CHASTOTALI O‘ZGARTIRGICHLAR YORDAMIDA KOMPRESSOR YURITMASINING TEZLIGINI ADAPTIV BOSHQARISH

Bobomurodov Elyor
E-mail: elyor.bobomurodov@inbox.ru
https://doi.org/10.5281/zenodo.24484984

Annotatsiya. Maqolada sanoat kompressorlarining asinxron elektr yuritmasi tezligini chastotali o‘zgartirgich yordamida adaptiv boshqarish usuli ko‘rib chiqiladi. Kompressor – elektr yuritma – pnevmatik tarmoq tizimining matematik modeli keltirilib, skalyar (U/f) va vektor boshqarish usullarining xususiyatlari tahlil qilinadi. Yuklama va tarmoq parametrlari o‘zgaruvchan sharoitda tezlik rostlagichi koeffitsiyentlarini real vaqtda qayta sozlovchi adaptiv tuzilma taklif etiladi. Unda obyekt parametrlarini rekursiv identifikatsiya qilish, kompressorning minimal tezlik va ishga tushirishlar soni bo‘yicha cheklovlarini hisobga olish ko‘zda tutilgan. Adaptiv tezlik boshqaruvi kompressorning salt ishlash rejimini qisqartirishi, bosim tebranishlarini kamaytirishi va solishtirma energiya sarfini pasaytirishi asoslanadi.
Kalit so‘zlar: kompressor, asinxron elektr yuritma, chastotali o‘zgartirgich, adaptiv boshqarish, tezlikni rostlash, identifikatsiya, energiya samaradorligi.

Аннотация. В статье рассматривается метод адаптивного управления скоростью асинхронного электропривода промышленных компрессоров с помощью частотного преобразователя. Приведена математическая модель системы «компрессор – электропривод – пневматическая сеть», проанализированы особенности скалярного (U/f) и векторного управления. Предложена адаптивная структура, перенастраивающая коэффициенты регулятора скорости в реальном времени при изменении нагрузки и параметров сети, с рекурсивной идентификацией объекта и учётом ограничений по минимальной скорости и числу пусков. Обосновано, что адаптивное управление скоростью сокращает режим холостого хода, снижает колебания давления и удельный расход энергии.
Ключевые слова: компрессор, асинхронный электропривод, частотный преобразователь, адаптивное управление, регулирование скорости, идентификация, энергоэффективность.

Abstract. The article considers a method of adaptive speed control of the induction motor drive of industrial compressors using a variable frequency drive. A mathematical model of the “compressor – electric drive – pneumatic network” system is presented, and the features of scalar (V/f) and vector control are analyzed. An adaptive structure is proposed that retunes the speed controller gains in real time as load and network parameters change, using recursive plant identification and taking into account minimum speed and start-frequency constraints. It is shown that adaptive speed control reduces unloaded running, pressure fluctuations and specific energy consumption.

Keywords: compressor, induction motor drive, variable frequency drive, adaptive control, speed control, identification, energy efficiency.

Kirish. Kompressor qurilmalari sanoat korxonalarining eng yirik elektr energiyasi iste'molchilaridan biridir. Kompressorning xizmat muddati davomidagi umumiy xarajatlarida elektr energiyasining ulushi 70–80 % ga yetadi, shuning uchun hatto bir necha foiz tejash ham sezilarli iqtisodiy samara beradi.

An'anaviy "yuklama – yuklamasiz" rejimida ishlovchi kompressor siqilgan havo kerak bo'lmagan paytda ham salt ishlaydi va bunda nominal quvvatining taxminan 20–30 % ini iste'mol qiladi. Iste'mol o'zgaruvchan bo'lgan korxonalarda salt ishlash vaqti umumiy ish vaqtining 30–40 % iga yetishi mumkin. Bundan tashqari, bosim yuqori va quyi chegaralar orasida doimiy tebranadi.

Chastotali o'zgartirgich (ChO') kompressor dvigatelining aylanish tezligini, demak, unumdorligini iste'molga moslab uzluksiz o'zgartirish imkonini beradi. Biroq tezlik rostlagichi odatda bitta ish rejimiga sozlanadi. Tarmoq hajmi, iste'molchilar soni va havo harorati o'zgarganda obyekt dinamikasi o'zgaradi, natijada rostlash sifati va energiya samaradorligi pasayadi.

Tadqiqot maqsadi – chastotali o'zgartirgich asosida kompressor yuritmasi tezligini o'zgaruvchan ish sharoitlariga avtomatik moslashadigan adaptiv boshqarish tuzilmasini ishlab chiqish va uning energiya samaradorligini baholash.

Chastotali boshqarish usullari. Skalyar (U/f = const) usulda kuchlanish chastotaga proporsional o'zgartiriladi; u sodda, ammo past tezliklarda momentni aniq ushlab tura olmaydi. Vektor boshqarishda stator toki magnitlovchi va moment hosil qiluvchi tashkil etuvchilarga ajratilib, ular alohida rostlanadi. Bu past tezliklarda ham yuqori moment va tez dinamik javob beradi, shuning uchun bosim keskin o'zgaradigan pnevmatik tizimlar uchun afzalroq.

Taklif etilayotgan tizim ikki konturli kaskad tuzilmaga ega. Ichki kontur – chastotali o'zgartirgichning o'zidagi tezlik (yoki moment) rostlagichi – tez jarayonlarni boshqaradi. Tashqi kontur – adaptiv bosim rostlagichi – tarmoq bosimiga qarab tezlik topshirig'i n_ber ni shakllantiradi va obyekt xususiyatlari o'zgarganda o'z koeffitsiyentlarini qayta sozlaydi.

Rostlagich koeffitsiyentlarini qayta hisoblash. Olingan baholar asosida PI rostlagich koeffitsiyentlari yopiq tizimning talab qilingan qutblarini ta'minlash (qutblarni joylashtirish) usuli bilan hisoblanadi. Shu tariqa tarmoq hajmi yoki yuklama o'zgarsa ham bosimning o'tish jarayoni bir xil sifatda qoladi. Baholangan g'alayon c(k) dan iste'mol o'zgarishini oldindan kompensatsiya qiluvchi to'g'ri bog'lanish signali ham shakllantiriladi.

Algoritm kompressorning ishonchli ishlashi uchun quyidagi shartlarni bajaradi:

• Tezlik minimal chegaradan (odatda nominalning 25–40 %, moyli vintli kompressorlarda moylash va sovutish sharti bo'yicha) pasaymaydi.

• Iste'mol minimal unumdorlikdan ham kam bo'lsa, kompressor to'xtatish rejimiga o'tadi; bunda soatiga ishga tushirishlar soni ishlab chiqaruvchi belgilagan chegaradan oshmasligi nazorat qilinadi.

• Tezlanish va sekinlashish tezligi cheklanadi, integral qismning to'yinishiga qarshi (anti-windup) himoya qo'llaniladi.

• Bir nechta kompressor ishlaganda chastotali boshqariladigan kompressor yuklama o'zgarishini qoplaydi, qolganlari esa asosiy yuklamada to'liq unumdorlikda ishlaydi.

1. Bosim, tezlik va dvigatel quvvatini o‘lchash.
2. REKK yordamida obyekt parametrlari va g‘alayonni baholash.
3. Baholarning ishonchliligini tekshirish (keskin o‘zgarishlarda adaptatsiyani vaqtincha to‘xtatish).
4. PI koeffitsiyentlarini qayta hisoblash va to‘g‘ri bog‘lanish signalini shakllantirish.
5. Cheklovlarni hisobga olib tezlik topshirig‘ini chastotali o‘zgartirgichga uzatish.

Adaptiv tezlik boshqaruvi “yuklama – yuklamasiz” rejimiga nisbatan yiliga taxminan 13 % elektr energiyasini tejaydi (quyidagi hisob misolida ~41 ming kWh). Hisob nominal quvvati 55 kW, yillik ish vaqti 8000 soat, o‘rtacha havo iste’moli unumdorlikning 60 % ini tashkil etadigan vintli kompressor uchun bajarilgan.

Boshqarish usuli	O‘rtacha quvvat, kW	Yillik iste’mol, ming kWh	Tejash, %
Yuklama – yuklamasiz	38,5	308	–
ChO‘ + qat’iy sozlangan PI	34,1	273	11,4
ChO‘ + adaptiv boshqaruv	33,4	267	13,3

Hisob farazlari:

• Yuklama – yuklamasiz rejimida kompressor vaqtning 60 % ida to‘liq quvvatda, 40 % ida salt (nominal quvvatning 25 %) ishlaydi: $0{,}6 \cdot 55 + 0{,}4 \cdot 0{,}25 \cdot 55 = 38{,}5$ kW.

• Chastotali boshqaruvda quvvat unumdorlikka proporsional, chastotali o‘zgartirgichdagi yo‘qotishlar ~3 %: $0{,}6 \cdot 1{,}03 \cdot 55 \approx 34{,}1$ kW.

• Adaptiv boshqaruv bosim tebranishlarini kamaytirgani uchun bosim belgilangan qiymatini qo‘shimcha 0,3 bar pasaytirish mumkin; har 1 bar uchun ~7 % tejash qabul qilinadi: $34{,}1 \cdot (1 - 0{,}3 \cdot 0{,}07) \approx 33{,}4$ kW.

Bundan tashqari, adaptiv boshqaruv ishga tushirishlar sonini kamaytiradi va mexanik zarbalarni yumshatadi, bu podshipniklar, mufta va dvigatel izolyatsiyasining xizmat muddatini uzaytiradi. Iste’moli keskin o‘zgaruvchan korxonalarda (masalan, oziq-ovqat mahsulotlarini qadoqlash liniyalarida) samara yanada yuqori bo‘ladi.

Xulosa

1. Vintli kompressor o‘zgarmas momentli yuklama bo‘lgani uchun chastotali boshqarishdan olinadigan asosiy samara salt ishlash rejimini bartaraf etish va tarmoq bosimini pasaytirish hisobiga erishiladi.
2. Tarmoq hajmi, iste’mol va havo harorati o‘zgarganda obyekt dinamikasi o‘zgaradi, shuning uchun qat’iy sozlangan tezlik rostlagichi barcha rejimlarda optimal ishlay olmaydi.
3. Taklif etilgan kaskad tuzilma – rekursiv identifikatsiya, qutblarni joylashtirish usulida qayta sozlanadigan PI rostlagich va iste’mol bo‘yicha to‘g‘ri bog‘lanish – o‘tish jarayonlari sifatini turli rejimlarda bir xil saqlaydi.
4. Kompressorning minimal tezligi, ishga tushirishlar soni va tezlanish bo‘yicha cheklovlarni algoritmga kiritish uning ishonchli va xavfsiz ishlashini ta’minlaydi.
5. Hisob misolida adaptiv tezlik boshqaruvi “yuklama – yuklamasiz” rejimiga nisbatan elektr energiyasi iste’molini taxminan 13 % ga kamaytirishi ko‘rsatildi; usulni mavjud chastotali o‘zgartirgich va PLC bazasida katta qo‘shimcha xarajatlarsiz joriy etish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasining “Energiyadan oqilona foydalanish to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 1997.
2. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.
3. Leonhard W. Control of Electrical Drives. – 3rd ed. – Berlin: Springer, 2001.
4. Åström K.J., Wittenmark B. Adaptive Control. – 2nd ed. – Reading: Addison-Wesley, 1995.
5. Ljung L. System Identification: Theory for the User. – 2nd ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
6. Saidur R., Rahim N.A., Hasanuzzaman M. A review on compressed-air energy use and energy savings // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14, No. 4. – P. 1135–1153.
7. U.S. Department of Energy. Improving Compressed Air System Performance: A Sourcebook for Industry. – Washington, 2003.