भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 30 अंक (1) जून 2022 पृ. 34-39

प्रेरण मोटर की उन्नत गति नियंत्रण विधियाँ : एक विश्लेषण

जय कुमार महरचंदानी[*], नीरज कुमार गर्ग[*], विकास कुलश्रेष्ठ[*] एवं उमेश अग्रवाल[*]
[*]महाराणा प्रताप कृषि एवं प्रौद्योगिकी विश्वविद्यालय, उदयपुर, राजस्थान 313 001
[**]अभियान्त्रिकी महाविद्यालय, झालावाड, राजस्थान 326 001

सारांश : प्रेरण मोटर व्यापक रूप से औद्योगिक और घरेलू अनुप्रयोगों की एक विस्तृत श्रृंखला में उपयोग की जाती हैं। प्रेरण मोटर अन्य मोटरों की तुलना में कम रख-रखाव आवश्यकताओं, मजबूती और कम लागत के कारण एक आम विकल्प है। पावर इलेक्ट्रॉनिक्स और गति नियंत्रण प्रौद्योगिकी में प्रगति के साथ, विशेष औद्योगिक अनुप्रयोगों के लिए प्रेरण मोटर की गति को इच्छित ढंग से नियंत्रित करना अब संभव है। यह पेपर 3-फेज इंडक्शन मोटर स्पीड कंट्रोल की उन्नत तकनीकों जैसे कि प्रत्यक्ष/अप्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण, डायरेक्ट टॉर्क और फ्लक्स नियंत्रण, अनुकूल और इष्टतम नियंत्रण और बुद्धिमान नियंत्रण की व्यापक साहित्य समीक्षा प्रदान करता है। इस विश्लेषण से उम्मीद है कि भविष्य में प्रेरण मोटर ड्राइव के लिए उन्नत स्विचिंग तकनीकों और नियंत्रकों के अनुसंधान और विकास में तेजी आएगी। लेखकों को भरोसा है कि यह सर्वेक्षण लेख 3-फेज प्रेरण मोटर्स के गति नियंत्रण के क्षेत्र में महत्वपूर्ण संदर्भों का पता लगाने में शोधकर्ताओं के लिए बेहद उपयोगी होगा।

Advanced Speed Control Methods for Induction Motor : An analysis

Jai Kumar Maherchandani[*], Neeraj Kumar Garg[**], Vikas Kulshreshtha[**], Umesh Agarwal[*]
[*]Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur, Rajasthan 313 001
[*]Engineering College Jhalawar, Rajasthan 326 001

Abstract

Induction motors are widely used in a wide range of industrial and domestic applications. Induction motors are a common option compared to other motors because of their low maintenance requirements, robustness, and low cost. With advancements in power electronics and speed control technology, it is now possible to precisely control the speed of an induction motor for particular industrial applications. This paper provides a comprehensive literature review of advanced 3-phase induction motor speed control techniques such as direct/indirect vector control, direct torque and flux control, adaptive and optimal control, and intelligent control. Hopefully, all of the main takeaways from this analysis will spur further research and development of advanced switching techniques and controllers for future induction motor drives. The authors are confident that this survey article would be extremely useful to researchers in locating important references in speed control 3-phase induction motors.

परिचय

प्रेरण मोटर ड्राइव के लिए उन्नत उच्च प्रदर्शन गति नियंत्रण तकनीके अनुसंधान और विकास के बहुत ही आकर्षक और चुनौतीपूर्ण विषय हैं, और हाल ही में, उन्हें साहित्य में व्यापक ध्यान मिला। हालांकि तकनीकें दो दशक से अधिक समय पहले शुरू हुई थीं, यह हाल के वर्षो में तेजी से उन्नति के साथ कार्यरत हैं। उच्च प्रदर्शन नियंत्रण अब स्टील मिलों, पेपर मिलों, सर्वो, मशीन टूल्स, रोबोटिक्स, लिफ्ट और इलेक्ट्रिक वाहनों जैसे अनुप्रयोगों के लिए औद्योगिक ड्राइव में बढ़ती स्वीकृति पा रहा है। वेक्टर या फील्ड-ओरिएंटेड नियंत्रण का आविष्कार, और एसी मोटर को

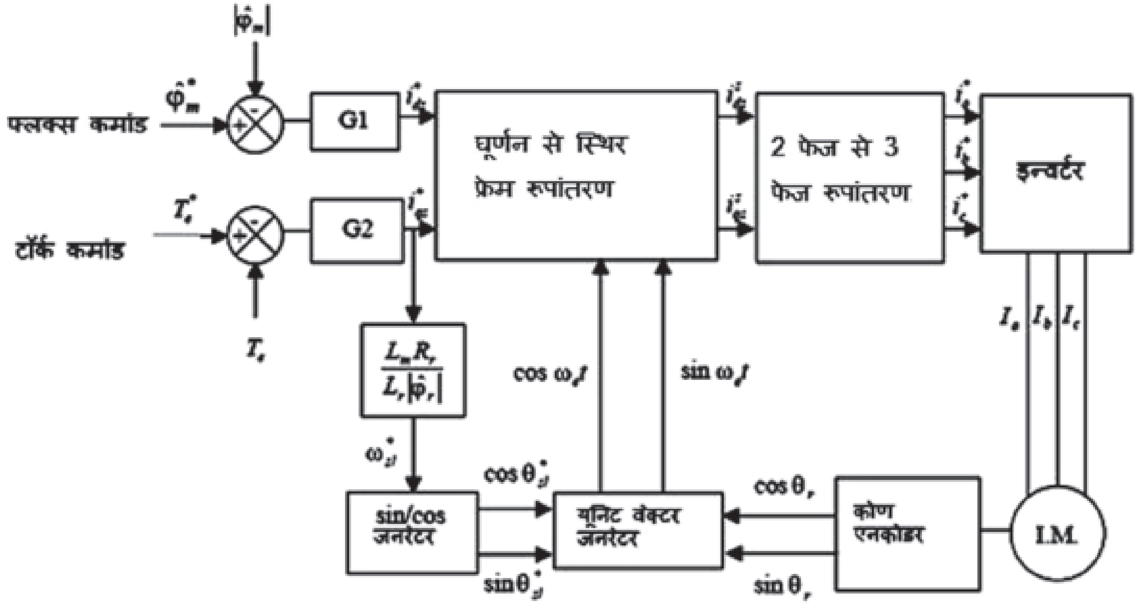
अलग उत्तेजित डीसी मोटर की तरह नियंत्रित किया जा सकता है, जो प्रेरण मोटर ड्राइव के उच्च प्रदर्शन नियंत्रण में पुनर्जागरण लाती है। 1970 में माइक्रोप्रोसेसरों के आगमन ने वेक्टर नियंत्रण को 1980 के दशक से तेजी से स्वीकार्य बना दिया। वास्तव में, वेक्टर नियंत्रण के साथ, इंडक्शन मोटर ड्राइव डीसी ड्राइव को उच्च क्षणिक वर्तमान क्षमता, बढ़ी हुई गति सीमा और कम रोटर जड़ता के कारण बेहतर बनाता है। उच्च प्रदर्शन अनुकूली और इष्टतम नियंत्रण तकनीकों को सरल डीसी मशीन जैसे क्षणिक मॉडल के कारण वेक्टर-नियंत्रित ड्राइव पर आसानी से लागू किया जा सकता है। आधुनिक डिजिटल सिग्नल प्रोसेसर, एएसआईसी चिप्स, शक्तिशाली व्यक्तिगत कंप्यूटर, उपयोगकर्ता के अनुकूल सिमुलेशन और सीएडी उपकरण, कृत्रिम बुद्धिमत्ता (एआई) तकनीक और नियंत्रण और आकलन की प्रगति के आगमन लगातार उच्च प्रदर्शन एसी ड्राइव के सीमांत का विस्तार कर रहे हैं।

वेक्टर या फील्ड-ओरिएंटेड कंट्रोल (Vector or Field Oriented Control)

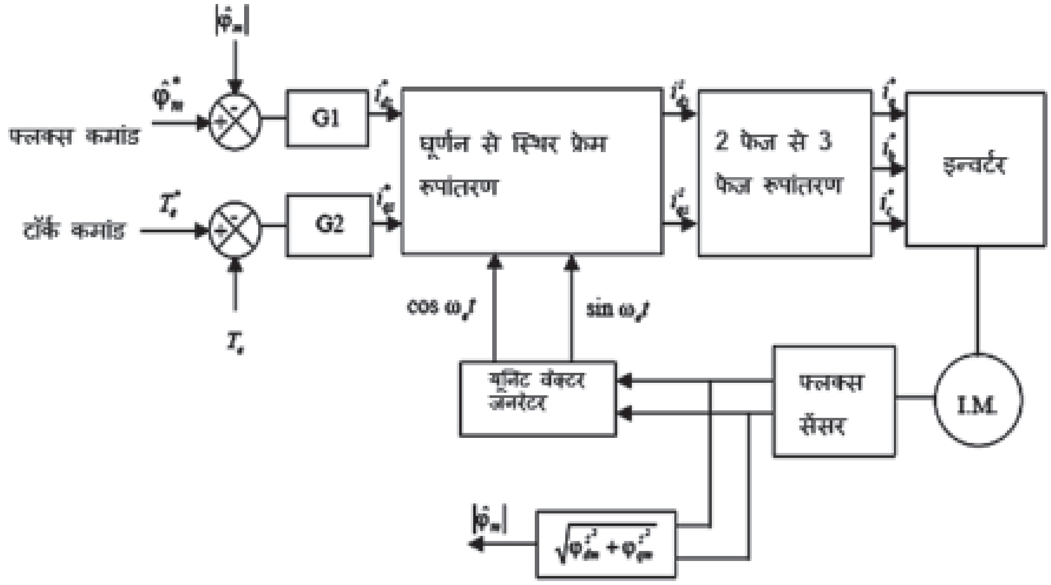
वेक्टर नियंत्रण आधुनिक उच्च प्रदर्शन ड्राइव की नींव है। इसे अपयुग्मन, ऑर्थोगोनल या ट्रांसवेक्टर कंट्रोल के रूप में भी जाना जाता है। वेक्टर नियंत्रण तकनीकों को यूनिट वेक्टर उत्पादन की विधि के आधार पर अप्रत्यक्ष या प्रत्यश विधि के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है। अप्रत्यक्ष और प्रत्यश वेक्टर नियंत्रण पद्धति का ब्लॉक आरेख क्रमशः चित्र 1 एवं चित्र 2 में दिखाया गया है।

अप्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण में, स्टेटर करंट के सिंक्रोनस रोटेटिंग वेक्टर घटकों iqs और ids को क्रमशः टॉर्क और रोटर फ्लक्स को नियंत्रित करने के लिए स्वतंत्र रूप से नियंत्रित किया जाता है। यूनिट वेक्टर सिग्नल, जो गति संकेत और स्लिप संकेत से उत्पन्न किये जाते हैं, तुल्यकालिक रूप से घूर्णन स्टेटर वोल्टेज को स्थिर फ्रेम सिग्नल में बदल देता है। फ्लक्स को खुले लूप द्वारा नियंत्रित किया जा सकता है। ड्राइव को शून्य गति से निरंतर शक्ति-कमजोर फ्लक्स क्षेत्र तक आसानी से संचालित किया जा सकता है। यह उद्योग में सबसे लोकप्रिय वेक्टर नियंत्रण विधि है। हालाँकि, मशीन पैरामीटर परिवर्तन स्लिप गेन को प्रभावित करती है, और इसी तरह, ड्राइव के स्थिर और गतिशील प्रदर्शन दोनों प्रभावित होते हैं। पैरामीटर परिवर्तन अनुसार नियंत्रण के लिए ऑन-लाइन ट्यूनिंग अधिक कठिन है[1,2]।

प्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण में, नियंत्रण के सभी मूल तत्व अनिवार्य रूप से यूनिट वेक्टर सिग्नल उत्पादन की प्रक्रिया को छोड़कर अप्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण के समान होते हैं, जो फ्लक्स वेक्टर से प्राप्त होता है जिसका अनुमान या तो वेल्टेज मॉडल, विद्युत धारा मॉडल, या क्लोज लूप प्रेक्षक द्वारा लगाया जा सकता है। वोल्टेज और विद्युत धारा संकेतों से गति संकेत का अनुमान लगाना भी संभव है। वेल्टेज मॉडल के साथ फ्लक्स वेक्टर का अनुमान शून्य गति के पास काम नहीं करता है, लेकिन विद्युत धारा मॉडल के साथ इसे आसानी से शून्य तक बढ़ाया जा सकता है[3,4]।


$|\hat{\varphi}_m|$
$\hat{\varphi}_m^*$
फ्लक्स कमांड
T_e^*
टॉर्क कमांड
T_e
G1
G2
i_{ds}^*
i_{qs}^*
घूर्णन से स्थिर फ्रेम रूपांतरण
2 फेज से 3 फेज रूपांतरण
इन्वर्टर
i_a^*
i_b^*
i_c^*
I_a
I_b
I_c
$\frac{L_m R_r}{L_r |\hat{\varphi}_r|}$
ω_{sl}^*
$\cos \omega_e t$
$\sin \omega_e t$
$\cos\theta_{sl}^*$
$\sin\theta_{sl}^*$
sin/cos जनरेटर
यूनिट वेक्टर जनरेटर
$\cos\theta_r$
$\sin\theta_r$
कोण एनकोडर
I.M.

चित्र 1 – अप्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण पद्धति का ब्लॉक आरेख


$|\hat{\varphi}_m|$
$\hat{\varphi}_m^*$
फ्लक्स कमांड
G1
i_{ds}^*
T_e^*
टॉर्क कमांड
G2
i_{qs}^*
T_e
घूर्णन से स्थिर फ्रेम रूपांतरण
2 फेज से 3 फेज रूपांतरण
i_a^*
i_b^*
i_c^*
इन्वर्टर
$\cos \omega_e t$
$\sin \omega_e t$
यूनिट वेक्टर जनरेटर
फ्लक्स सेंसर
I.M.
$\sqrt{\varphi_{dm}^{s^2} + \varphi_{qm}^{s^2}}$
$|\hat{\varphi}_m|$

चित्र 2 – प्रत्यश वेक्टर नियंत्रण पद्धति का ब्लॉक आरेख

प्रत्यक्ष टॉक और फ्लक्स कंट्रोल (Direct Torque and Flux Control)

प्रत्यक्ष टॉकग और फ्लक्स कंट्रोल विधि मूल रूप से एक प्रदर्शन-वर्धित स्केलर (अदिश) नियंत्रण विधि है और इसे प्रत्यक्ष रूप से टोक़ नियंत्रण (DTC) के रूप में जाना जाता है। मशीन का विकसित टॉर्क सिंक्रोनस रोटेटिंग स्टेटर फ्लक्स, रोटर फ्लक्स और उनके बीच के कोण पर निर्भर करता है। मूल रूप से, डीटीसी में बाहरी लूप में टोक़ और स्टेटर फ्लक्स नियंत्रण है। स्पीड लूप को स्पीड एनकोडर या अनुमानित गति के साथ टॉर्क लूप पर जोड़ा जा सकता है। मशीन वोल्टेज और धाराओं को टोक़ और फ्लक्स वेक्टर का अनुमान लगाने के लिए मापा जाता है जो स्टेटर फ्लक्स स्थान के बारे में जानकारी देता है। नियंत्रण लूप त्रुटियों एवं संबंधित हिस्टैरिसीस-बैंड तुलनाकारक के माध्यम से डिजिटल सिग्नल उत्पन्न करते हैं। एक तीन-आयामी लुक-अप तालिका तब फ्लक्स और टॉर्क मांगों को पूरा करने के लिए सबसे उपयुक्त वोल्टेज वेक्टर का चयन करती है। चूंकि मशीन टर्मिनल से फीडबैक सिग्नल का अनुमान लगाया जा रहा है, कम गति सीमा और पैरामीटर परिवर्तन समस्या प्रत्यक्ष वेक्टर नियंत्रण के समान है। ड्राइव में तेज क्षणिक प्रतिक्रिया होती है, और बंद लूप करंट कंट्रोल, पारंपरिक पीडब्लूएम एल्गोरिद्म और वेक्टर परिवर्तन के अभाव के कारण कार्यान्वयन की सरलता होती है। हालांकि, सीमा चक्र नियंत्रण की अंतर्निहित सीमाएं, जैसे स्पंदित टॉर्क, स्पंदना प्रवाह और अतिरिक्त हॉर्मोनिक नुकसान मौजूद हैं। हाल ही में साहित्य में DTC नियंत्रण को बेहतर बनाने के लिए बड़ी संख्या में पत्र-पत्रिकाएं दिखाई दे रही हैं[5,6]।

अनुकूल और इष्टतम नियंत्रण (Adaptive and Optimal Control)

रैखिक नियंत्रण मॉडल और समय-अपरिवर्तनीय मापदंडों के आधार पर एक प्रतिष्ठित नियंत्रण डिजाइन शायद ही उच्च प्रदर्शन नियंत्रण के लिए स्वीकार किया जा सकता है। एक वेक्टर-नियंत्रित ड्राइव सिस्टम तेजी से प्रतिक्रिया दे सकता है, लेकिन इसके पोल और शून्य संयंत्र पैरामीटर परिवर्तन के कारण भिन्न हो सकते हैं। एक मशीन के विद्युत पैरामीटर संतृप्ति और तापमान के प्रभाव से भिन्न हो सकते हैं, और यांत्रिक मापदंडों को युग्मन भार द्वारा निर्धारित किया जाता है। एक उच्च लाभ नकारात्मक प्रतिपुष्टि लूप एक संयंत्र (स्थिरता बाधाओं की सीमा के भीतर) को रेखीयकृत कर सकता है और पैरामीटर परिवर्तन और बाहरी गड़बड़ी को कम कर सकता है। अनुकूल नियंत्रण में नियंत्रक मापदंड (और कभी-कभी संरचना) वांछित स्थिरता और मजबूती देने के लिए एवं संयंत्र मापदंडों की विविधता को लगातार अनुकूलित करने के लिए बदलते हैं। एक नियंत्रण प्रणाली को इष्टतम के रूप में परिभाषित किया जा सकता है जहां निष्पादन पैरामीटर, जैसे निष्पादन, दक्षता, या ऊर्जा की खपत, आदि के समय को अनुकूलित किया जाता है। एक सामान्य अर्थ

में, ''इष्टतम'' शब्द का अर्थ है कि सभी संभव तरीकों में से सबसे अच्छे काम करना[7]।

अनुकूल नियंत्रण को स्पष्ट या निहित के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है। स्पष्ट या प्रत्यक्ष अनुकूली नियंत्रण का एक सरल उदाहरण एक निष्क्रियता (J) गति नियंत्रण प्रणाली का लाभ समयबद्धन नियंत्रण है, बशर्ते पैरामीटर को एप्रियोरी कहा जाता है, या वास्तविक समय के आधार पर पहचाना जा सकता है। एक अधिक जटिल स्व-ट्यूनिंग नियंत्रण (एसटीसी) में, सिस्टम पोल, जीरो और लाभ पैरामीटर परिवर्तनों के बावजूद अद्वितीय हो सकते हैं। इस तरह के एक नियंत्रण प्रणाली में, एक संयंत्र पैरामीटर अनुमान एल्गोरिद्म पर्यवेक्षक विधि द्वारा संयंत्र मॉडल को ऑन-लाइन हल करता है। एक ट्यूनिंग एल्गोरिद्म तब संयंत्र मापदंडों[8] के अनुमान के आधार पर नियंत्रण मापदंडों को समायोजित करता है। हाल के साहित्य में, एच-इन्फिनिटी नियंत्रण प्रस्तावित किया गया है और पोल आवंटन एसटीसी की तुलना में अधिक प्रभावी पाया गया है।

अंतर्निहित या अप्रत्यक्ष अनुकूली नियंत्रण विधियों के उदाहरण मॉडल संदर्भित अनुकूली नियंत्रण (MRAC) और स्लाइडिंग मोड नियंत्रण (SMC) हैं। इस तरह के नियंत्रण से ड्राइव का मजबूत प्रदर्शन होता है, अर्थात्, प्रतिक्रिया किसी भी पैरामीटर भिन्नता (जैसे J), या लोड गड़बड़ी प्रभाव से प्रभावित नहीं होती है। MARC में, प्लांट प्रतिक्रिया को एक संदित् मॉडल की प्रतिक्रिया को रैक करने के लिए मजबूर किया जाता है, भले ही प्लांट पैरामीटर भिन्नता या लोड गड़बड़ी के बावजूद। जाहिर है, इष्टतम प्रतिक्रिया गति की लागत पर नियंत्रण प्रणाली की वांछित मजबूती प्राप्त की जाती है[9,10]।

स्लाइडिंग मोड कंट्रोल (SMC) को चर संरचना नियंत्रण प्रणाली के रूप में भी जाना जाता है। MRAC की तरह, यह प्लांट पैरामीटर परिवर्तन और लोड अशांति प्रभाव के खिलाफ मजबूत प्रदर्शन देता है, लेकिन इसे लागू करना कुछ आसान है। नियंत्रण को वेक्टर-नियंत्रित इंडक्शन मोटर ड्राइव पर आसानी से लागू किया जा सकता है। एक स्लाइडिंग मोड नियंत्रण में, ''संदर्भ मॉडल'' को पूर्वनिर्धारित चरण विमान प्रक्षेपवक्र के रूप में संग्रहित किया जाता है, और एक स्विचिंग नियंत्रण एल्गोरिद्म द्वारा ड्राइव सिस्टम प्रतिक्रिया को प्रक्षेप पथ के साथ या ''स्लाइड'' का पालन करने के लिए मजबूर किया जाता है। नियंत्रण की संरचना या टोपोलॉजी सकारात्मक और नकारात्मक प्रतिक्रिया नियंत्रण मोड के बीच जानबूझकर भिन्न होती है ताकि सिस्टम की औसत प्रतिक्रिया स्थिर हो, हालांकि व्यक्तिगत संरचना में यह अस्थिर हो सकता है[11]।

कृत्रिम बुद्धिमत्ता नियंत्रण (Artificial Intelligence Control)

बुद्धिमान नियंत्रण कृत्रिम बुद्धिमत्ता पर आधारित है, जिसे मानव सोच प्रक्रिया के कंप्यूटर अनुकरण के रूप में परिभाषित किया जा सकता है। कृत्रिम बुद्धिमत्ता तकनीकों को आमतौर पर विशेषज्ञ प्रणाली (ईएस), फजी लॉजिक (एफएल), कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क (एएनएन) और आनुवंशिक एल्गोरिद्म (जीए) के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। बूलियन बीजगणित पर आधारित विशेषज्ञ प्रणाली, कठोर या सटीक संगणना का उपयोग करती है, जबकि फजी लॉजिक, न्यूरल नेटवर्क और आनुवंशिक एल्गोरिद्म नरम या अनुमानित गणना पर आधारित होते हैं। कृत्रिम बुद्धिमत्ता पर आधारित नियंत्रण के साथ, एक प्रणाली को ''बुद्धिमान'', ''स्वायत्त'', ''अनुकूली'', ''स्व-आयोजन'' या ''सीखने का नियंत्रण'' कहा जाता है। पारंपरिक नियंत्रण डिजाइन संयंत्र के गणितीय मॉडल पर आधारित है। अक्सर प्लांट मॉडल अज्ञात, या बीमार परिभाषित होता है, या पैरामीटर भिन्नता समस्या के साथ सिस्टम अशुभ, जटिल और बहुक्रियाशील हो सकता है। एक बुद्धिमान नियंत्रण प्रणाली मॉडल की पहचान कर सकती है, यदि आवश्यक हो, और पैरामीटर भिन्नता की विस्तृत श्रृंखला के साथ भी अनुमानित प्रदर्शन दे सकती है। बेशक, यदि कोई मॉडल उपलब्ध है, तो इसका उपयोग सिमुलेशन अध्ययन के लिए किया जा सकता है जहां नियंत्रण को पुनरावृत्ति द्वारा अनुकूलित किया जा सकता है[12]।

फजी लॉजिक उन समस्याओं से संबंधित है जिनमें अस्पष्टता या अनिश्चितता है, और समस्या को हल करने के लिए 0 और 1 के बीच के मूल्यों के साथ सदस्य जहाज कार्यों का उपयोग करता है। फजी नियंत्रण नॉनलाइनरिटी, पैरामीटर भिन्नता और लोड अशांति प्रभाव के साथ ड्राइव के मजबूत अनुकूली प्रतिक्रिया दे सकता है। फजी कंट्रोलर में तब दो इनपुट सिग्नल होंगे, यानी, लूप एरर और बदलाव की त्रुटि दर। नियंत्रण आउटपुट वर्तमान सिग्नल का वेतन वृद्धि है, जो वर्तमान कमांड उत्पन्न करने के लिए एकीकृत है। मूल रूप से, यह एक नॉनलाइनियर-पीआई नियंत्रण है जहां लाभ घटक प्रकृति में अनुकूल होते हैं। एक नियम मैट्रिक्स लूप त्रुटि, परिवर्तन की त्रुटि दर और वर्तमान सिग्नल चर की वृद्धि से संबंधित है। इनपुट संकेतों को फिजिफाइड किया जाता है, संबंधित नियंत्रण नियमों का मूल्यांकन सदस्यता कार्यों और नियम तालिका से किया जाता है, जो नियंत्रण सिग्नल को प्राप्त करने के लिए बनाए गए और अंत में परिभाषित होते हैं[13]।

विशेषज्ञ प्रणाली और फजी लॉजिक की तुलना में कृत्रिम तंत्रिका नेटवर्क या तंत्रिका नेटवर्क कृत्रिम बुद्धिमत्ता का सबसे सामान्य रूप है। मूल रूप से, यह आउटपुट पर आमतौर पर

नाइलीनियर ट्रांस्फर फंक्शन के साथ कृत्रिम न्यूरॉन्स का परस्पर संबंध है। एक तंत्रिका नेटवर्क आगे या फीड फीड किया जा सकता है (या आवर्तक) प्रकार। एक फीड फॉरवर्ड मल्टी-लेयर नेटवर्क में इनपुट लेयर, आउटपुट लेयर और एक या एक से अधिक छिपी हुई न्यूरॉन्स की परतें होती हैं। नेटवर्क को कई इनपुट-आउटपुट मिलान पैटर्न उत्पन्न करने के लिए प्रशिक्षित किया जाता है। प्रशिक्षण ऑफ-लाइन, ऑन-लाइन या दोनों का संयोजन हो सकता है। पावर इलेक्ट्रॉनिक्स और ड्राइव में विभिन्न नियंत्रण और सिग्नल प्रोसेसिंग अनुप्रयोगों में तंत्रिका नेटवर्क का उपयोग किया गया है। इन अनुप्रयोगों में से कुछ हैं: एक या बहु-आयामी नॉनलेयर फंक्शन पीढ़ी, पीडब्लूएम नियंत्रण, तरंगों का शून्य चरण शिफ्ट हॉर्मोनिक फिल्टरिंग, तरंग एफएफटी हस्ताक्षर विश्लेषण, ऑन-लाइन डायग्नोस्टिक्स, मशीन का प्रत्यक्ष या उलटा नॉनलाइन मॉडल अनुकरण, मॉडल संदर्भित अनुकूली नियंत्रण (एमआरएसी), ड्राइव आदि के व्युत्क्रम गतिकी नियंत्रण, तंत्रिका नियंत्रण के लिए, पौधे के एप्रीओरी गणितीय मॉडल आवश्यक नहीं हो सकते हैं। वास्तव में, प्लांट डेटा उच्च प्रदर्शन नियंत्रण के लिए प्रत्यक्ष या व्युत्क्रम मॉडल का अनुकरण कर सकता है[14,15]।

नॉनलाइनियर लोड डायनैमिक्स वाला ड्राइव टॉर्क कंट्रोल सिग्नल को स्वीकार करता है और आउटपुट के रूप में स्थिति देता है। नॉनलाइनर प्लांट के परीक्षण डेटा का उपयोग तंत्रिका मॉडल को उलटा मॉडल बनाने के लिए प्रशिक्षित करने के लिए किया जा सकता है। यदि मॉडल ज्ञात हो तो सिमुलेशन डेटा को प्रशिक्षण के लिए उपयोग किया जा सकता है। व्युत्क्रम मॉडल का उपयोग चालन प्रणाली की गतिशीलता और गैर-शुद्धता को रद्द करने और खुले लूप डेडबीट नियंत्रण प्रदर्शन प्राप्त करने के लिए संयंत्र के साथ श्रृंखला में किया जाता है। संयंत्र में पैरामीटर भिरनता की समस्या हो सकती है। इसलिए, सुधार के लिए एक प्रतिक्रिया लूप जोड़ा जाता है। त्रुटि संकेतों का उपयोग नेटवर्क के ऑन-लाइन प्रशिक्षण के लिए भी किया जा सकता है। एक ही नियंत्रण सिद्धांत को मजबूत प्रदर्शन प्राप्त करने के लिए आंतरिक युग्मन के साथ कई डिग्री-स्वतंत्रता रोबोट मैनिपुलेटर में बढ़ाया जा सकता है। बेहतर प्रदर्शन प्राप्त करने के लिए मॉडल रेफरिंग अनुकूली नियंत्रण को एक व्युत्क्रम गतिशीलता आधारित नियंत्रण प्रणाली पर भी लागू किया जा सकता है।

निष्कर्ष

शोधकर्ताओं ने प्रेरण मोटर्स के लिए उन्नत गति नियंत्रण विधियों को विकसित करने में महत्वपूर्ण योगदान दिया है, जैसा कि इस लेख में संक्षेप में बताया गया है। यह वेक्टर नियंत्रण, प्रत्यक्ष टोक़ नियंत्रण, अनुकूली और कुशल नियंत्रण, और प्रेरण मोटर गनत नियंत्रण के लिए कृत्रिम बुद्धि नियंत्रण पर केंद्रित है। यह पत्र इन नियंत्रण योजनाओं में मूलभूत अवधारणाओं और हाल के घटनाक्रमों पर अच्छी तरह से चर्चा करता है। गति और प्रवाह लिंकेज वेक्टर की सटीकता वेक्टर नियंत्रण प्रेरण ड्राइव की दक्षता के लिए महत्वपूर्ण है। प्रत्यक्ष टोक़ नियंत्रण (डीटीसी) का एक सरल कार्यान्वयन और एक त्वरित गतिशील प्रतिक्रिया है; इसके अतिरिक्त, एक समन्वय परिवर्तन, वर्तमान नियामक और अलग वोल्टेज मॉड्यूलेशन ब्लॉक की कमी डीटीसी को सबसे सामान्य नियंत्रण विधि बनाती है। फजी लॉजिक और न्यूरल नेटवर्क दो नए नियंत्रण विधियां हैं जो भविष्य के अध्ययन के लिए एक पेचीदा एवेन्यू प्रदान करती हैं। पैरामीटर अनिश्चितताओं के साथ गैर-रेखीय प्रणालियों से निपटने की अपनी क्षमता के कारण जो एक पारंपरिक गैर-गूढ़ नियंत्रक के साथ आसानी से नियंत्रित नहीं किया जा सकता है, फजी लॉजिक आधुनिक प्रेरण मोटर ड्राइव अनुप्रयोगों के लिए गति नियंत्रकों को डिजाइन करने में एक आम उपकरण बन गया है। हालांकि अभी समस्याओं की जांच की जा रही है, स्लाइडिंग मोड कंट्रोल को सामान्य नियंत्रण प्रणाली के रूप में अच्छी तरह से विकसित किया गया है, और नियंत्रण पेशेवर तेजी से इसकी व्यवहार्यता को पहचानते हैं। स्लाइडिंग मोड कंट्रोल नियंत्रण प्रणालियों की एक विस्तृत श्रृंखला पर लागू होता है, जहां कोई अन्य डिजाइन दृष्टिकोण उपयोग करने योग्य नहीं हैं। औद्योगिक इलेक्ट्रॉनिक्स के कई व्याहारिक क्षेत्रों में, स्लाइडिंग मोड कंट्रोल ने विशेष रूप से प्रदर्शन किया है। इस विषय पर साहित्य की गहन समीक्षा ने विषय की गहन समझ प्रदान की है।

संदर्भ

1. Krause P C, Wasynczuk O, & Sudhoff S D, *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. (2010).
2. K *Zeb et al*., "Robust speed regulation of indirect vector control induction motor using fuzzy logic controllers based on optimization algorithms," *Electr. Eng*., **100** (2) pp, (2018) 787-802 doi: 10.1007/s00202-017-0553-z.
3. Bose B K, *Power Electronics and Variable Frequency Drives* (2010).
4. Odhano S A, Bojoi R, Boglietti A, Rosu S G, & Griva G, "Maximum efficiency per torque direct flux vector control of induction motor drives," *IEEE Trans. Ind. Appl*., **51**(6) pp. 4415-4424. 2015, doi: 10.1109/TIA.2015.2448682.

5. Eftekhari S R, Davari S A, Naderi P, Garcia C, & Rodriguez J, "Robust Loss Minimization for Predictive Direct Torque and Flux Control of an Induction Motor with Electrical Circuit Model," *IEEE Trans. Power Electron*., **35**(5), pp. 5417-5426, (2020), doi: 10.1109/TPEL.2019.2944190.
6. Manohar M & Das S, "Current Sensor Fault-Tolerant Control for Direct Torque Control of Induction Motor Drive Using Flux-Linkage Observer," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, **13**(6), (2017)pp. 2824-2833 2017 doi: 10.1109/TII.2017.2714675.
7. Zerdali E, "A Comparative Study on Adaptive EKF Observers for State and Parameter Estimation of Induction Motor,"*IEEE Trans. Energy Convers*., **35**(3), pp (2020) 1443-1452. doi: 10.1109/TEC.2020.2979850.
8. Chen C, "Self-tuning PID Control of Induction Motor Speed Control System Based on Diagonal Recurrent Neural Network," *Int. J. Control Autom*., **8** (10) (2015) pp. 321-334. doi: 10.14257/ijca.2015.8.10.30.
9. Zair M & Hazzab A, "MRAS Speed Sensorless Vector Control of Induction Motor Drives using Predictive Adaptation Mechanism,"*Int. J. Power Electron*. Drive Syst., **9**(4), (2018) p. 1523, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i4.pp1523-1533.
10. Devanshu A, Singh M, & Kumar N, "Sliding Mode Control of Induction Motor Drive Based on Feedback Linearization," *IETE J. Res*., **66**(2), (2020) pp. 256-269. doi: 10.1080/03772063. 2018.1486743.
11. Panchade V M, Chile R H, & Patre B M, "A survey on sliding mode control strategies for induction motors," *Annual Reviews in Control*, **37** (2) (2013) pp. 289-307. doi: 10.1016/j.arcontrol.2013.09.008.
12. Bose B K, "Expert System, Fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control," *Proc. IEEE*, **82** (8), (1994) pp. 1303-1323. doi: 10.1109/5.301690.
13. Guillemin P, "Fuzzy logic applied to motor control," *IEEE Trans. Ind. Appl*., **32** (1) (1996) pp. 51-56. doi: 10.1109/28.485812.
14. Mohanapriya P & Umadevi K, "Direct Torque Control of Three Phase Induction Motor using Neaural Network-Fuzzy Logic Techniques," *Int. J. Dev. Res*., **8** (1) 2018) pp. 18233-18239.
15. Douiri M R & Cherkaoui M, "Comparative study of various artificial intelligence approaches applied to direct torque control of induction motor drives," *Front. Energy*, **7** (4) (2013) pp. 456-467. doi: 10.1007/s11708-013-0264-8.