

THE CAPACITOR BRAKING MODE OF ASYNCHRONOUS DRIVE WITH FRONTAL WINDING

ASINHROŅĀ ELEKTROPIEDZIŅĀ AR PIERES DAĻAS TINUMU KONDENSATORU BREMZĒŠANAS REŽĪMĀ

V.Bražiš, J.Greivulis

Atslēgas vārdi: asinhronais dzinējs, determinants, kondensatoru bremsēšana, pieres daļa

Ievads

Dažādu tehnoloģisko procesu pilnveidošanai nepieciešams uzlabot visvairāk izplatīto īsslēgtā rotora asinhrono dzinēju pārejas procesu kvalitāti un energoefektivitāti. Mūsdienu asinhronās regulējamās piedziņas sistēmās šim nolūkam pielieto frekvenčregulēšanas un parametriskās vadības metodes. Lai gan frekvenču pārveidotāji nodrošina vienmērīgu dzinēja palaišanu un bremsēšanu ar lielāku enerģijas ietaupījumu par parametriskās vadības sistēmām, tomēr spēka pārveidotāja salīdzinoši nelielo izmaksu dēļ pēdējās ir ekonomiski izdevīgākas elektriskās piedziņas sistēmās ar ventilatora tipa slodzi. Iekārtās, kur nav nepieciešama precīza momenta regulēšana, ir lietderīgi izmantot parametriskos regulatorus („mīksto” palaidējus) [1], tomēr šādā gadījumā nav iespējams veikt reģeneratīvo bremsēšanu, jo ar šo regulatoru palīdzību netiek regulēta asinhronā dzinēja barošanas sprieguma frekvence. Citi bremsēšanas veidi, kā dinamiskā un pretstrāvas, prasa enerģijas pievadi dzinējam no tīkla bremsēšanas laikā, palielinot piedziņas enerģijas patēriņu [2]. Šo trūkumu novēršanai ir lietderīgi asinhronā dzinēja parametriskās vadības sistēmā paredzēt kondensatoru bremsēšanu.

Pamatsakarības

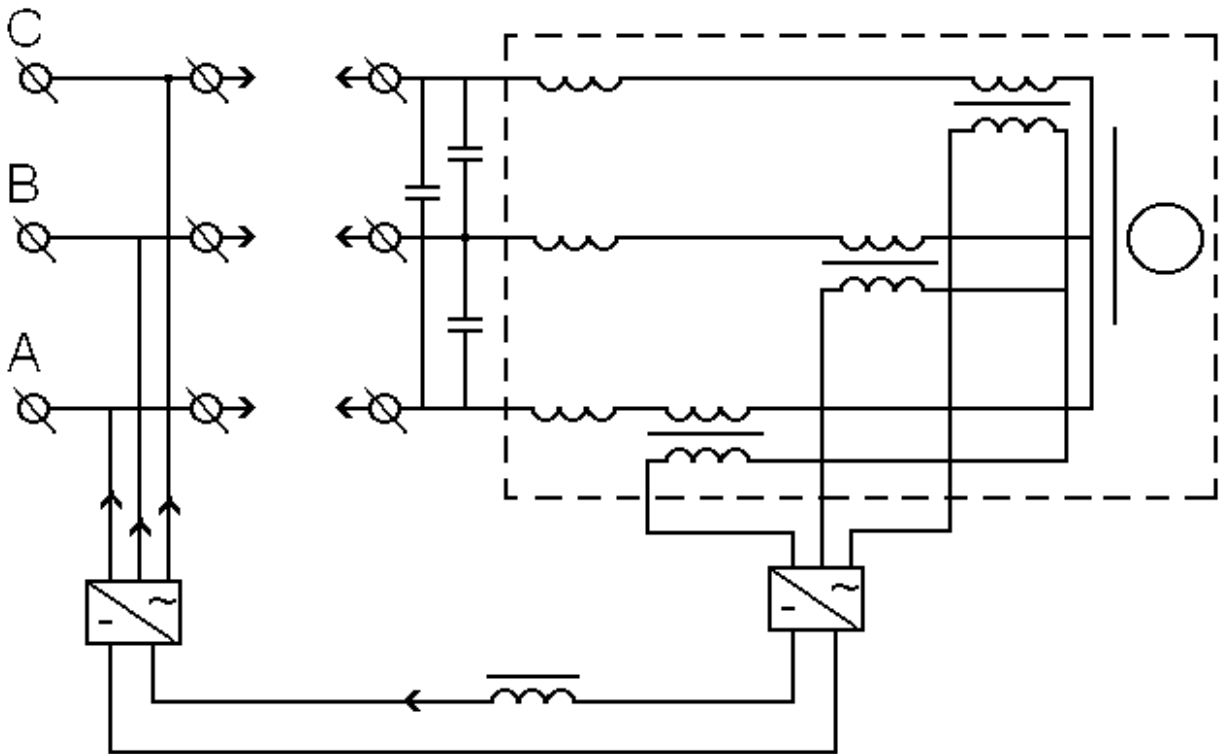
Piedziņas sistēmās ar biežu palaišanu un bremsēšanu racionālākais bremsēšanas veids ir ģeneratoru bremsēšana. Asinhronā dzinēja parametriskās vadības gadījumā, kad nav iespējams izmantot rekuperatīvo bremsēšanu, pielieto asinhronās mašīnas ģeneratora bremsēšanu ar pašierosmi – kondensatoru bremsēšanu [3]. Šajā režīmā asinhronā mašīna strādā kā pašierosmes ģenerators, kura kinētiskā enerģija tiek izkliedēta tinumu aktīvajās pretestībās. Kondensatoru bremsēšanu lietderīgi izmantot asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu sistēmā [4] ar dzinējam tieši pieslēgtu tīkla strāvas reaktīvās enerģijas kompensācijas bateriju. Atslēdzot dzinēju no tīkla, baterija veic asinhronā dzinēja pašierosmi, lai nodrošinātu kondensatoru bremsēšanu. Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu elektriskā shēma parādīta 1.att. Dzinēja paliekošā magnētiskā lauka, rotora ātruma un inerces momentu atšķirību dēļ pie vienas kondensatora kapacitātes eksistē vairākas bremsēšanas raksturlīkņu saimes, kas apgrūtina pārejas procesu matemātisko izpēti, tāpēc svarīga kļūst kondensatoru bremsēšanas nostabilizētā režīma kvantitatīvā analīze. Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu kondensatoru bremsēšanas režīma aprēķinus veic pēc vienas fāzes aizvietošanas shēmas, kas parādīta 2.att. Aizvietošanas shēmas reaktīvās pretestības reducētas uz nominālo leņķisko frekvenci

$$\alpha = \frac{\Omega}{\Omega_0}, \quad (1),$$

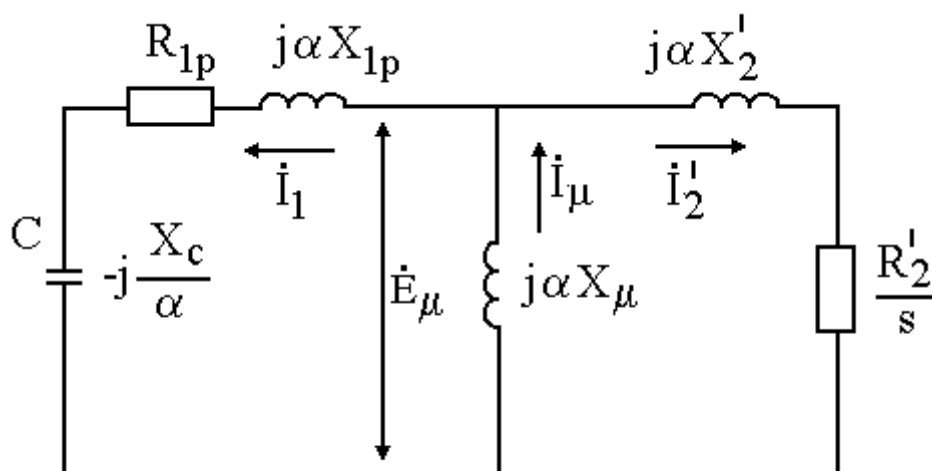
kur Ω - statora ķēdes brīvo elektrisko svārstību leņķiskā frekvence, Ω_0 - statora ķēdes elektrisko svārstību nominālā leņķiskā frekvence. Kondensatoru bremzēšanas režīmā slīdi nosaka pēc izteiksmes

$$s = \frac{\Omega - \Omega_p}{\Omega}, \quad (2),$$

kur Ω_p - rotora elektriskais leņķiskais ātrums, kas vienāds ar mehāniskā leņķiskā ātruma un asinhronā dzinēja polu pāru skaita reizinājumu.



1.att. Asinhronās piedziņas ar pieres daļas tinumu shēma



2.att. Asinhronā dzinēja aizvietošanas shēma vienai fāzei kondensatoru bremzēšanas režīmā

Asinhronās mašīnas aizvietošanas shēmai (2.att.) atbilst elektriskā līdzsvara vienādojumi

$$\begin{cases} R_{1p} \dot{I}_1 + j\alpha(X_{1p} - X_\mu)\dot{I}_1 - j\frac{X_c}{\alpha}\dot{I}_1 - j\alpha X_\mu \dot{I}_2' = 0; \\ -j\alpha X_\mu \dot{I}_1 + j\alpha(X_2' - X_\mu)\dot{I}_2' + \frac{R_2'}{s}\dot{I}_2' = 0; \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2' = -j\frac{\dot{E}_\mu}{\alpha X_\mu}, \end{cases} \quad (3),$$

kur R_{1p}, X_{1p} - asinhronā dzinēja statora tinuma ar pieres daļas transformatoru aktīvās un induktīvās pretestības;

\dot{E}_μ - dzinēja magnetizēšanas kontūra elektrodzinējspēks.

Reālām mašīnām X_μ vērtība jānosaka piesātinājuma režīmā [5]. Pašierosme rodas, ja vienādojumu sistēmas (3) determinants vienāds ar nulli

$$\begin{vmatrix} R_{1p} + j\left(\alpha(X_{1p} - X_\mu) - \frac{X_c}{\alpha}\right) & -j\alpha X_\mu & 0 \\ -j\alpha X_\mu & \frac{R_2'}{s} + j\alpha(X_2' - X_\mu) & 0 \\ 1 & 1 & j\frac{\dot{E}_\mu}{\alpha X_\mu} \end{vmatrix} = 0. \quad (4)$$

Pēc determinanta atvēršanas un kompleksā vienādojuma reālās un imaginārās daļas pielīdzināšanas nullei iegūst kvadrātvienādojumu sistēmu

$$\begin{cases} \alpha^2 \left(-R_{1p} X_2' \dot{E}_\mu s + R_{1p} X_\mu \dot{E}_\mu s - R_2' X_{1p}' \dot{E}_\mu + R_2' X_\mu \dot{E}_\mu \right) + R_2' X_c \dot{E}_\mu = 0; \\ \alpha^2 \left(-X_{1p} X_2' \dot{E}_\mu s + X_2' X_\mu \dot{E}_\mu s + X_{1p}' X_\mu \dot{E}_\mu s \right) + R_{1p} R_2' \dot{E}_\mu + X_2' X_c \dot{E}_\mu s - X_\mu X_c \dot{E}_\mu s = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Šīs sistēmas vienādojumus atrisinot attiecībā pret slīdi un salīdzinot savā starpā, iegūst bikvadrātviēnādojumu

$$\alpha^4 \dot{E}_\mu \left(X_{1p}^2 X_2' - 2X_{1p} X_2' X_\mu - X_{1p}^2 X_\mu + X_2' X_\mu^2 + X_{1p}' X_\mu^2 \right) + \alpha^2 \dot{E}_\mu \left(-X_{1p} X_2' X_c + \dots \right. \\ \left. \dots + 2(X_2' X_\mu X_c + X_{1p}' X_\mu X_c) - X_{1p} X_2' X_c + X_\mu^2 X_c + R_{1p} (X_2' - X_\mu) \right) + \dot{E}_\mu X_c^2 (X_2' - X_\mu) = 0, \quad (6)$$

kura saknes ar pozitīvu zīmi pirms pirmās kvadrātsaknes nosaka pašierosmes augstākās un zemākās kritiskās frekvences vērtību [3] relatīvajās vienībās

$$\alpha_{1\max} = \sqrt{\frac{2X_{1p} X_2' X_c - 2(X_2' X_\mu X_c + X_{1p}' X_\mu X_c) - X_\mu^2 X_c - R_{1p}^2 (X_2' - X_\mu) + \dots}{2}} \quad (7)$$

$$\dots + \sqrt{\left(-2X_{1p} X_2' X_c + 2(X_2' X_\mu X_c + X_{1p}' X_\mu X_c) + X_\mu^2 X_c + R_{1p}^2 (X_2' - X_\mu) \right)^2 - 4X_c^2 (X_2' - X_\mu)}$$

$$\alpha_{2\min} = \sqrt{\frac{2X_{1p} X_2' X_c - 2(X_2' X_\mu X_c + X_{1p}' X_\mu X_c) - X_\mu^2 X_c - R_{1p}^2 (X_2' - X_\mu) - \dots}{2}} \quad (8)$$

$$\dots - \sqrt{\left(-2X_{1p} X_2' X_c + 2(X_2' X_\mu X_c + X_{1p}' X_\mu X_c) + X_\mu^2 X_c + R_{1p}^2 (X_2' - X_\mu) \right)^2 - 4X_c^2 (X_2' - X_\mu)}$$

Slīdi pie dotās pašierosmes frekvences nosaka pēc statora, rotora un magnetizēšanas kontūra vadāmību vienādības reālās daļas

$$g_1 + g_2 + g_\mu = 0 \quad (9)$$

Statora aktīvā vadāmība

$$g_1 = \frac{R_{1p}}{R_{1p}^2 + \left[\frac{X_c}{\alpha} - \alpha X_{1p}' \right]^2} \quad (10)$$

Nelielu slīdes vērtību $|s| < 0,25$ apgabalā rotora vadāmība

$$g_2 = \frac{-|s|}{R_2'} \quad (11)$$

Ievietojot šo izteiksmi vienādojumā (9) un atrisinot to attiecībā pret slīdi, iegūst slīdes vērtības izteiksmi

$$|s| = R_2' g_1 = \frac{R_{1p} R_2'}{R_{1p}^2 + \left[\frac{X_c}{\alpha} - \alpha X_{1p} \right]^2} \quad (12)$$

Slīdes aprēķinos neievēro g_μ , jo parasti $g_\mu \ll g_1$, izņemot dzinēja darbību lielu ātrumu zonu $v > 0,75v_n$ ar palielinātu plūsmu $\approx 1,2 \dots 1,25\Phi_n$. Asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu moments kondensatoru bremsēšanas režīmā vienāds ar

$$m = \frac{3\alpha E_1^2 g_1}{\omega_0 M_n} = \frac{R_{1p} R_2'}{\omega_0 M_n \left(R_{1p} + \left[\frac{X_c}{\alpha} - \alpha X_{1p} \right]^2 \right)} \quad (13)$$

Slēdziens

Asinhronajam dzinējam ar cietu mehānisko raksturlīkni un pieres daļas tinumu bremsēšanas augstāko kritisko frekvenci nosaka pieres daļas tinuma dati. Momenta vērtību ietekmē pieres daļas tinuma ekvivalentās pretestības R_{1p} un X_{1p} .

Pateicība

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas “Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta “Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

Izmantotā literatūra

1. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе. – Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.
2. Клевцов А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
3. Кашкалов В.И. Конденсаторное торможение асинхронных двигателей. - Москва: Энергия, 1997. – 120 с.
4. Greivulis J., Bražis V., Voitkāns J.: LV patents Nr. 13332 B “Asinhronā elektriskā piedziņa ar pieres daļas tinumu”, Patenti un preču zīmes, 2005. Nr. 10.
5. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. - Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. – 772 с.

Viesturs Brazis, Docent, Dr.Sc.Ing.

Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives

Address: Kronvalda Boulevard 1, LV 1048, Riga, Latvia

Phone: 371+67089915

e-mail: viesbraz@eef.rtu.lv

Janis Greivulis, Professor, Dr. Habil. Sc. Ing.

Riga Technical University, Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives

Address: b.Kronvalda 1, LV 1048, Riga, Latvia

Phone: 371+67089915

e-mail: greivulis@eef.rtu.lv

Bražis V., Greivulis J. Asinhronā elektropiedziņa ar pieres daļas tinumu kondensatoru bremzēšanas režīmā.

Apskatīts asinhronās piedziņas sistēmas ar parametriskās vadības regulatoru kondensatoru bremzēšanas režīma aprēķins. Sastādīta asinhronā dzinēja aizvietošanas shēma kondensatoru bremzēšanas režīmam, kurā ievēroti pieres daļas tinuma dati. Analīzei izmantota asinhronā dzinēja T – veida aizvietošanas shēma. Sastādīti elektriskā līdzsvara vienādojumi. Ņemts vērā paliekošā magnētisma lielums. Piedziņas izpētei pielietota metode ar matricu analīzi. Iegūto bīkvadrātvienādojumu atrisina attiecībā pret slīdi. Dotās asinhronā dzinēja ar pieres daļas tinumu kondensatoru bremzēšanas ierosināšanas augstākās un zemākās kritiskās frekvences un momenta aprēķina izteiksmes. Pie dotās pašierosmes frekvences slīdi nosaka pēc statora, rotora un magnetizēšanas kontūra ekvivalento vadāmību reālo daļu vērtībām. Slīdes aprēķinu metode ir pielietojama visā dzinēja darba ātrumu diapazonā pie normālas plūsmas un palielinātas plūsmas, ja tās vērtība nepārsniedz nominālo vairāk kā 1,2 reizes. Apskatītā sistēma ļauj paplašināt asinhronās elektriskās piedziņas funkcionālās īpašības parametriskās vadības gadījumā un uzlabot “mīkstās” palaišanas iekārtu enerģētiskos rādītājus, nodrošinot dzinēja bremzēšanu ar pašierosmi bez saites ar ārēju barošanas tīklu.

Brazis V., Greivulis J., The capacitor braking mode of asynchronous drive with frontal winding.

In the paper, calculations are given for the capacitor braking mode of the induction drive system with a parametric control regulator. The equivalent circuit is composed for an asynchronous motor under the mentioned mode taking into account the parameters of the frontal part winding. For the analysis, a T-type equivalent circuit of the induction motor was used. The authors present the electrical balance equations, with due consideration for remanent magnetization. For studying the drive they apply the matrix analysis method. The derived biquadrate equation is solved in relation to the slip, with expressions given for calculation of the higher and lower critical frequencies and torques for an induction motor with frontal winding at the capacitor braking mode excitation. At a given self-excitation frequency the slip is determined by the real values of equivalent conductivities of the stator, rotor and magnetization circuits. The method for slip calculation can be applied in the whole speed range of an induction motor at the normal flux and at its values being up to 1.2 of nominal. The system under consideration allows widening functional possibilities of the induction drive at the parametric control mode and improving the soft-start energy parameters, providing the self-excitation braking of an asynchronous motor without connection to the power supply network.

Бражис В., Грейвулис Я., Режим конденсаторного торможения асинхронного привода с лобовой обмоткой.

Рассмотрен расчёт режима конденсаторного торможения асинхронного двигателя с регулятором параметрического управления. Составлена схема замещения асинхронного двигателя в режиме конденсаторного торможения с учётом данных обмотки лобовой части. Для расчёта использована T – образная схема замещения асинхронного двигателя. Составлены уравнения электрического равновесия. Учтено значение остаточного намагничивания. Для исследования привода использован метод матричного анализа. Полученное биквадратное уравнение решается по отношению к скольжению. Даны выражения расчета верхней и нижней критической частоты возбуждения торможения и момента для асинхронного двигателя с лобовой обмоткой. При данной частоте самовозбуждения скольжение находит от действительных значений проводимостей статора, ротора и контура намагничивания. Метод расчёта скольжения применим во всём рабочем диапазоне скоростей двигателя при нормальном потоке а также повышенном потоке, если его значение не превышает 1,2 номинального. Рассмотренная система позволяет расширить функциональные возможности асинхронного электропривода при параметрическом управлении и улучшить энергетические показатели устройств «мягкого» пуска, обеспечивая торможение двигателя с самовозбуждением без связи с сетью питания.