



SUN'IY INTELLEKTDAN FOYDALANIB SANOAT KORXONALARI ELEKTR YURITMASINI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH

Xudayberdiyev Otabek Talipovich

Mas'uliyati cheklangan jamiyat shaklidagi "TTT-AUDIT" Auditorlik

tashkiloti Email: tttaudit@mail.ru

Telefon: +998(33) 000 48 00

Anotatsiya: Elektr yuritmalar sanoat jarayonlarining uzluksizligini belgilovchi asosiy element bo'lib, ularning holati bo'yicha to'liq va ishonchli diagnostika usullarini qo'llash muhandislik xavfsizligining ajralmas talabi hisoblanadi. Eksploatatsiya jarayonida yuklamalar o'zgarishi, issiqlik rejimining buzilishi va mexanik qismlarning eskirishi oqibatida turli xil nuqsonlar vujudga keladi; ushbu jarayonlarning dinamik tabiati nosozlikni aniqlash masalasini murakkablashtiradi. Tadqiqotda elektr yuritmalarda paydo bo'ladigan xatoliklarni fazoviy va vaqtinchalik tok o'lchovlari orqali aniqlashning zamonaviy yondashuvlari tahlil qilinadi. Uch fazali asinxron motorlar sanoatda eng ko'p qo'llanilishi sababli, aynan ular uchun tipik elektr va mexanik nosozliklarning matematik belgilari aniqlangan, amplituda-spektral xususiyatlar orqali aniqlash mezonlari ishlab chiqilgan, bunda diagnostika natijalari real yuklama ostida tekshirilishi ilmiy asosga ega bo'lishi ta'kidlanadi. Sun'iy intellektga asoslangan baholash usullarining ustunligi shundaki, ular signallarning noaniqligi va shovqin bilan buzilgan holatlarida ham yashirin bog'lanishlarni aniqlash imkonini beradi. Shu munosabat bilan, tok signallaridan diagnostik xususiyatlarni ajratish algoritmi ishlab chiqilib, sun'iy neyron tarmoqlar yordamida nuqsonlarni sinflashtirish modeli taklif etilgan. Model kirish parametrlarining fizik mazmuni, xatoliklarni baholash ko'rsatkichlari va aniqlik darajasi bo'yicha izohlar talab etiladi (mavjud standartlarga havola kiritilishi lozim). Olingan natijalar elektr yuritmalarning eksploatatsion ishonchliligi, xizmat muddati va texnik xizmat ko'rsatish strategiyasini



optimallashtirishga ta'siri nuqtai nazaridan baholangan bo'lib, amaliy joriy etish sharoitlarida diagnostika muammolarining dolzarbligi asoslanadi.

Kalit so'zlar: Elektr yuritma, suniy neyron tarmoq, Deep Lear, elektr nosozliklar.

KIRISH.

Sanoatda elektr yuritmalar uzluksiz ishlashiga tayangan bo'lib u o'z navbatida texnik soxalarni qamrab olgan. Uzluksizlikni ta'minlashda nosozliklarni prognozlash va ularni boshqarish texnologiyasini joriy etish uskunaning xavfsiz ishlashini ta'minlashning muhim yo'nalishidir [1], [2], [3]. Elektr yuritmada mavjud bo'lgan asinxron motorda yuzaga keladigan bir nechta nosozliklarni aniqlash mumkin, bu elektr yuritmada katta quvvat yo'qotishlarini va yuqori energiya sarfini oldini oladi. Nosozliklar mavjudligini bilish uchun uch fazali asinxron motorning turli xil kirish signallaridan turli xarakteristikalar olish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bundan tashqari, elektr tizimining ishonchligini, ish faoliyatini, xatolarni aniqlashning aniqligini va tizimdan foydalanish tezligini oshirish uchun uch fazali asinxron motorning ish xususiyatlariga ko'ra bir nechta nosozliklarni tasniflash mumkin. Shuni takidlash kerakki arzon narxlardagi, chidamlilik, yuqori quvvat-og'irlik nisbati va mukammal energiya konvertatsiya qilish tezligi bo'lgan motor asta-sekin turli sohalarning asosiy yuritma tizimiga aylandi.

Motorning o'ta yuklamada ishlashi yoki to'satdan xizmat ko'rsatishning to'xtatilishi butun ishlab chiqarish tizimining xavfsizligiga jiddiy xavf tug'dirishi va dvigatelning o'ziga zarar etkazishdan tashqari, katta ishlab chiqarish yo'qotishlariga olib kelishi mumkin [4]. Elektr yuritmalarni nosozliklarini o'z vaqtida baholash, asosiy komponentlarni qachon almashtirish, tezlikni rostlash, ishdan chiqish sabablarini oldindan aniqlash va pragnoz qilish konsepsiyasini ishlab chiqish zarurdir. Bunda elektr yuritma tizimi qo'llanilish soxasiga ko'ra birnechta nosozlik tasnifini izoxlash zarur.



Statistik ma'lumotlarga ko'ra, dvigatelning nosozlik ehtimoli shamol turbinalari uchun taxminan 22,8%, ko'mir qazib olish mashinalari uchun taxminan 19,78% va drenaj nasoslari uchun taxminan 26,85% ni [5] to'quv mashinalari uchun 19,85% ni [6] tashkil qiladi. Shu asosida elektr yuritmalarni ishlash ishonchliligini oshirish va nosozliklarni oldindan aniqlashni intellektual usulini joriy qilish muhim xisoblanadi.

Intellektual tizim sifatida hozirda Deep Learning keng qo'llanilmoqda va ko'plab real vaqtda ishlovchi tizimlar, jumladan, energetika, transport, kimyo sanoati va avtonom transport vositalarini o'zgartirish jarayonida. Tizimni ishonchli ishlashini taminlash asosida apparat iste'molini, shuningdek, xar qanday ko'rsatkichni sozlash bilan juda yaxshi parallel hisoblash ko'rsatkichlariga erishishi mumkin [7], bu real vaqtda olingan ma'lumotlar asosida neyron tarmoqlarga xos bo'lgan parallel xususiyatlar, diagnostika qilishning texnik xususiyatini xisobga olib ularning quvvat iste'molini, nosozliklar tasnifini olish uchun juda mos keladi.

Elektr yuritmalarda su'niy intellektlar uning model xajmini kamaytirish orqali oldindan bashorot qilish aniqligini oshirishga asoslanadi. Ko'pincha neyron tarmoqlar yuqori unumli boshqarish uchun ma'lumotlarni to'plash va kerakli nuqtada qaror qabul qilish bilan tasniflanadi. So'nggi bir necha yil ichida tadqiqot harakatlari asta-sekin intellektual tendensiyalarni soddalashtirish orqali qo'llash boshlandi [8]-[11].

Ma'lumki, real ish vaqtida elektr yuritma dvigatelining joriy signali faqat quvvat manbai chastotasini o'z ichiga oladi. Dvigatelning buzilishi vosita ichidagi havo bo'shlig'ining magnit maydonini va momentni o'zgartiradi va shu bilan stator tok signalida garmonika hosil qiladi. Bu garmonika orqali su'niy neyron tarmoq strukturasi namoyon bo'ladi. Ya'ni undagi o'zgarish orqali dvigatelni buzilishi aniqlash mumkindir. Ammo bu bir muncha qiyinchiliklar tug'diradi.



Shuni takidlash kerakki Elektr yuritmalarda nosozliklarni intellektual usulda aniqlashda uch boshqichli xolat ko'rib chiqiladi.

Elektr nosozliklarda elektr parametirlarni tahlili va o'lchov natijalari asosida yuzaga keladigan nosozliklar tasnifini aniqlash ko'riladi. 1-jadvalda keltirilgan elektr nosozliklar tasnifidan ko'rish mumkinki unda eng yuqori uchrash ehtimoli kuzatiladi. Elektr nosozlikning yuzaga kelishi 2-rasmda ko'rsatilganidek, elektr nosozliklariga ajratilganholda doimiy magnit xatosi permanent magnet synchronous motorning noyob xato rejimidir. Signallarni qayta tahlili asosida elektr yuritma dvigatelining noto'g'ri diagnostikasi sanoat mexanizimlarida yuzaga keladigan nosozliklarni ushbu maqolada tahlili keltiriladi, shu jumladan mexanik nosozligi, singan rotor paneli, stator cho'lg'amlarining burilishlararo qisqa tutashuvlari va havo bo'shlig'i natijasidagi nosozliklar aniqlanadi.

1-jadval

Sanoat elektr yuritmalarini prognozlash uchun uning nosozliklar tasnifi

Elektr yuritmadagi nosozlik				
Tarmoq orqali nosozlik	Dvigatelning nosozligi	Kontrol tizimining nosozligi	Quvvat manbai nosozligi	Mexanik nosozliklar
Tarmoq simining uzilishi	Uzoq muddat ishlashi	Nazorot dachigini ishdan chiqishi	Qo'shimcha ta'minotni kuchsizlanishi	Uchatmalarni yemirilishi va sinishi
Transformator tomonidan kuchlanish	Xaddan tashqari qizishi	Nazorot platasini ishdan chiqishi	Invertorni noto'g'ri ishlashi	Mexanik yuklamani ortishi Tezlikni xaddan ziyot ortishi va

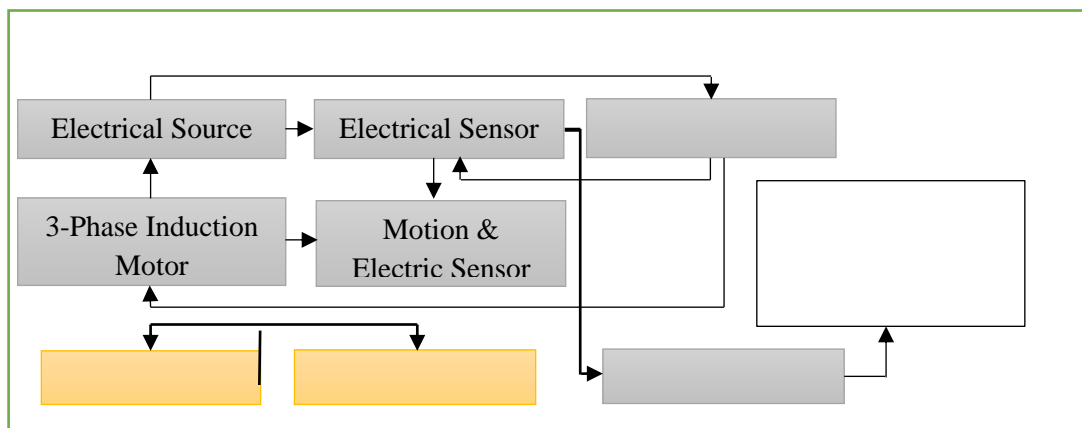


ni ortishi	natijasida	belgilangan
yoki	buyruqni o'zi	normada
pasayishi	qabul qilishi	ishlamasligi

1-jadvalda keltirilgan nosozliklar elektr yuritma nosozligi xisoblanib undagi dvigatel nosozligi uzoq muddatli va xaddan tashqari qizishi orqali yuzaga kelishidan tashqari asosiy tasnif uning elektr va mexanik nosozliklari asosida prognozlashadi. Bu esa qo'llaniladigan su'niy intellektual tizimni ishini osonlashtiradi. Shuni takidlash kerakki nosozlik turi aloxida dastur va algoritmni talab qiladi.

Elektr yuritma nosozligini aniqlash algoritmi

Elektr yuritma nosozligini aniqlash albatda model orqali va uning algoritmi prognoz qilishga asoslanadi. Undagi bir nechta nosozlikni prognozlash asosida uning samaradorlik ko'rsatkichini va yashovchanligini oshirishga imkon beradi. Elektr yuritma nosozligini aniqlash algoritmi kirish parametrlariga bog'liq xolda tuzib chiqiladi. Ya'ni kirish parametrlari sifatida biz nosozlikga olib keluvchi ko'rsatkichlarni olamiz. Bu esa algoritm nima asosida tuzilishini ifodalaydi. Algoritm elektr nosozlik va mexanik nosozlikni ajratish va nazorot sensori orqali olingan ma'lumotlar asosida ishlab chiqiladi. 1-rasmda keltirilgan struktura sxemada algoritmning boshlangich xolati shakilantirilib elektr va mexanik nosozlikni yuzaga kelishi tahlili o'tkaziladi.





1-rasm. Elektr yuritma tizimining o'zgaruvchan tok mashinasida
nosozliklar tasnifining struktura sxemasi

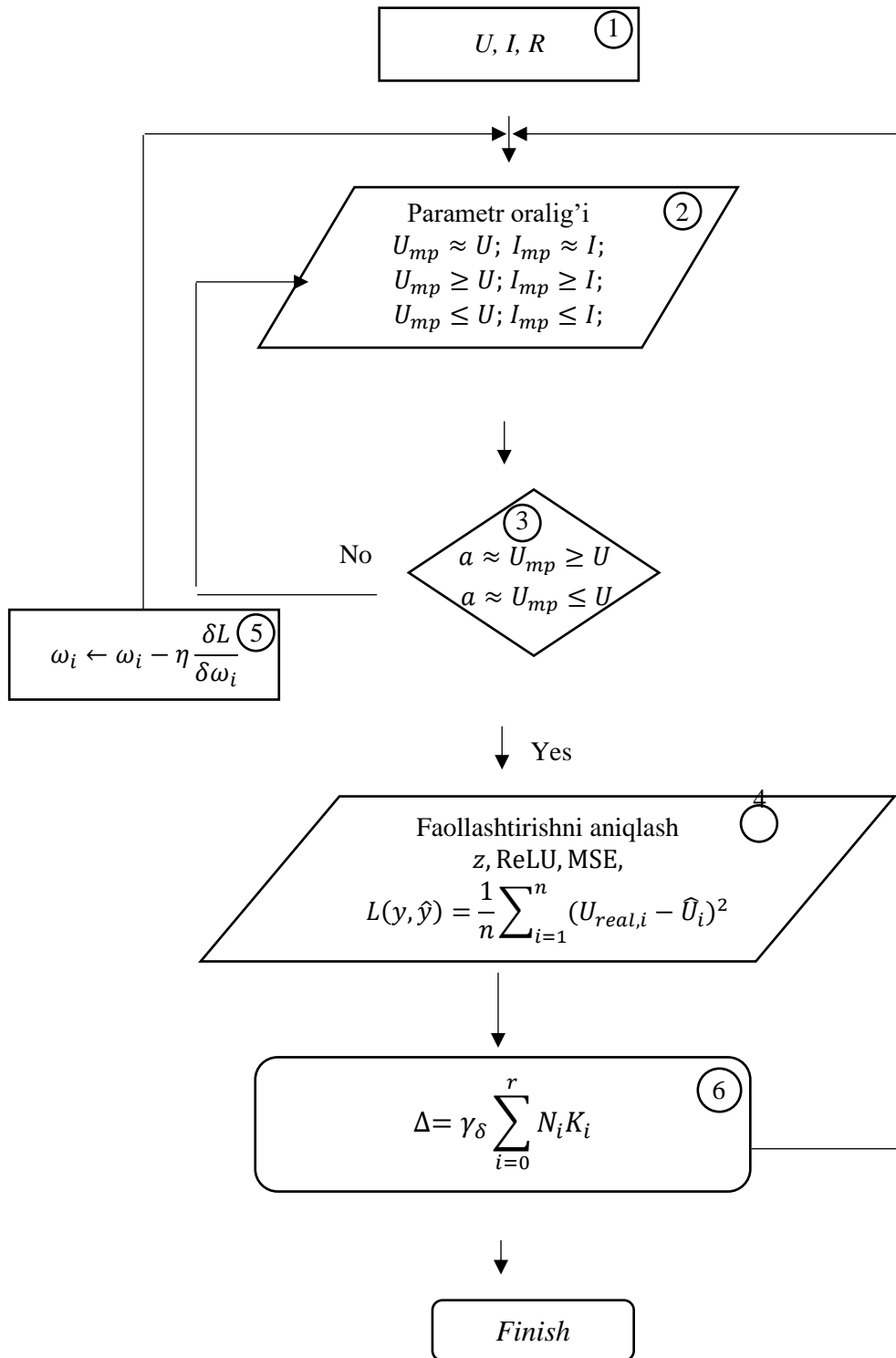
Bunda inson omili intellektual tizimni shakillantirishda va kirish parametrlarini belgilab berishda hizmat qiladi. Lekin to'liq tizimda ishtirok etmaydi. Algoritmni tashkil qilishda 1-rasmga asosan nosozliklarni yuzaga kelishi extimolligini diagnostika vositalari orqali olingan natijalarni signal ko'rinishida keltirishdan boshlaymiz. Ilk navbatda tarmoq parametrlarini o'lchash yoki oraliq diapozonini belgilashdan kiritamiz bunda $U_{mp} = [(-25 \div 25)\%]$, tok qiymatini $I_{mp} = [(-15 \div 15)\%]$ ni belgilaymiz. Tarmoq parametrlarini kiritishda signal asosida yo'naltirishda intellektual usulni qo'llaymiz. Bunda signalni optimallashtirish va uni faollashtirish funksiyasini aniqlash zarur, shu sababli faollashtirish funksiyasi kirishda kuchlanish va tokni normalizatsiya qilishda Tanh funksiyasi ijobiy va salbiy tomonlarini aniqlashda yaxshi xisoblanadi. Bunda:

$$\tanh = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = Value \quad (1)$$

Su'niy intellektni qo'llashda esa Leaky Relu funksiyani qo'llash maqsadlidir, bunda:

$$ReLU(x) = \max(\alpha x, x) = Value \quad (2)$$

Yuqoridagi formulani xisobga olib undagi α kichik ijobiy son sifatida kiritiladi. Bu esa ishlatilmaydigan neyronlarni chiqarib yuborib, qabul qiluvchiga kam sonli aniq ma'lumot yetkaziladi.



2-rasm. Faollashtirish darajalari asosida nosozlikni aniqlash va ishdan chiqish extimolligini prognoz qilish algoritmi



2-rasmda keltirilgan algoritmda asosiy maqsad kiritilgan parametrlarda nosozlikni aniqlash (mavjud/yo'q), olingan ma'lumotlar tahlil qilinadi, va nosozlik mavjud bo'lgan oraliq bo'yicha ma'lumot tayyorlayda va model yaratish uchun su'niy neyron tarmoq parametrlarini belgilaydi. Algoritmning 1 buyrug'ida kirish parametrlari belgilanadi va bu elektr parametr sifatida U -tarmoq kuchlanishi (v), I -tok (A), R -turli xolatdagi qarshiliklar (Om), mexanik holatda M -moment (nm), n (ayl/min), t -xarorat ($^{\circ}C$) va boshqa ko'rsatkichlar kiritiladi. Algoritmning 2 parametr oralig'i qismida kiritilgan parametrning oraliq qiymatlari kiritiladi va shartni bajarish uchun keyingi bosqichga yo'naltiriladi. Bunda olingan kuchlanish va tok oraliqlari nosozlikka olib kelishi mumkin bo'lgan qiymatni aniqlash imkonini beradi. Shu asosida 3 bosqichda shart kiritiladi. Aytaylik o'lchangan kuchlanish qiymati birinchi xolatda 1.2% ga ikkinchi holatda 5.6% ga uchinchi 0.8 % ga oshgan. Bu esa elektr yuritmaga qanday ta'sir ko'rsatishi va nosozlikka olib kelishi mumkinligini aniqlash imkonini beradi. Shart esa faollashtirish funksiyasida xisoblarni aniqlashga kirishadi. Shuni takidlash kerakki $a \approx U_{mp} \leq U$ va $a \approx U_{mp} \leq U$ shartlar belgilangan oraliqda oshgandagina nosozlikka olib kelish extimoli borligini xisobga oladi. Faollashtirishni aniqlash 3 bosqich orqali jarayon qaytuvchi yoki qaytish extimoli yo'qligi aniqlanadi. Aniqlash natijasida ishlab chiqilgan algoritm ma'lumot yeg'adi. Ma'lumotlarni qayta ishlash uchun 1 bosqichga qayta yo'naltiriladi, bunda parametr o'zgarishi ma'lumotlarini qayta va qayta o'qitiladi va ye'iladi. Bu esa su'niy neyron tarmoqga kirish holatini ishonchliligini anglatadi. Algoritmning so'ngida nosozlik oqimi aniqlanib undagi N qurilmadagi nosozlikka olib keluvchi parametr soni K_i ishonchlilik koeffitsenti va γ_{δ} asosiy xolatdagi ishlamay qolish tezligi asosida aniqlanadi. Algoritmning natijaviy qiymati ma'lumotlar omborida saqlanadi va keyingi bosqichga ma'lumot yeg'iladi.

a) Algoritm natijasini baholash



Algoritmda kutilgan natijani baholash uchun kiritilgan ma'lumotni xaqiqiylikini aniqlash zarur. Bunda elektr yuritmani nosoz holatga kelishini prognoz qilishning asosiy bosqichida 2-jadvalda keltirilgan qiymatlar asosida tahlil qilamiz. Tahlil esa intellektual yondashuvni xisobga olgan holda su'niy neyron tarmoq orqali izohlanadi.

2-jadval

Algoritmgaga kirishdagi o'lchangan qiymatlar

U (V)	I (A)	M (N·m)	n (ayl/min)	z	ReLU(z)	MSE
280	11.2	32	1440	0.249	0.249	7.61
295	12.0	35	1420	0.296	0.296	7.32
265	10.5	28	1460	0.201	0.201	7.84
310	13.1	40	1410	0.372	0.372	6.90
365	14.8	47	1390	0.500	0.500	6.25
290	11.8	34	1450	0.277	0.277	7.39
380	15.5	50	1370	0.565	0.565	5.93

Bu ma'lumotlarni qayta baholash uchun matlab dasturi imkoniyatidan foydalanamiz. Bunda su'niy neyrin tarmoqni o'qitish, olingan qiymatlarni ishonchliligini oshirish maqsadida ushbu parametrlarga tasodifiy qiymatlar berildi, lekin ularni haqiqiy o'lchangan qiymatlar bilan almashtirish maqsadga muvofiqdir. ReLU Aktivatsiya funksiyasi: $\max(0, x)$ usulida aktivatsiya funksiyasini hisoblash uchun oddiy misol xolatida ko'rib, MSE yo'qotish funksiyasi: Neyron tarmoqning ishlashini baholash uchun yo'qotish funksiyasini qo'shdik. Bunda neyron tarmoq vizualizatsiyasi xolatida quydagicha tasniflandi (3-rasm).



```
% Sun'iy neyron tarmoqni yaratish
hiddenLayerSize = 10; % Yashirin qatlamdagi neyronlar soni
net = feedforwardnet(hiddenLayerSize);
net.performParam.regularization = 0.1; % L2 regularizatsiya

% Tarmoqni o'qitish
[net, tr] = train(net, XTrain, YTrain);

% Prognoz qilish
YPred = net(XTest);
YPred = round(YPred);

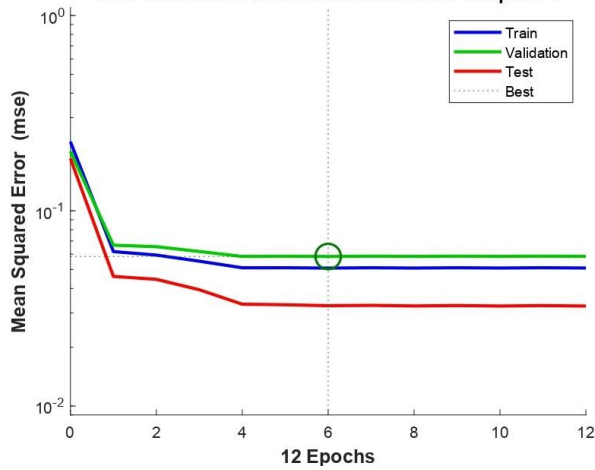
% Natijalarni baholash
accuracy = sum(YPred == YTest) / numel(YTest);
fprintf('Accuracy: %.2f\n', accuracy);
confMat = confusionmat(YTest, YPred);
disp('Confusion Matrix:');
disp(confMat);

% Neyron tarmoqni vizualizatsiya qilish
view(net);

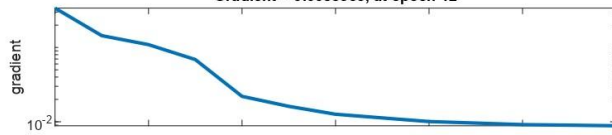
% Training, Validation, Test grafikasini chiqarish
figure;
plotperform(tr);
```



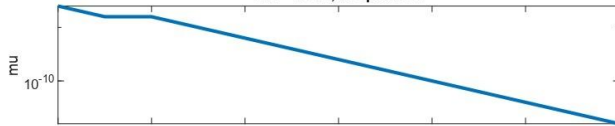
Best Validation Performance is 0.058319 at epoch 6



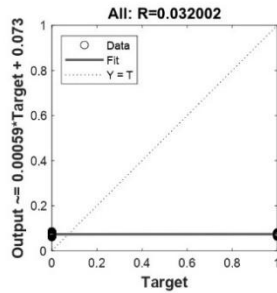
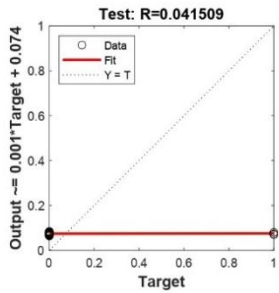
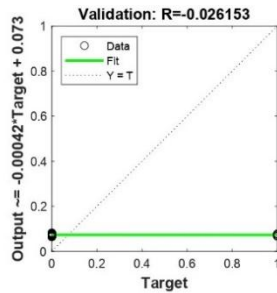
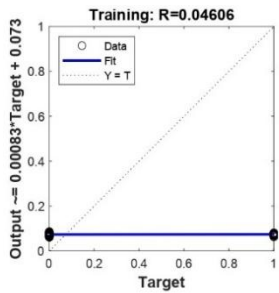
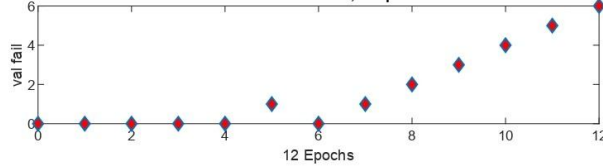
Gradient = 0.0088339, at epoch 12



Mu = 1e-14, at epoch 12



Validation Checks = 6, at epoch 12





3-rasm. Algoritmni baholash natijasi

I. Elekt yuritma nosozligini aniqlashning matematik modellashtirish

Elektr yuritma nosozligini aniqlashning matematik tahlili turli xil yondashuvlarni o'z ichiga olishi mumkin [12]. Quyida elektr yuritma nosozligini aniqlash jarayonini matematik asosda ko'rib chiqamiz. Bunda yuqoridagi algoritm natijalarini xisobga olgan xolda texnik tomonini xisobga olamiz. Ya'ni kuchlanish, tok, moment va tezlikni oraliq diopozinida ttasodifiy qiymatlarni qabul qilgan xolda real vaqtda olingan qiymatlarga yaqinlashtiramiz.

Manbalar

1. Martinez-Herrera, A.L., Ferrucho-Alvarez, E.R., Ledesma-Carrillo, L.M., Mata-Chávez, R.I., Lopez-Ramirez, M., & Cabal-Yépez, E. (2022). Multiple Fault Detection in Induction Motors through Homogeneity and Kurtosis Computation. *Energies*.
2. Brito, L.C., Susto, G., Brito, J.N., & Duarte, M.A. (2021). An Explainable Artificial Intelligence Approach for Unsupervised Fault Detection and Diagnosis in Rotating Machinery. *ArXiv, abs/2102.11848*.
3. Gámez Medina, J.M., de la Torre y Ramos, J., López Monteagudo, F.E., Ríos Rodríguez, L.D., Esparza, D., Rivas, J.M., Ruvalcaba Arredondo, L., & Romero Moyano, A.A. (2022). Power Factor Prediction in Three Phase Electrical Power Systems Using Machine Learning. *Sustainability*.
4. Abdelhady, S., Osama, A., Shaban, A., & Elbayoumi, M. (2020). A Real-Time Optimization of Reactive Power for An Intelligent System Using Genetic Algorithm. *IEEE Access*, 8, 11991-12000.
5. Ibrahim, A., Anayi, F.J., Packianather, M.S., & Alomari, O.A. (2022). New Hybrid Invasive Weed Optimization and Machine Learning Approach for Fault Detection. *Energies*.



6. Abaza, A., El-Sehiemy, R.A., Said, M., Ghoniem, R.M., & Barakat, A.F. (2022). Implementation of an Electronically Based Active Power Filter Associated with a Digital Controller for Harmonics Elimination and Power Factor Correction. *Electronics*.
7. Zhang, Y., & Srivastava, A.K. (2021). Voltage Control Strategy for Energy Storage System in Sustainable Distribution System Operation. *Energies*.
8. Mahmoud, R.A., & Emam, A. (2022). Coherence-based automatic power factor correction (APFC) algorithm for power grids. *The Journal of Engineering*.
9. Toma, R.N., Prosvirin, A.E., & Kim, J. (2020). Bearing Fault Diagnosis of Induction Motors Using a Genetic Algorithm and Machine Learning Classifiers. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20.
10. Skowron, M., Orłowska-Kowalska, T., Wolkiewicz, M., & Kowalski, C.T. (2020). Convolutional Neural Network-Based Stator Current Data-Driven Incipient Stator Fault Diagnosis of Inverter-Fed Induction Motor. *Energies*.
11. Ribeiro Junior, R.F., de Almeida, F.A., & Gomes, G.F. (2020). Fault classification in three-phase motors based on vibration signal analysis and artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 1-19.
12. Kolar, D., Lisjak, D., Pająk, M., & Gudlin, M. (2021). Intelligent Fault Diagnosis of Rotary Machinery by Convolutional Neural Network with Automatic Hyper-Parameters Tuning Using Bayesian Optimization. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21.
13. Arcelik A.S.; Ahmet Duyar, MODEL-BASED FAULT DETECTION SYSTEM FOR ELECTRIC MOTORS Patent Number: 6,014,598



14. Quinde, I.R.; Sumba, J.C.; Ochoa, L.E.; Guevara, A.V., Jr.; Morales-Menendez, R. Bearing Fault Diagnosis Based on Optimal Time-Frequency Representation Method. *IFAC-PapersOnLine* **2019**, *52*, 194–199. [[CrossRef](#)]

15. Rahman, M.M.; Uddin, M.N. Online Unbalanced Rotor Fault Detection of an IM Drive Based on Both Time and Frequency Domain Analyses. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2017**, *53*, 4087–4096. [[CrossRef](#)]

16. Tahir, M.M.; Hussain, A.; Badshah, S.; Khan, A.Q.; Iqbal, N. Classification of Unbalance and Misalignment Faults in Rotor Using Multi-Axis Time Domain Features. In Proceedings of the 2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET), Islamabad, Pakistan, 18–19 October 2016; pp. 1–4. [[CrossRef](#)]

17. Guo, S.; Yang, T.; Gao, W.; Zhang, C. A Novel Fault Diagnosis Method for Rotating Machinery Based on a Convolutional Neural Network. *Sensors* **2018**, *18*, 1429. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

18. Burnett, R.; Watson, J.F.; Elder, S. The Application of Modern Signal Processing Techniques for Use in Rotor Fault Detection and Location within Three-Phase Induction Motors. *Signal Process.* **1996**, *49*, 57–70. [[CrossRef](#)]

19. Frosini, L.; Bassi, E. Stator Current and Motor Efficiency as Indicators for Different Types of Bearing Faults in Induction Motors. *IEEE Trans. Ind. Electron.* **2010**, *57*, 244–251. [[CrossRef](#)]