

Asinhronā dzinēja vektoriālās vadības metožu optimizācijas kritēriju klasifikācija un sistematizācija

Gleb Golubov¹, Anastasia Ziravetska^{2, 1-2} Riga Technical University

Kopsavilkums. Raksts tiek veltīts asinhronā dzinēja lauka orientētai vadībai tāpēc, ka praktiski visi šīs vadības veidi parādījās kādā no iepriekšējām uzlabošanas vai optimizēšanas reizēm, kad, analizējot iepriekšējos pētījumus, liekās ir iespējams izveidot šīs vadības veida kopējo optimizēšanas sistēmu, kurā ļaus gan izvēlēties visoptimālāko vadības pieeju katram atsevišķam pielietojuma gadījumam, gan arī dos iespēju katrai pieejai turpmāko optimizāciju. Rakstā izanalizēta vektoriālās vadības metožu klasifikācija, apskatīti un arī analizēti galvenie parametri, pēc kuriem tika veikti šīs vadības pieejas pētījumi. Uz to bāzes tika piedāvāta arī kritēriju sistēmas ideja, kuru plānots detalizēt izanalizēt pēc katra vadības apakšveida, to salīdzināt un informāciju sistematizēt.

Atslēgas vārdi: lauka orientēta vadība, asinhronais dzinējs, kritērijs, klasifikācija, optimizācijas sistēma.

I. IEVADS

Sakarā ar plašu asinhrono dzinēju (AD) pielietojumu dažādos tehnoloģiskajos procesos un instalācijās, AD vadības un regulēšanas jautājumi ir īpaši nopietni un tiek aplūkoti dziļi un dažādos virzienos gan no teorētiskās, gan no praktiskās pielietojuma viedokļa. Iekārta, kurā tiek pieprasīta visprecīzākā un ātrākā darbība, plaši un sekmīgi pielietota tā saucama lauka orientēta dzinēja vadība, kura ļauj nodrošināt AD vadību līdzīgi līdzstrāvas dzinējam, pēc būtības vienkāršojot AD vadību, kā arī nodrošinot visprecīzāko vadību pārējos procesos, jo atšķirībā no skalārajām pieejām ($U/f=const$), vektoriālā vadība operē ar strāvu, spriegumu utt. vektoru momentānajiem stāvokļiem [11].

Ar vektoriālās vadības pielietojuma jomu paplašinājumu palielinājās arī procesu teorētiskās izpētes nepieciešamība, kas, savukārt, izraisīja vadības pieejas un izejas parametru uzlabošanas un optimizēšanas paņēmieni un veselu kopu izmaiņu, kā arī apraksta matemātisko aparātu daudzveidību procesu to labākai izpratnei. Rezultātā šī pieeja AD vadībai tika sadalīta dažādās pēc pamatprincipa līdzīgās, bet atšķirīgās pēc to realizācijas metodikas pēc rezultāta un efekta.

Vēsturiski labi zināms [2,7,8], ka tādas vadības pirmais mēģinājums bija 20.g.s.70. gados. Kompānijā Siemens tika izstrādāta EP vektoriālās vadības sistēma, kura turpmāko optimizāciju vada pie plašiem pētījumiem vadības veidu jomā.

Dažādi mēģinājumi paātrināt šīs vadības reakciju un ārējo iedarbību, paaugstināt sistēmu ar vektoriālo vadību darba efektivitāti, samazināt izejas un ieejas parametru kropļojumus (strāvu, momentu utt.), paplašināt regulēšanas diapazonu izraisa faktiski jauno dažādu metožu parādīšanos [7,8], kā arī nepieciešamību turpmāk pētīt un attīstīt šo jautājumu un optimizēt vadības veidus. Sekmīga optimizācija prasa

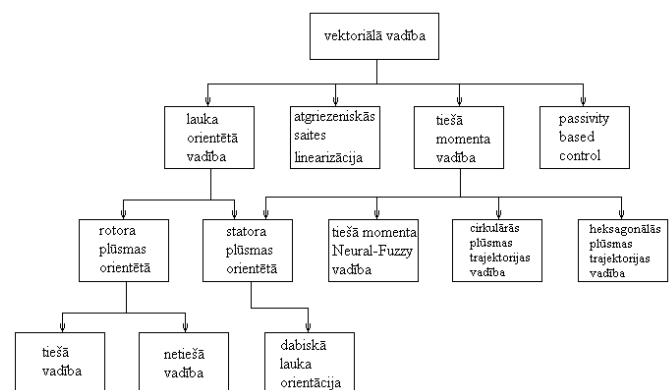
nopietnu kritēriju sistēmas izstrādāšanu, kas ļauj objektīvi novērtēt parametru optimizācijas turpmāko virzienu, gan arī to rezultātus.

Novērtējot plūsmas-orientētas vadības sistēmu sarežģītības līmeni un to matemātisko aprakstu, var secināt, ka optimizācijas kritēriju un parametru sistēma ir diezgan sazarota. Liekas izdevīgi aplūkot kopīgo vektoriālās vadības pieeju optimizācijas sastāva kritēriju, kurš ļauj ņemt vērā vienlaicīgi gan iepriekšminētos tehniski ekonomiskos rādītājus, gan vadības realizācijas sarežģītības līmeni (t.i., metodi kopumā), gan arī vadības mērķi (t.i., pielietojuma jomu).

II. KOPEJAIS METOŽU PĀRSKATS

Vektoriālās vadības sistēmas, kas arī saucas par lauka orientētām sistēmām, var hipotētiski sadalīt uz sistēmām ar tiešu un netiešu lauka orientāciju [1,5,11]. Šo jēdzienu izskaidrojums nav viennozīmīgs. Pēc pirmā izskaidrojuma pie lauka tieši orientētām sistēmām var pielīdzināt tikai sistēmas, kurās notiek tiešā lauka mērīšana ar kādiem plūsmas devējiem. Otrais izskaidrojums ir, ka pie sistēmām ar tiešo lauka orientāciju pielīdzina arī sistēmas, kurās plūsma nav ne mērīta, ne aprēķināta [5,11], bet tiek formēta, pateicoties citu parametru (lielumu) uzdošanai.

Literatūrā [11] tiek piedāvāta pēc iespējas uz šo brīdi pilna vektoriālās vadības klasifikācija. Saskaņā ar to visus lauka orientētas vadības paveidus var sadalīt tā, kā ir parādīts 1.att.



1.att. Vektoriālās vadības metožu klasifikācija.

III. METOŽU NOVĒRTĒŠANAS PARAMETRI

Lai izveidotu nepieciešamo efektīvo novērtēšanas kritēriju sistēmu, ir jānovērtē uzmanīgi un precīzi galvenos aspektus, kas saistīti ar metožu izpētīšanu. Saskaņā ar klasifikāciju (1.att.), pirmkārt, ir jānovērtē sen un visplašāk pielietotas pieejas, t.i., statora lauka orientēto vadību (S-FOC) un rotora lauka orientēto vadību (R-FOC). Tika piedāvāts [11] šo divu pieeju salīdzinājums atbilstoši abu sistēmu struktūrshēmu uzbūves sākuma principiem un to matemātiskajiem aprakstiem. Tāpēc var noteikt, ka, salīdzinot struktūru shēmas, R-FOC metode ir vienkāršākā tehniskai realizācijai ar strāvas invertoru, bet S-FOC ir vairāk pieejama pēc savas realizācijas shēmai ar sprieguma invertoru. Ar to ir arī nosacīta praktiskā industriālā pielietošana. Analizējot matemātisko bāzes aprakstu abām metodēm [11], var secināt, ka katra metode ir vienkāršāka pēc savas koordināšu sistēmas, t.i., katrā gadījumā atsevišķa struktūrshēmas daļa ir vienkāršāka, salīdzinot to ar otru pieeju, pēc savas būtības: piemēram, rotora lauka orientētā sistēmā (R-FOC) rotora sprieguma vienādojumi ir vienkāršāki nekā S-FOC pieejā, un otrādi, statora lauka orientētā vadības sistēmā - statora sprieguma vienādojumi ir vienkāršāki par tiem R-FOC, kas abos gadījumos nosaka parametru savienojumu vienkāršību atbilstošās struktūrshēmās. Tika novērtēta arī plūsmas atkarība no dzinēja parametriem.

Analizējot visu iepriekšminēto, var secināt, ka viens no kritērijiem, pēc kuriem var novērtēt vadības sistēmas, ir sistēmu aprakstošā struktūrshēma, tās matemātiskais apraksts. Šeit arī var norādīt tādus kritērijus, kā ātruma, momenta, strāvas un plūsmas regulatoru parametru noteikšana un sistēmas noskaņošana atbilstoši klasiskajiem optimizēšanas kritērijiem. Ar to pirmo kritēriju sadaļu arī ir saistīts otrais vadības aspekts, tas ir pamata parametrs, ar kādu bāzi tiek īstenota vadība. Vektoriālā vadībā par tādu galveno parametru tiek pieņemta dzinēja plūsma un plūsmas saķēdējums. No paša sākuma lauka orientētā vadība tika balstīta uz to plūsmas lielumu uzturēšanu par konstantu lielumu [6,7,8], bet vēlāk parādījās arī pētījumi [11], piedāvājot izvēlēties plūsmas ķēdes lielumu tā, lai samazinātu piedziņas zudumus (angl. - *energy optimal control*).

Sekojošo kritēriju rādītāju var izveidot no lauka orientētās vadības klasisko veidu iepriekšējiem pētījumiem [6, 7, 8, 9, 10]. Analizējot un apkopojot visus esošos pētījumus vektoriālās vadības optimizēšanas un uzlabošanas jomā, var teikt, ka, pirmkārt, darbi tika veikti, lai uzlabotu piedziņas dinamiku, kā arī tiek minēti ātruma precizitātes un strāvas kropļojuma stacionārā režīmā jautājumi. Kopā ar tiem tiek aplūkoti tādi jautājumi kā ātruma vadības precizitāte, momenta reakcijas laiks vai reakcijas ātrums uz ārējo iedarbību, harmoniskā analīze, līdzstrāvas kontroles iespējas, strāvas un momenta stabilizācijas laiks.

Lietotājiem, protams, ir jāzina un jābūt iespējai novērtēt tādu parametru kā sistēmas izmaksu, un lai izvēlētu pēc izmaksām arī vispiemērotāko lēmumu ir jāvērtē tehniskos rādītājus. Tehniski-ekonomiskos rādītājus nevar aplūkot atsevišķi no reāli ražotiem industriāliem pārveidotājiem, kuros lauka orientētā vadība tiek pielietota [12]. Starp šiem rādītājiem var izskatīt dažus. Pirmkārt, tā ir pārveidotāja jauda. Ja nepieciešamais pārveidotāju skaits ir definēts, tad ir vēlams, lai būtu visu jaudu modeļi, tā ir vieglāk nodrošināt vienveidību tās plašākajā nozīmē - no rezerves daļām un papildus komponentēm, lai vienkāršotu apkopi. Pāreja uz mainīgi dzenošo procesu ir redzama nepilnīgi, tomēr ir vēlams, lai izvēlētos diapazonu ar visplašāko jaudas klāstu. Ieejas spriegums nosaka to, ka sprieguma frekvenču pārveidotājs turpinās darbu.

Frekvenču regulēšanas diapazona augšējā robeža ir svarīga, izmantojot dzinējus ar augstu nominālo frekvenci 200 ... 1000 Hz. Parasti tie ir instrumenti ar ļoti lielu ātrumu - dzirnaviņas, centrifūgas utt. Jāpārliecinās, ka pārveidotājs var nodrošināt pienācīgu frekvenci. Vadības ieeju skaits var būt aplūkots arī kā vērtēšanas rādītājs. Diskrētas ieejas ir vajadzīgas, lai ievadītu dažādas komandas (starts, stop, izvēlēties fiksētu ātrumu, atgriezenisks process, avārijas bremžu, mainīt darba vietu - to parasti var ieprogramēt), un analogu ieejas ir uzdevuma ievadīšanai. Digitālās ieejas ir vajadzīgas, lai pieslēgtu augstus frekvences signālus no dešifratoriem (digitālā ātruma devēja un tā novietošanas). Lielu ieeju skaits ir vajadzīgs, ja ir plānots izveidot sarežģītu vadības sistēmu ar vairākiem kontroles signāliem.

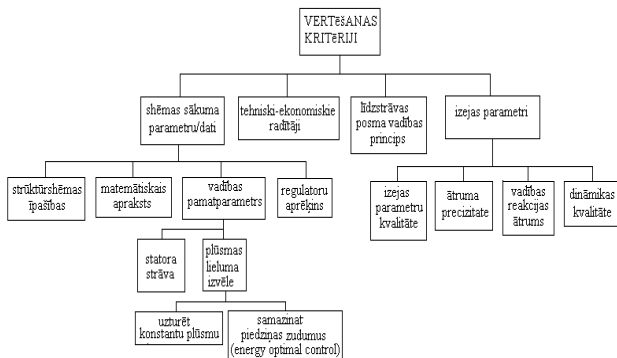
Izejas signālu skaits - digitālās izejas izmanto arī kompleksu sistēmu izveidošanā (piemēram, sūkņu stacijās) un izejas signālus dažādu pasākumu un analogās - lai parādītu barošanas iekārtas un kontroles sistēmu izgatavošanai. Ieteikumi par izvēli - tādi paši kā izejvielās.

Vadības veids, ar kuru dzinēju ievadīs darba režīmā, var vadīt caur iebūvētu izeju vai no attālinātas pults, vai ar datora vadību. Bieži ir sastopama kombinēta vai pārslēdzama vadība. Kā redzams, šie parametri vairāk attiecas uz konkrētiem pārveidotājiem.

Frekvences pārveidotāji ar impulsu-platumu modulāciju, kuros ir vairāk pielietota vektoriālā vadība, iekļauj sevī arī līdzstrāvas posmu (angl. - *DC-link*), kas savukārt iekļauj kapacitāti kā enerģijas glabāšanas elementu. Tomēr viņiem ir arī savi trūkumi: izmērs, izmaksas un, vissvarīgākais, izturība. Savu trūkumu dēļ līdzstrāvas posms ietekmē invertora normālo darbību, un sakarā ar to ir dažādi mēģinājumi izlabot esošo situāciju [13], piemēram, samazināt līdzstrāvas posma kondensatora izmērus. Tāpēc līdzstrāvas posma parametri, kā, piemēram, spriegums, arī tiek pakļauti vadībai, lai samazinātu līdzstrāvas posma sprieguma svārstības.

IV. VEKTORIĀLĀS VADĪBAS OPTIMIZĀCIJAS KRITĒRIJU SISTĒMAS PIEDĀVĀJUMS

Ņemot vērā visu iepriekšminēto, var piedāvāt sekojošu kritēriju sistēmu (2.att.), kur vizuāli parādīts, pēc kādiem parametriem šo vadības pieeju var gan vērtēt, gan optimizēt. No attēla ir redzams, ka galvenie kritēriji ir četri: shēmas un matemātiskā apraksta pamatrādītāji, izejas parametri, kas raksturo shēmas darbību, tehniski ekonomiskie parametri un kā atsevišķs kritērijs tiek ņemts līdzstrāvas posma vadības princips, kas savukārt prasa turpmāko sadalījumu.



2.att. Vektoriālās vadības optimizācijas kritēriju klasifikācija.

Acīmredzams ir tas, ka visvairāk sazaroti no tā saraksta ir pirmais un otrais kritērijs, t.i., shēmas un matemātiskā apraksta pamatrādītāji un izejas parametri, kas rada vislielāko interesi izpētei.

III. SECINĀJUMI

1. Asinhronā dzinēja vektoriālās vadības metodes ir ļoti daudzveidīgas gan pēc darbības un struktūras principiem, gan pēc izejas tehniskajiem parametriem, un tie joprojām turpina attīstīties. Šīs vadības metožu izpētišana notiek optimizācijas virzienā, tādēļ ir nepieciešams noteikt galvenos optimizācijas kritērijus un attīstīt kritēriju sistēmu, pēc kuras var būt iespēja novērtēt, analizēt un salīdzināt esošās un jaunas vadības pieejas.

2. Pirmais no šiem kritērijiem ir vadības principa matemātiskā apraksta sarežģītības līmenis, īpašības un galvenais regulēšanas parametrs, kurš tiek ņemts par vadības pamatu. Tas arī attiecas uz strukturshēmu, kas izriet no matemātiskā apraksta, kā arī uz vadības regulatoru aprēķina iespējām.

3. Otrais ir izejas tehniskie rādītāji katras vadības pieejas gadījumā, tādi kā sistēmas reakcijas ātrums uz ārējo iedarbību, darba efektivitāte, izejas parametru kvalitāte.

4. Kā atsevišķu kritēriju var arī aplūkot frekvences pārveidotāja līdzstrāvas posma sprieguma (DC-link) vadības principu un tā iespējas.

5. Svarīgs kritērijs, bez šaubām, ir vadības tehniskās realizācijas tehniski ekonomiskie rādītāji.

6. Piedāvātā optimizācijas kritēriju sistēma savukārt prasa turpmāku attīstību un iedziļināšanos.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] **Bose, B.K.** Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, 2002.
- [2] **Novotny, D. W. and Lipo, T. A.** Vector Control and Dynamics of AC Drives, Oxford University Press, 1997.
- [3] **Sharifian, M. B. B., Babaei, E. and Eslami, A.** Comparison of two torque control methods for induction motors, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tabriz University, Tabriz.
- [4] **A.D. Karlis, K. Kiriakopoulos, D.P. Papadopoulos and E.L. Bibeau,** Comparison of the Field Oriented and Direct Torque Control Methods for Induction Motors used in Electric Vehicles, Laboratory of Electrical Machines, Department of Electrical and Computer Engineering, Democritus University of Thrace.
- [5] **Leonhard, W.** Control of Electrical Drives. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [6] Peter Vas, "Sensorless Vector and Direct Torque Control," Oxford University Press, 1998.
- [7] **Takahashi, I., Noguchi T.** A New Quick Response and High Efficiency Control Strategy of an Induction Motor. IEEE-Trans. Ind.Appl. 1986, p.820.
- [8] **Depenbrock, M.** Direct Self Control (DSC) of Inverter-Fed Induction Machine. IEEE Trans. Power Electr. 1988, p.420.
- [9] **Casadei, D., Profumo, F., Serra, G., Tani A.** FOC and DTC: Two Viable Schemes for Induction Motors Torque Control. IEEE Trans. Power Electr. 2002, p.779.
- [10] **Naciri Farid, Belkacem Sebti, Kercha Mebarka, Benmokrane Tayeb** Performance Analysis of Field-Oriented Control and Direct Torque Control for Sensorless Induction Motor Drives. Pr. 15th Mediterranean Conference on Control & Automation, Athens – Greece, July 27-29, 2007.
- [11] **Marian P.Kazmierkowski, R.Krishnan, Frede Blaabjerg.** Control in power Electronics, selected problems. – Academic Press, 2002. 518 pp.
- [12] <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/frequency-converter-62118.html>
- [13] **N.Hur, J.Jung, K.Nam.** A Fast Dynamic DC-Link Power-Balancing Scheme for a PWM Converter-Inverter System. IEEE Trans. Power Electr. 2001, p.794.



Gleb Golubov has graduated from Riga Technical University in 2010, Latvia. From 2010 his is a post-graduate student at Industrial Electronics and Electrical Engineering Institute of RTU. He deals with the research of frequency control approaches of induction motors and investigates their optimization possibilities.

Fields of scientific interests are power electronics, electric drives, motion control. He participated in some international conferences. Currently he is employed by A/S "Latvenergo".

Address: b.Kronvalda 1, LV-1048 Riga, Latvia
Phone: +371 28627355, e-mail: gleb.ohotnik@inbox.lv



Anastasia Zhiravetska, Dr.Sc.Ing. Defended PhD paper in 1999 in Riga Technical University (RTU), Latvia. From 2005 she is an associated professor at Industrial Electronics and Electrical Engineering Institute of RTU. She conducts lecturers and practical classes for IEEI bachelor, master and post-graduate students. Fields of scientific interests are power electronics, electric drives, motion control and English for professional and academic purposes, application of modern technologies in translation use of terminology in all these areas. She teaches students and participates in the development of

different Latvian local and international projects.

Address: b.Kronvalda 1, LV-1048 Riga, Latvia
Phone: +371 67089917, e-mail: zhiravetska@eef.rtu.lv

Gleb Golubov, Anastasia Zhiravetska. Classification and systemizing of optimization criteria of vector control methods for induction motor.

The paper is devoted to the field-oriented control of induction motors. As almost all the types of this control approach existed as a result of continuous improvement and optimization of the previous similar methods, then analyzing the previous investigations in this field it seems possible to develop a general optimization system of this type of control allowing the selection of an optimal method for each separate application case as well as the opportunity for further optimization of each method. The authors analyze the proposed in literature classification of the vector control methods, the parameters of such systems that are used as key parameters in these control methods. On the basis of this a system of evaluation and optimization criteria is proposed with the idea of further detailed analysis of such systems in terms of all the considered parameters and according to each subtype of control compare them and systemize the information. The vector control of induction motor has a lot of types according to the type of operation and structure of the system as well as according to the output technical parameters and characteristics. All these aspects are constantly developing. One of the research ways of this control method development is in the direction of optimization. Therefore it is necessary to determine the main optimization criteria and develop the criteria system according to which it would be possible to evaluate, analyze and compare the existing and new control approaches.

Глеб Голубов, Анастасия Жиравецкая. Классифицирование и систематизация критериев оптимизации векторных методов управления асинхронных двигателей.

Статья посвящена контролю асинхронных двигателей с ориентацией по полю. Поскольку почти все типы этого вида управления появились в результате непрерывного усовершенствования и оптимизации предыдущих подобных методов, анализируя предыдущие исследования в этой области, представляется возможным развить общую систему оптимизации этого типа контроля, позволяющего выбрать оптимальный метод для каждого отдельного случая, а так же как возможность для дальнейшей оптимизации каждого метода. Авторы анализируют предложенные в литературе классификации векторных способов управления, параметры таких систем, которые используются в качестве основных параметров в этих способах управления. На основе этого система критериев оценки и оптимизации предполагает дальнейший подробный анализа таких систем с точки зрения всех рассмотренных параметров и согласно каждому подтипу контроля, их сравнение и систематизирование полученной информации. У векторного управления асинхронными двигателями есть много подвидов управления, в зависимости от типа операции и структурной системы, а также в зависимости от технических параметров и особенностей. Все эти аспекты все время развиваются. Одно из исследований способов развития методов управления - в направлении оптимизации. Поэтому необходимо определить главные критерии оптимизации и развить систему критериев, согласно которой было бы возможно оценить, проанализировать и сравнить существующие и новые виды управления.