absorbit de la rețea atunci când motorul asincron trifazat este pornit în conexiune stea-triunghi. S-au exprimat concluzii după fiecare tip de pornire, urmărindu-se modificarea raportului k_p, dintre valoarea curentului de pornire și valoarea curentului nominal la mers în gol.

Dacă considerăm doar motorul analizat, se observă că, față de un curent de pornire în conexiune triunghi de 2,96 A, cu un raport k_p= 4,93, curentul de pornire în conexiune stea-triunghi este mult diminuat. Dacă considerăm valoarea maximă a curentului de pornire în conexiune stea de 1,52 A și o raportăm la valoarea curentului nominal de mers în gol la conexiunea în triunghi de 0,6 A, obținem un raport

$$k_p = \frac{I_p}{I_n} = \frac{1{,}52}{0{,}6} = 2{,}53$$

În concluzie, daca pornim motorul asincron studiat direct în conexiune triunghi, valoarea curentului de pornire este de 4,93 ori mai mare decât valoarea curentului nominal, față de o pornire stea-triunghi unde valoarea curentului de pornire este de 2,53 ori mai mare decât valoarea curentului nominal. Valoarea maximă a curentului de pornire scade de la 2,96A la 1,52 A.

Astfel, curentul de pornire se diminuează cu 1,44 A în cazul folosirii pornirii stea triunghi și astfel se previn dezechilibrele din sistemul de alimentare cu energie electrică. Graficele comparative se regăsesc în Figura 5.

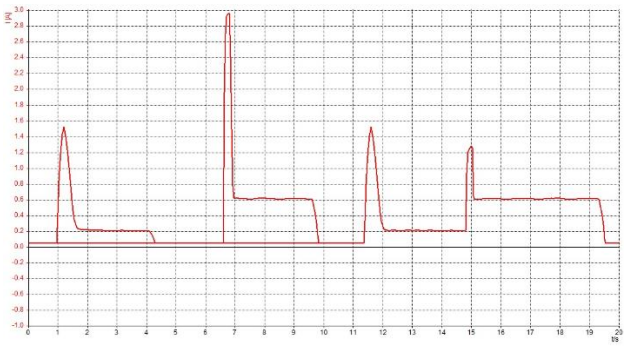

Fig. 5 Caracteristica *I* = *f*(*t*) la pornirea motorului asincron trifazat în conexiune stea, triunghi și stea-triunghi.

BIBLIOGRAFIE

[1] Cernat M., Bidian D., Marinescu, C., *Mașini și aparate electrice – Vol. II*. Brașov, Editura Universității Transilvania din Brașov, 1998, p. 273, ISBN:9739879683.

[2] Nicolaide A., *Mașini electrice*, Editura Scrisul Românesc Craiova 1975.

[3] Dordea T, *Mașini electrice - Teori*e Editura ASAB, București, 2002, p. 634, ISBN 973-86010-0-2.

[4] Rusu C, *Instalații electrice - Auxiliar curricular*, Bistrița 2019, ISBN 978-973-0-30205-9

[5]https://www.mobilindustrial.ro/current_version/online_docs/COMPENDIU/motoare_asincrone_.htm

[6] Cristea, C, Stroe I, *The study of the synchronous motor*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov Vol. 10 (59) No. 2- 2017, Series I: Engineering Sciences, pp. 31-38, ISSN (Online): 2971-9364 https://webbut.unitbv.ro/index.php/Series_I/article/view/2811

Despre autori

Dr. Ing. **Cosmin CRISTEA**
Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț, Brașov, România

Dr.ing. Cosmin CRISTEA este absolvent al Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de electrotehnică – 2008, doctor inginer din anul 2023. De 25 de ani este cadru didactic la Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț din Brașov. Domeniile de competență sunt: Instalații electrice, Circuite electrice, Mașini electrice, Aparate electrice, Acționări electrice și mecatronice.

Dr. ing. Beatrice **GHIȚĂ**
Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț, Brașov, România

Dr.ing. Beatrice GHIȚĂ este absolventă a Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor – 2009, doctor inginer din anul 2015. În prezent este cadru didactic la Colegiul Tehnic Energetic Remus Răduleț din Brașov. În decursul anilor a publicat lucrări științifice indexate ISI sau în baze de date internaționale, un capitol de carte la editura INTECH OPEN Croația, lucrări publicate în reviste școlare cu ISSN. Domenii de competență sunt: materiale electrotehnice, compatibilitate electromagnetică, istoria tehnologiei.