

## CHASTOTA O'ZGARTIRGICHLARNI O'RNATISH VA ULARNING IQTISODIY HAMDA TEXNIK SAMARADORLIGI

**Muminov Doston Botirovich**

*Birinchi rezinotexnika zavodi MCHJ XK*

*Lavozim: Automation Group Team leader, Angren Email : doston.muminov@brz.uz*

*Telefon: +998(94) 930 30 23*

**Annotatsiya:** *Ushbu maqolada sanoat elektr privodlarida keng qo'llanilayotgan chastota o'zgartirgichlar (VFD – Variable Frequency Drive) o'rnatish metodikasi, elektr xavfsizligi talablari, tizim integratsiyasi, shuningdek energiya tejamkorligi, ishonchlilik va jarayonlarni optimallashtirish bo'yicha keltiriladigan texnik va iqtisodiy afzalliklar tahlil qilinadi. Nasos, ventilyator va konveyer kabi amaliy qo'llanmalarda misollar ko'rib chiqilib, investitsiya qaytishi (ROI)ning baholash yondashuvlari keltiriladi.*

**Kalit so'zlar:** *chastota o'zgartirgich, VFD, elektr privod, energiya tejamkorligi, yumshoq ishga tushirish, ROI, avtomatlashtirish.*

### **Kirish**

Chastota o'zgartirgich (CO) — elektr tarmoqlaridagi doimiy 50/60 Gts chastotali kuchlanishni o'zgartirib, AC asinxron yoki sinxron dvigatellarni zarur tezlik va momentda boshqarish imkonini beruvchi elektron qurilmadir. Zamonaviy sanoatda CO'lar nasos, ventilyator, kompressor, konveyer, ekstruder va ko'plab boshqa jarayonlarda energiya sarfini kamaytirish, dinamik boshqaruvni ta'minlash hamda uskunalar umrini uzaytirish uchun standart yechimga aylangan. Ushbu tadqiqotning maqsadi — CO'larni o'rnatishning asosiy talablari va amaliy bosqichlarini yoritish, ularning texnik-iqtisodiy samaradorligini tizimli baholash va tipik sanoat ssenariylari bo'yicha foyda modelini ko'rsatishdir.

#### 2. Nazariy asos va ishlash prinsipi

VFDlarning asosiy arxitekturasi odatda uch blokdan iborat: (i) to'g'rilagich (AC→DC), (ii) DC shinalari (filtr kondensatorlari), (iii) invertor (DC→AC), bunda PWM (Pulse-Width Modulation) yordamida motor o'ramlarida sinusoidalga yaqin kuchlanish hosil qilinadi. Tezlik nisbati  $n \approx f \cdot (60/p)$  formulaga ko'ra tarmoq chastotasini o'zgartirish orqali motor tezligi boshqariladi (bu yerda  $f$  — ta'minlovchi chastota,  $p$  — juft qutblar soni). VFDlar quyidagi rejimlarni qo'llab-quvvatlaydi:  $V/f$  skalyar boshqaruv, vektorli boshqaruv (FOC – Field Oriented Control) va ba'zi hollarda DTC (Direct Torque Control). Vektorli yondashuv momentning aniq nazoratini va past tezliklarda yuqori barqarorlikni ta'minlaydi.

#### 3. O'rnatish metodikasi va integratsiya

3.1. Loyihalash va tanlash: Dvigatel quvvati, nominal tok, yuklama profili (nasos/ventilyatorlarda kvadratik moment, konveyerda deyarli doimiy moment) asosida VFD tanlanadi. Xizmat sharoitlari (chang, namlik, harorat) bo'yicha IP darajasi va sovitish usuli (havo/suyuqlik) aniqlanadi. EMC talablari, kabellar va ekranlash yechimlari ko'zda tutiladi.



3.2. Elektr ulanish: Kirish qismida kuchlanish darajasi va tarmoq himoyasi (AVO, avtomat, sug'urta) tanlanadi. Chiqish tomonda motor bilan masofa, dvigatel kabellari tipiga mos filtrlash (dvigatel izolatsiyasi va  $dv/dt$  ta'sirini kamaytirish uchun sine-filtr yoki  $dv/dt$  filtr) ko'rib chiqiladi. Uch fazali motorlar uchun klemmani yulduz/uchburchakga mos ulash zarur.

3.3. Nazorat va avtomatlashtirish: VFDning boshqaruv interfeyslari (analog 4–20 mA, 0–10 V, raqamli DI/DO, Modbus/Profibus/Profinet/RS-485) orqali KIP va PLC bilan integratsiya qilinadi. PID regulyatorlari yordamida bosim, oqim yoki tezlik yopiq konturda barqaror saqlanadi.

3.4. Xavfsizlik: Elektr xavfsizligi (lockout/tagout), topraklama, RCD/RCBO moslamalari, issiqlik himoyasi va motor termistorlarini (PTC/NTC) ulash. Arc-flash xavfini kamaytirish uchun panel dizayni va selektiv himoya ko'riladi.

3.5. Parametrlash va ishga tushirish: Motor ma'lumotlari (V, I, f,  $\cos\phi$ , rpm) kiritilib, avtoto'g'rilash (auto-tuning) bajariladi. Ramp-up/ramp-down vaqtlar, maksimal/minimal tezlik, moment cheklovi, buzilish holatlari (overcurrent, overvoltage, undervoltage, overtemperature) bo'yicha signalizatsiya sozlanadi.

#### 4. Texnik va ekspluatatsion afzalliklar

- Energiyani tejash: Nasos va ventilyatorlarda yuklama momenti taxminan tezlikning kvadrati bilan ortadi; VFD yordamida ortiqcha tezlikni kamaytirish orqali 20–50% gacha energiya tejash kuzatiladi.

- Yumshoq ishga tushirish: Dvigatelni to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulashdagi yuqori start toki ( $6-8 \times I_n$ ) o'rniga VFD rampali ishga tushirishni ta'minlaydi, mexanik zarbalar va issiqlik stresslari kamayadi.

- Uskuna umrini uzaytirish: Podshipniklar, muftalar va reduktorlarda zarba yuklamalar kamayishi tufayli nosozliklar chastotasi pasayadi.

- Jarayonni boshqarish: Tezlikning aniq nazorati, PID regulyatsiya, masofadan monitoring va diagnostika.

- Tarmoq sifatini yaxshilash: Quvvat omili (PF)ni optimallashtirish, reaktiv quvvat kompensatsiyasi ehtiyojini kamaytirish (ba'zi VFDlarda).

#### 5. Iqtisodiy tahlil va ROI yondashuvi

VFD loyihalarida iqtisodiy samaradorlikni baholash uchun quyidagi yondashuv tavsiya etiladi: (i) Bazaviy energiya iste'moli (kWh)ni o'lchash; (ii) VFD bilan ishlashdagi yangi iste'molni qayd etish; (iii) Farqni tariflar bo'yicha qiymatlash; (iv) Texnik xizmat xarajatlari va nosozliklar kamayishidan keladigan foydani qo'shish; (v) Investitsiya haqiqiy qiymati (CAPEX) va qaytish muddati (Payback)ni hisoblash. Oddiy misol: 30 kW ventilyator yiliga 4000 soat ishlasa va VFD orqali o'rtacha 25% energiya tejalgan bo'lsa, yillik tejalish  $\approx 30 \times 0.25 \times 4000 = 30,000$  kWh. Tarif 1,200 so'm/kWh bo'lsa, iqtisodiy foyda  $\approx 36$  mln so'm/yil, bu CAPEX 100–150 mln so'm bo'lganda 3–5 oy–yildan kamroq paybackni ko'rsatishi mumkin (aniq qiymatlar mahalliy tarif va ish rejimiga bog'liq).

#### 6. Amaliy qo'llanmalar va misollar

- Nasos tizimi: Bosimni klapan bilan bo'g'ish o'rniga VFD yordamida tezlikni boshqarish; kavitatsiya xavfi kamayadi, nasosning BEP atrofi saqlanadi.

- Ventilyator: VFD bilan HVAC tizimlarida dinamik talab bo'yicha havo sarfini rostdash; shovqin va energiya sarfi kamayadi.

- Konveyer: Yumshoq ishga tushirish va sinxronizatsiya; mahsulot oqimida zarbalar kamayadi, sifat oshadi.

- Kompessor: Yuklamani moslash orqali ortiqcha ish va issiqlik chiqishi cheklanadi.

#### 7. Standartlar va eng yaxshi amaliyotlar

- IEC 61800 (Adjustable speed electrical power drive systems) — umumiy talablar va sinovlar.

- IEEE 519 — Garmonik buzilishlar va tarmoq sifatiga qo'yiladigan talablar.

- IEC 60034 — Elektr mashinalar uchun standartlar, izolatsiya va sinovlar.

- Panel va kabel dizayni uchun EMC ko'rsatmalari, ekranlash, topraklama va filtrlash qoidalari.

#### 8. Cheklovlar va xavf tahlili

VFDlar bilan ishlashda ayrim xavflar mavjud: yuqori chastotali PWM natijasida dvigatel izolatsiyasiga yuklama ortishi (ayniqsa eski motorlarda), garmonik toklar tufayli tarmoq sifatining yomonlashishi, EMI/EMC muammolari, uzun kabellar bilan dv/dt kuchayishi, hamda podshipnik toklarining ortishi. Bularni kamaytirish uchun: sine-filtr/dv/dt filtr, ekranlangan kabellar, to'g'ri topraklama, izolyatsiyali podshipniklar, aktiv/passiv garmonik filtrlardan foydalanish tavsiya etiladi.

#### Xulosa

Chastota o'zgartirgichlar sanoat jarayonlarida energiya samaradorligini oshirish, uskunalarning ishonchligini kuchaytirish va boshqaruvni moslashuvchan qilish uchun samarali yechimdir. To'g'ri tanlash, o'rnatish va parametrlarni sozlash orqali nasos, ventilyator, konveyer kabi qo'llanmalarda sezilarli tejash va texnologik afzalliklar qo'lga kiritiladi. Iqtisodiy tahlil ko'rsatadiki, to'g'ri loyihalangan VFD investitsiyalari ko'pincha qisqa payback davriga ega bo'ladi va ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.

#### Adabiyotlar:

- IEC 61800-2/3: Adjustable speed electrical power drive systems — General requirements and EMC.

- IEEE Std 519-2014: Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

- IEC 60034: Rotating electrical machines — Rating and performance.

- Austin Hughes, Bill Drury, 'Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications', Elsevier.

- Bose, B. K., 'Modern Power Electronics and AC Drives', Prentice Hall.