

PËRCAKTIMI I SHPEJTËSISË SË MOTORIT ASINKRON ME ANË TË ANALIZËS SPEKTRALE TË TENSIONIT DHE RRYMAVE TË FAZAVE TË STATORIT ROTOR SPEED ESTIMATION OF INDUCTION MACHINE BASED ON SPECTRAL ANALYSIS OF STATOR PHASE CURRENT AND VOLTAGE WAVEFORMS

ASTRIT BARDHI*, MYRTEZA BRANESHI, ALFRED PJETRI

Universiteti Politeknik i Tiranës, Fakulteti i Inxhinierisë Elektrike, Sheshi Nënë Tereza, Nr. 4, Tiranë

Email: asibardhi@gmail.com

PËRMBLEDHJE

Në këtë artikull do të paraqesim një mënyrë për matjen pa sensorë të shpejtësisë së motorit asinkron me anë të analizës spektrale të rrymës dhe tensionit të fazave të statorit. Sistemet e kontrollit dhe matjes pa sensorë (angl. *sensorless*) të shpejtësisë së motorit asinkron vitet e fundit janë vendosur në fokus të specialistëve që merren me studime në këtë fushë. Harmonikat që shkaktohen nga kanalet e rotorit të makinës varen si nga numri i kanaleve në rotor, ashtu dhe nga shpejtësia e rotorit. Veçimi i këtyre harmonikave bën të mundur përcaktimin e shpejtësisë së rrotullimit të motorit asinkron. Mënyra e përdorur shpesh vendosjen e sensorëve të shpejtësisë, bën të mundur monitorimin dhe kontrollin e shpejtësisë në largësi, ka kufij të gjerë dhe ndjeshmëri të lartë. Rezultatet e marra nga eksperimenti përputhen mjaft mirë nga ato të marra nga teknikat tradicionale të përdorura.

Fjalët çelës: Motori asinkron, harmonikat hapësinore, shpejtësia e rrotullimit, analiza spektrale.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present a method for sensorless measurement of induction machine speed using the spectral analysis of current and voltage stator phase. In last years, control systems and speed sensor less estimation are in focus of many researchers. Rotor slot harmonics depending from rotor slots and rotor speed of induction machine. In this way, it is possible to evaluate the rotor speed of induction machines from rotor slots harmonics. Advantage of this method is no sensor installations on the shaft, online monitor speed, use for large speed ranges and high sensibility. The results of this method from experiment are the same with other traditional technique.

Key Word: Induction machine, space harmonics, rotor speed, spectral analysis.

1. Hyrje

Përcaktimi i shpejtësisë së motorit asinkron përbën një detyrë shumë të rëndësishme në sistemet e automatizuara të industrisë. Për matjen e shpejtësisë përdoren disa metoda si tahogeneratorët e rrymës së vazhduar dhe alternative, enkoderat, resolverat, metodat adaptive etj. Matja e shpejtësisë së motorit asinkron me metodat e mësipërme shfaq disa të meta. Për shembull, saktësia e tyre zvogëlohet me kalimin e kohës, kërkon pajisje shtesë (montimi i dhënësve), kërkon mirëmbajtje etj.

Në këtë punim do të paraqesim një mënyrë për përcaktimin e shpejtësisë së motorit asinkron e cila bazohet në analizën spektrale të madhësive të statorit [1]. Fluksi magnetik në hapësirën ajrore të motorit asinkron, për shkak të kanaleve në stator dhe rotor, do të përmbajë harmonika shtesë [1]-[4]. Rendi i këtyre harmonikave varet si nga numri i kanaleve në stator dhe rotor ashtu dhe nga shpejtësia e rrotullimit të tij. Harmonika e fluksit të krijuar për shkak të kanaleve të rotorit do të indukojë në përshtjellën e statorit një forcë elektromotore (f.e.m) me të njëjtën frekuencë [1]. Matja e kësaj frekuence jep mundësinë e matjes së shpejtësisë së motorit asinkron. Meqenëse frekuenca matet me saktësi të lartë, mund të themi që mënyra e propozuar realizon matjen e shpejtësisë së motorit me saktësi të lartë.

Në këtë punim shfrytëzohet pikërisht kjo ide. Për rrjedhojë, matja e shpejtësisë qëndron në analizën spektrale të madhësive elektrike të statorit (tension, rrymë) dhe në përcaktimin e harmonikave për shkak të kanaleve në rotor. Më tej, me anë të një procedure të caktuar, përcaktohet shpejtësia e motorit. Për të marrë sinjalin (në këtë artikull tensionin) kemi përdorur dy teknika. Njëra teknikë përdor tre transformatorë

njefazorë, nga mënyra e lidhjes e të cilëve mund të veçojmë vetëm harmonikën e kërkuar. Teknika tjetër mbështetet në analizën spektrale të tensionit të një faze të statorit. Duhet shënuar se në këtë metodë në spektrin e tensionit do të dalin të gjitha harmonikat përbërëse të saj. Shpejtësia e motorit asinkron e marrë nga eksperimenti përputhet plotësisht me metodat e pranuar gjerësisht.

2. BAZAT E LLOGARITJES SË FUSHËS MAGNETIKE TË MAKINËS ASINKRONE

2.1. Forca magnetomotore e makinës asinkrone

Forca magnetomotore (f.m.m) e hapësirës ajrore krijohet nga rrymat e statorit dhe rotorit. Pështjellat e statorit dhe të rotorit janë të shpërndara përrreth hapësirës ajrore, për rrjedhojë, në f.m.m. rezultante, përveç harmonikës bazë, do të ekzistojnë dhe harmonikat hapësinore [2].

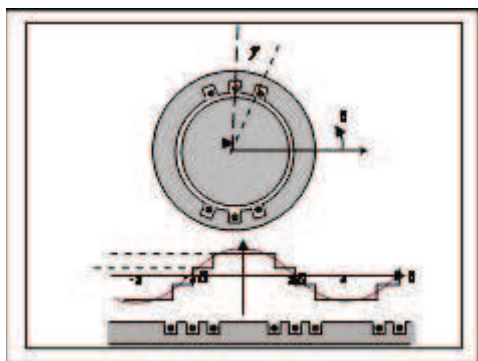


Fig. 1 Paraqitja skematike e f.m.m të një faze të motorit asinkron.

Duke shqyrtuar një motor asinkron me p çiftpole dhe q bobina për pol dhe fazë, si dhe duke shënuar periferinë ajrore me ϑ (shih figurën 1), f.m.m e pështjellës së statorit të motorit asinkron jepet si më poshtë [1]

$$F_S(\theta, t) = \sum_{\nu=1}^{\infty} \hat{F}_{S,\nu} \cos(\nu p \theta - \omega_1 t - \varphi_1)$$

ku

$$\nu = 6k \pm 1, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$\hat{F}_{S,\nu}$ amplituda e harmonikës

$$\hat{F}_{S,\nu} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{qW}{\nu} k_{p\nu} k_{y\nu} I_1, \quad (3)$$

W është numri i përcjellësve në një bobinë, ϑ_1 shpejtësia këndore e harmonikës kryesore, ϑ_1 faza fillestare e rrymës së statorit, I_1 rryma e fazës së

statorit, $k_{p\nu}$ koeficienti i përhapjes së pështjellës për harmonikën e ν , $k_{y\nu}$ koeficienti i shkurtimit të hapit për harmonikën ν . Shpejtësia këndore në radian gjeometrik e harmonikës ν do të jetë

$$\omega_{\nu} = \frac{\omega_1}{\nu p} = \frac{\omega_1}{(6k \pm 1)p} \quad (4)$$

Harmonikat me shenjë pozitive të shpejtësisë këndore (p.sh. 7, 13, ...) krijojnë valë që rrotullohen në drejtim të njëjtë me valën e harmonikës kryesore, ndërsa harmonikat me shenjë negative (p.sh. 5, 11, ...) krijojnë valë që rrotullohen në drejtim të kundërt me valën e harmonikës kryesore.

P_n [W]	n_n [rrot/min]	U_n [V]	I_n [A]	$\cos \vartheta_n$	f_n [Hz]	Z_r
200	2700	24	5.5	0.85	50	18

Tab. 1 Të dhënat e motorit asinkron

Në pështjellën e rotorit për shkak të fushës magnetike të krijuar nga pështjella e statorit, do të kalojë një rrymë e cila përveç harmonikës bazë do të përmbajë dhe harmonika të tjera. Në këtë mënyrë, f.m.m e rotorit përbëhet nga dy komponente. Komponentja e parë përfaqëson f.m.m të krijuar nga harmonika bazë e rrymës së rotorit e cila ndryshon me frekuencë f_2 e cila llogaritet me shprehjen e mëposhtme [1]

$$F_{r,1}(\theta, t) = \sum_{\mu=1}^{\infty} \hat{F}_{r,1} \cos(\mu_1 p \theta - \omega_{\mu,1} t - \varphi_{\mu}) \quad (5)$$

ku

$$\mu_1 = k \frac{Z_r}{p} + 1, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (6)$$

$\hat{F}_{r,1}$ është amplituda e harmonikës ϑ_1

$$\hat{F}_{r,1} = (-1)^{\mu} \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{qW}{\mu} \xi_1 \xi_{\mu} I_1 \cos \varphi_1 \quad (7)$$

Z_r numri i kanaleve të rotorit, ϑ_1 harmonika hapësinore e rotorit, ϑ_1 faza fillestare për harmonikat përkatëse, ϑ_1 koeficienti i përhapjes së pështjellës së rotorit, ϑ_1 koeficienti i shkurtimit të hapit të pështjellës së rotorit. Shpejtësia këndore $\vartheta_{\mu,1}$ e fushës magnetike në hapësirën ajrore, e krijuar nga f.m.m e rotorit për shkak të harmonikës kryesore të rrymës së rotorit, në sistemin e referimit të palëvizshëm të lidhur me statorin është

$$\omega_{\mu,1} = \left(\frac{\omega_r}{p} + \frac{s\omega_1}{\mu_1 p} \right) \mu_1 p = \omega_1 \left[1 + \frac{kZ_r(1-s)}{p} \right] \quad (8)$$

ku s është shkarrja e motorit dhe ϑ , shpejtësia këndore e rotorit.

Komponentja e dytë e f.m.m e rotorit krijohet për shkak të harmonikave të rrymës së rotorit e cila është e barabartë me shprehjen

$$F_{r,2}(\theta, t) = \sum_{\mu=1}^{\infty} \hat{F}_{r,2,\mu} \cos(\mu_2 p \theta - \omega_{\mu,2} t - \varphi_{\mu}) \quad (9)$$

ku

$$\mu_2 = k \frac{Z_r}{p} + \nu, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (10)$$

$$\hat{F}_{r,2,\mu} = (-1)^\mu \sqrt{2} I_{r\nu} \frac{\nu}{\mu} \xi_{\nu} \quad (11)$$

$I_{r\nu}$ është amplituda e harmonikës së ν të rrymës së rotorit, ξ_{ν} koeficienti i pëstjtjellës për harmonikën ν .

F.m.m rezultante e hapësirës ajrore të motorit asinkron është e barabartë me shumën e f.m.m që krijohen nga pëstjtjellat e statorit dhe rotorit. Në bazë të shprehjeve (1), (5), dhe (9), f.m.m rezultante e makinës asinkrone rezultojn,

$$\begin{aligned} B(\theta, t) &= F_s(\theta, t) + F_{r,1}(\theta, t) + F_{r,2}(\theta, t) \\ &= \hat{F}_1 \cos(p\theta - \omega_1 t - \varphi_1) + \hat{F}_{6k+1} \cos[(6k+1)p\theta - \omega_1 t - \varphi_1]_{k=1,2,3,\dots} \\ &\quad + \hat{F}_3 \cos[(Z_s - p)\theta - \omega_1 t - \varphi_1] + \hat{F}_4 \cos[(Z_s + p)\theta - \omega_1 t - \varphi_1] \\ &\quad + \hat{F}_5 \cos[(Z_r - p)(\theta - \omega_r t) + s\omega_1 t] + \hat{F}_6 \cos[(Z_r + p)(\theta - \omega_r t) - s\omega_1 t] \end{aligned} \quad (12)$$

Nga shprehja (12) shihet që f.m.m rezultante e hapësirës ajrore përmban një mori harmonikash të cilat janë pasojë si e pëstjtjellave, ashtu dhe kanaleve të statorit dhe të rotorit të makinës asinkrone.

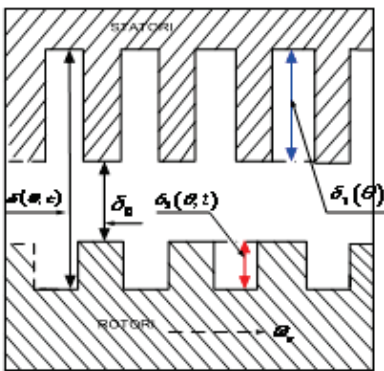


Fig. 2 Llogaritja e hapësirës ajrore të makinës asinkrone.

2.2. Përcaktimi i përcjellshmërisë magnetike specifike të hapësirës ajrore të motorit asinkron

Përcjellshmëria magnetike specifike e makinës asinkrone llogaritet duke shqyrtuar hapësirën ajrore të makinës, e cila për shkak të kanaleve të statorit dhe të

rotorit është e ndryshueshme. Në figurën 2 është paraqitur në mënyrë skematike një sektor i hapësirës ajrore të makinës asinkrone. Për thjeshtësi studimi, kanalet e statorit dhe të rotorit janë pranuar drejtëkëndore. Në këtë rast, për hapësirën ajrore mund të shkruajmë

$$\delta(\theta, t) = \delta_s(\theta) + \delta_r(\theta, t) + \delta_0 \quad (13)$$

ku δ_0 përfaqëson hapësirën ajrore konstante dhe është hapësira e makinës ku rotorin dhe statorin janë me sipërfaqe të lëmuar, $\delta_s(\theta)$ varet nga këndi θ dhe paraqet thellësinë e kanalit të statorit, $\delta_r(\theta, t)$ varet si nga këndi θ ashtu dhe nga koha t dhe paraqet thellësinë e kanalit të rotorit. Hapësira ajrore e dhëmbëve të statorit është funksion periodik me periudë $T_s = 2\pi/Z_s$. Në mënyrë të ngjashme, edhe hapësira ajrore e dhëmbëve të rotorit është funksion periodik me periudë $T_r = 2\pi/Z_r$. Sistemi koordinativ i palëvizshëm me rotorin, ϑ , lidhet me sistemin koordinativ të palëvizshëm të statorit, θ , me shprehjen $\vartheta = \theta - \vartheta_r t$, ku $\vartheta_r = d\vartheta_r/dt$ është shpejtësia këndore e rotorit. Përcjellshmëria magnetike specifike e hapësirës ajrore rezultojn

$$\begin{aligned} \lambda(\theta, t) &= \frac{\mu_0}{\delta(\theta, t)} = \frac{\mu_0}{\delta_s(\theta) + \delta_r(\theta, t) + \delta_0} \\ &= \frac{\mu_0}{\delta_0} \frac{1}{k_{c1} k_{c2}} + \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_{1,k} \cos(kZ_s \theta) + \sum_{m=1}^{\infty} \lambda_{2,m} \cos[mZ_r(\theta - \omega_m t)] \\ &\quad + \sum_{k=l-m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_{1,2k \pm m} \cos[(kZ_s - mZ_r)\theta - mZ_r \omega_m t] \\ &= \lambda_0 + \lambda_s + \lambda_r + \lambda_{s-r} \end{aligned} \quad (14)$$

ku k_{c1} , k_{c2} janë koeficientët e Carter-it [2] të cilët marrin parasysh përmasat gjeometrike të dhëmbëve të statorit dhe të rotorit si dhe gjendjen e bërthamës magnetike, kurse λ_m është shpejtësia këndore në rad/sek [$\lambda_m = \vartheta_r/p = (1 - s)\omega_1/p$]. Siç shihet edhe nga shprehja (14), përcjellshmëria magnetike specifike përbëhet nga katër komponente:

1. Komponentja e parë λ_0 është konstante dhe përfaqëson përcjellshmërinë magnetike specifike të makinës asinkrone pa kanale.
2. Komponentja e dytë λ_s përfaqëson ndikimin e kanaleve të statorit.
3. Komponentja e tretë λ_r përfaqëson ndikimin e kanaleve të rotorit dhe shpejtësisë së rrotullimit të tij.
4. Komponentja e katërt λ_{s-r} përfaqëson ndikimin e statorit dhe rotorit së bashku.

2.3. Induksioni i hapësirës ajrore

Induksioni magnetik i hapësirës ajrore përcaktohet si produkt i përcjellshmërisë magnetike specifike (14) dhe f.m.m rezultante (12)

$B(\theta, t) = \lambda(\theta, t)F(\theta, t) = (\lambda_0 + \lambda_s + \lambda_r + \lambda_{r-s})(F_s + F_{r,1} + F_{r,2})$ Nga shprehja (18) shihet që f.e.m e induktuar në pëstjtjellën e statorit, përveç harmonikës bazë dhe shumëfishe të saj, përmban dhe harmonika për shkak të kanaleve. Nëse bëjmë shumën e tensioneve të fazave të statorit marrim

Në qoftë se do të zhvillojmë shprehjen (15) dhe do të kufizohemi vetëm në harmonikat e para, atëherë induksioni i hapësirës ajrore do të rezultojë

$$B(\theta, t) = \hat{B}_1 \cos(p\theta - \omega_1 t) + \hat{B}_5 \cos(5p\theta + \omega_1 t) + \hat{B}_7 \cos(7p\theta - \omega_1 t) + \hat{B}_{1-s}^{(+)} \cos[(Z_s - p)\theta + \omega_1 t] + \hat{B}_{1-s}^{(-)} \cos[(Z_s + p)\theta - \omega_1 t] + \hat{B}_{1-r}^{(+)} \cos[(Z_r - p)(\theta - \omega_m t) + s\omega_1 t] + \hat{B}_{1-r}^{(-)} \cos[(Z_r + p)(\theta - \omega_m t) - s\omega_1 t]$$

ku $\hat{B}_1, \hat{B}_5, \hat{B}_7, \hat{B}_{1-s}^{(+)}, \hat{B}_{1-s}^{(-)}, \hat{B}_{1-r}^{(+)}, \hat{B}_{1-r}^{(-)}$ janë amplitudat e harmonikave përkatëse. Duhet shënuar se me indeksat (+) dhe (-) janë treguar valët pozitive dhe negative që krijohen për shkak të kanaleve në stator dhe rotor. Shprehja e fluksit në hapësirën ajrore do të jetë e ngjashme me atë të induksionit magnetik dhe ka trajtën

$$\Phi(\theta, t) = \hat{\Phi}_1 \cos(p\theta - \omega_1 t) + \hat{\Phi}_5 \cos(5p\theta + \omega_1 t) + \hat{\Phi}_7 \cos(7p\theta - \omega_1 t) + \hat{\Phi}_{1-s}^{(+)} \cos[(Z_s - p)\theta + \omega_1 t] + \hat{\Phi}_{1-s}^{(-)} \cos[(Z_s + p)\theta - \omega_1 t] + \hat{\Phi}_{1-r}^{(+)} \cos[(Z_r - p)(\theta - \omega_m t) + s\omega_1 t] + \hat{\Phi}_{1-r}^{(-)} \cos[(Z_r + p)(\theta - \omega_m t) - s\omega_1 t]$$

ku $\hat{\Phi}_1 = B_{2s} S_{2p} = B_{2s} S_1 / 2$ dhe S_1 përfaqëson sipërfaqen e periferisë që i përket një poli të harmonikës bazë.

2.4. F.e.m që induktohet në pëstjtjellën e statorit

Nga shprehja (17), shihet që fluksi magnetik i hapësirës ajrore përmban disa harmonika. Secila harmonikë e fluksit do të induktojë në pëstjtjellën e rotorit dhe të statorit f.e.m përkatëse, e cila për një fazë rezulton [5]

$$u_{sA} = \frac{\partial \hat{\Phi}}{\partial t} = \hat{U}_1 \cos(p\theta - \omega_1 t) + \hat{U}_5 \cos(5p\theta + \omega_1 t) + \hat{U}_7 \cos(7p\theta - \omega_1 t) + \hat{U}_{1-s}^{(+)} \cos[(Z_s - p)\theta + \omega_1 t] + \hat{U}_{1-s}^{(-)} \cos[(Z_s + p)\theta - \omega_1 t] + \hat{U}_{1-r}^{(+)} \cos[(Z_r - p)(\theta - \omega_m t) + s\omega_1 t] + \hat{U}_{1-r}^{(-)} \cos[(Z_r + p)(\theta - \omega_m t) - s\omega_1 t]$$

ku \hat{U}_1 amplituda e komponentes kryesore të f.e.m, $\hat{U}_{1-s}^{(+)}, \hat{U}_{1-s}^{(-)}$ dhe $\hat{U}_{1-r}^{(+)}, \hat{U}_{1-r}^{(-)}$ janë amplitudat e komponenteve pozitive dhe negative që shkaktohen nga kanalet e statorit dhe të rotorit. Siç shihet nga shprehja e mësipërme, komponentja e parë e tensionit është me frekuencën e burimit të ushqimit, kurse komponentja e dytë dhe e tretë janë harmonika e pestë dhe e shtatë që shkaktohen për shkak të pëstjtjellës së shpërndarë të statorit. Komponentet e tjera janë për shkak të kanaleve në rotor dhe stator. Tensionet e fazave të tjera merren nga shprehja (18) duke e sfazuar me 120° dhe 240° (gradë elektrike).

3. Metoda për matjen e shpejtësisë

3.1. Metoda me tre transformatorë njëfazorë

(15) Në qoftë se do të zhvillojmë shprehjen (15) dhe do të kufizohemi vetëm në harmonikat e para, atëherë induksioni i hapësirës ajrore do të rezultojë

$$u_{sh} = u_{sA} + u_{sB} + u_{sC} = \frac{1}{2} k_{v1} (Z_r \omega_r + \omega_1) \left[1 + 2 \cos(Z_r + 1) \frac{\pi}{3} \right] \cos[Z_r \omega_r + \omega_1 t - (Z_r + 1) f_{h1}] + \frac{1}{2} k_{v2} (Z_r \omega_r - \omega_1) \left[1 + 2 \cos(Z_r - 1) \frac{\pi}{3} \right] \cos[(Z_r \omega_r - \omega_1) t - (Z_r - 1) f_{h2}]$$

(16)

ku $k_{v1}, k_{v2}, f_{h1}, f_{h2}$ janë koeficientë që varen nga struktura elektromagnetike dhe mekanike [1] e motorit asinkron. (19) është një madhësi sinusoidale. Z_r është një numër natyral i cili, nëse pjesëtohet me 3 ka si mbetje 0 ose ± 1 . Vlera e tensionit shumëzuar u_{sh} për çdo mbetje të Z_r rezulton

$$u_{sh} = \begin{cases} 0 & Z_r = 3N + 0 \\ \frac{3}{2} k_{v1} (Z_r \omega_r + \omega_1) \cos[(Z_r \omega_r + \omega_1) t - (Z_r + 1) f_{h1}] & Z_r = 3N - 1 \\ \frac{3}{2} k_{v2} (Z_r \omega_r - \omega_1) \cos[(Z_r \omega_r - \omega_1) t - (Z_r - 1) f_{h2}] & Z_r = 3N + 1 \end{cases}$$

(17)

Nga formula e mësipërme shihet që në qoftë se numri i kanaleve të rotorit Z_r është i ndryshëm nga shumëfishi i treshit, atëherë tek tensioni u_{sh} do të shfaqet vetëm një harmonikë, ajo e shkaktuar nga kanalet në rotor.

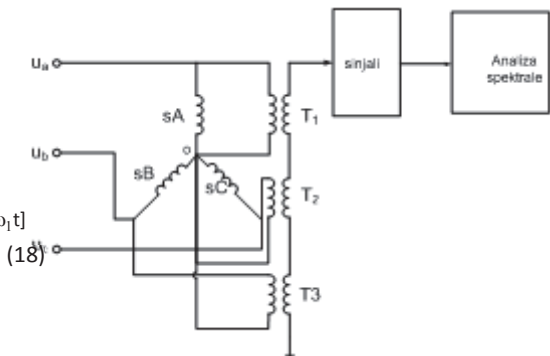


Fig. 3. Skema e lidhjes së transformatorëve në përcaktimin e u_{sh} .

Kjo mund të realizohet me anë të tre transformatorëve njëfazorë të lidhur në pëstjtjellën e statorit si në figurën 3. Frekuenca f_{sh} e harmonikës së tensionit të statorit u_{sh} lidhet me Z_r dhe ω_1 me shprehjen [1].

$$f_{sh} = \frac{Z_r \omega_r \pm \omega_1}{2\pi} = \frac{[Z_r (1 - s) \pm 1] \omega_1}{2\pi} = \left[\frac{Z_r (1 - s)}{p} \pm 1 \right] f_1$$

(21)

Nga ekuacioni i mësipërm arrijmë në përfundimin që në qoftë se numri i kanaleve të rotorit nuk është një shumëfish i treshit, atëherë frekuenca f_{sh} mund të

matet duke bërë analizën spektrale të tensionit u_{sh} . Shpejtësia e rrotullimit të rotorit përcaktohet me shprehjen [1]

$$n = 60 \frac{1}{Z_r} \left(\frac{f_{sh}}{f_1} \pm 1 \right) \quad [\text{rrot/min}] \quad (22)$$

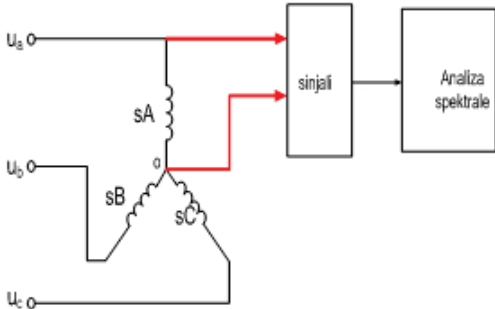


Fig. 4 Analiza spektrale e tensionit të një faze të motorit.

3.2. Metoda ku si sinjal përdoret tensioni i një faze të pëstjellës së statorit

Metoda e mësipërme nuk zbatohet në rastin kur numri i kanleve të rotorit është shumëfish i treshit. Për të përcaktuar shpejtësinë mund të shfrytëzohet analizën spektrale të f.e.m të një faze të statorit (figura 4). Në këtë rast, përveç harmonikës së kërkuar do të shfaqen dhe harmonikat e tjera. Duhet theksuar se harmonika për shkak të kanleve në rotor varet nga shpejtësia, ndërsa harmonikat e tjera nuk varen prej saj.

4. REZULTATET E EKSPERIMENTIT

Për zhvillimin e eksperimentit kemi përdorur motorin asinkron trefazor me të dhëna të shënuar në tabelën 1. Frekuenca e rrjetit ushqyes trefazor simetrik është $f_1 = 50 \text{ Hz}$. Realizuar ngarkimin e motorit (me anë të një frene elektromagnetike) dhe kryem analizën spektrale të tensionit. Diapazoni i harmonikave për shkak të kanleve në rotor për shpejtësitë nga 20-100% të shpejtësisë sinkrone është si më poshtë

$$f_{sh} = Z_r f_r \pm f_1 \quad (23)$$

$$\begin{cases} f_{sh|_{\min}} = 18 \frac{600}{60} \mp 50 = (130, 230) \text{ Hz} \\ f_{sh|_{\max}} = 18 \frac{3000}{60} \mp 50 = (950, 1050) \text{ Hz} \end{cases}$$

f_{sh} [Hz]	f_1 [Hz]	f_r [Hz]	n_{llog} [rrot/min]	n_{mat} [rrot/min]
941	50	49.5	2970.5	2970
900	50	47.2	2833.3	2830
893	50	46.8	2810	2810
869.5	50	45.5	2731.5	2731
836.7	50	43.7	2622.4	2620
742	50	38.4	2306.7	2300
671.6	50	34.5	2071.9	2070
668.8	50	34.4	2062.5	2060

Tab. 2 Rezultatet e eksperimentit

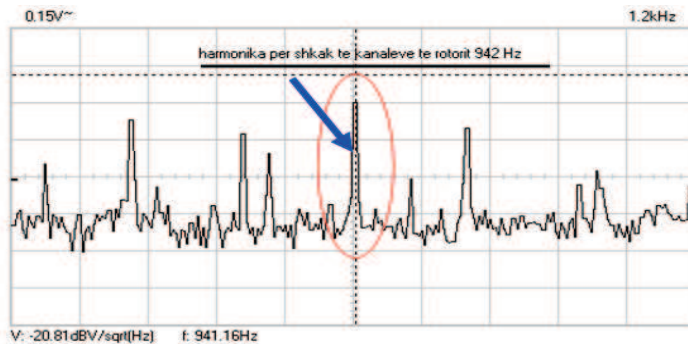


Fig. 5 Analiza spektrale e tensionit të statorit.

Meqenëse numri i kanleve të rotorit është 18 (shumëfish i treshit) zbatuam metodën e dytë. Të dhënat e matjeve dhe llogaritjet janë paraqitur në tabelën 2, ku për llogaritjen e shpejtësisë së rrotullimit u shfrytëzua shprehja (22). Në figurën 5 është paraqitur analiza spektrale e tensionit të statorit për një shpejtësi të rotorit (2970 rrot/min).

5. PËRFUNDIMET

Metoda e propozuar ka një saktësi mjaft të mirë. Kjo rezulton dhe nga të dhënat e eksperimentit. Matja e shpejtësisë me këtë metodë ka përparësi në krahasim me mënyrat tradicionale të përdorura. Ajo nuk ka nevojë për sensorë, nuk ndikohet nga mjedis

ku punon, përdoret për motorë me fuqi të ndryshme dhe nuk kërkon mirëmbajtje. Me zvogëlimin e shpejtësisë amplituda e harmonikës për shkak të kanaleve në rotor zvogëlohet dhe mund të bëhet e rendit të zhurmave. Ky fakt përbën një mangësi të metodës.

LITERATURA

- 1 Vas Peter (1993). *Parameter estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines*, Oxford University Press. 146-148, 148-153.
- 2 Boldea Ion, Nasar A. Syed (2002). *The Induction Machine Handbook*. Crc Press.
- 3 Penman, James & Tavner J. Peter. (1987). *Condition Monitoring of Electrical Machine*. John Wiley & Sons Inc.
- 4 Sadarangani C. (2000). *Electrical Machines-Design and Analysis of Induction and Permanent Magnet Motors*, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- 5 Vas, Peter (1998). *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Oxford University Press, New York.