

DOIMY MAGNITLI SINXRON DVGATELLAR: TUZILISHI, ISHLASH PRINSIPI VA ELEKTROMOBILLARDA QO'LLANILISHI

Mutalibov Sirojiddin Abduraximjon o'g'li

Andijon davlat texnika instituti

Avtomobilsozlik va transport fakulteti EM yo'nalishi 4-kurs talabasi

Akmalxonov A.

ADTI, Avtomobilsozlik va transport fakulteti

Avtomobilsozlik va transport kafedrası o'qituvchisi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15696849>

Annotatsiya

Ushbu maqola doimiy magnitli sinxron dvigatellarning (PMSM) elektromobillarda qo'llanilishi, tuzilishi va ishlash prinsipiga bag'ishlangan. Maqolada PMSM'ning stator, rotor va inverterdan iborat tuzilishi, elektromagnit induksiya asosidagi ishlash mexanizmi va energiya samaradorligi atroflicha yoritiladi. Dvigatelning afzalliklari (yuqori samaradorlik, ixcham dizayn) va kamchiliklari (seyrek tuproq materiallariga bog'liqlik, yuqori xarajatlar) tahlil qilinadi. So'nggi yutuqlar, jumladan, seyrek tuproqsiz texnologiyalar, yog'li sovutish tizimlari va in-wheel dvigatellar kabi innovatsiyalar muhokama qilinadi. Maqola elektromobil dvigatellari sohasidagi kelajak istiqbollariga ham to'xtalib, muhandislik mutaxassislari, talabalar va texnologiyaga qiziquvchilar uchun foydali manba sifatida xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: PMSM, doimiy magnit, sinxron dvigatel, elektromobil, samaradorlik, seyrek tuproq, inverter, in-wheel dvigatellar, eAxe, sun'iy intellekt, ekologik barqarorlik.

Kirish

Zamonaviy transport sohasida elektromobillar (EV – Electric Vehicles) jadal rivojlanmoqda, bu esa ekologik toza va energiya tejamkor transport vositalariga bo'lgan talabning ortishi bilan bog'liq. Elektromobillar ichki yonuv dvigatellariga (ICE – Internal Combustion Engine) muqobil sifatida energiya samaradorligi, past ekspluatatsiya xarajatlari va atrof-muhitga minimal ta'siri bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiyaning markazida elektromobil dvigatellari yotadi, ulardan eng muhimi doimiy magnitli sinxron dvigatellardir (PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor). PMSM yuqori samaradorlik, ixcham o'lchamlar va dinamik xususiyatlari tufayli Tesla, Nissan, BMW kabi yirik avtomobil ishlab chiqaruvchilar tomonidan keng qo'llanilmoqda. Ushbu maqola PMSM'ning tuzilishi, ishlash prinsipi, afzalliklari, kamchiliklari, sohadagi so'nggi yutuqlar va kelajak istiqbollarini atroflicha yoritishga bag'ishlanadi.

PMSM'ning tuzilishi

Doimiy magnitli sinxron dvigatel ikki asosiy qismdan iborat: stator va rotor. Ushbu komponentlarning o'zaro ta'siri dvigatelning aylanish harakatini ta'minlaydi.

- **Stator:** Stator dvigatelning harakatsiz qismi bo'lib, odatda laminatsiyalangan po'lat yadro va mis simlardan iborat o'rashlarga ega. Stator o'zgaruvchan tok (AC) yordamida aylanma magnit maydon hosil qiladi. Zamonaviy PMSM'larda hairpin simlari deb ataladi o'rash texnologiyasi qo'llaniladi, bu issiqlik yo'qotishlarini kamaytiradi va samaradorlikni oshiradi.
- **Rotor:** Rotor dvigatelning aylanuvchi qismi bo'lib, doimiy magnitlardan (ko'pincha neodimiy yoki samariy-kobalt asosida) tashkil topgan. Magnitlar rotor yuzasiga yoki

ichiga joylashtiriladi (yuzaki yoki ichki magnitli dizayn). Segmentlangan magnitlar issiqlikni samarali boshqarish va magnit maydonning barqarorligini ta'minlaydi.

- **Inverter:** PMSM'ning ishlashi uchun zarur bo'lgan qo'shimcha komponent hisoblanadi. Inverter batareyadan keladigan doimiy tokni (DC) o'zgaruvchan tokka (AC) aylantirib, dvigatelning aylanish tezligi va momentini aniq boshqaradi. Zamonaviy inverterlarda silikon karbid (SiC) yarimo'tkazgichlari qo'llaniladi, bu energiya yo'qotishlarini kamaytiradi.
- **Boshqaruv tizimi:** Elektron boshqaruv bloki (ECU) va sensorlar (masalan, hol sensorlari yoki enkoderlar) stator va rotor o'rtasidagi sinxronlikni ta'minlaydi. Bu tizim real vaqt rejimida dvigatel parametrlarini optimallashtiradi.

PMSM'ning tuzilishi an'anaviy dvigatellarga qaraganda kamroq harakatlanuvchi qismlarga ega, bu uning ishonchligini oshiradi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytiradi.

Ishlash prinsipi

PMSM'ning ishlash prinsipi elektromagnit induksiya va sinxron aylanma harakatga asoslanadi. Quyidagi bosqichlar bu jarayonni tushuntiradi:

1. **Magnit maydon hosil qilish:** Stator o'rashlariga o'zgaruvchan tok berilganda, aylanma magnit maydon hosil bo'ladi. Bu maydonning tezligi tok chastotasi va stator qutblari soniga bog'liq.
2. **Sinxron aylanish:** Rotorning doimiy magnitlari statorning aylanma magnit maydoniga "yopishadi" va bir xil tezlikda aylanadi. Bu sinxronlik PMSM'ning asosiy xususiyati bo'lib, undan "sinxron" nomi kelib chiqadi.
3. **Moment hosil qilish:** Stator va rotor magnit maydonlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir aylanish momentini hosil qiladi. Momentning kattaligi tok kuchi va magnit maydon zichligiga bog'liq.
4. **Boshqaruv:** Inverter va elektron boshqaruv tizimi stator tokining chastotasi va fazasini sozlab, dvigatelning tezligi va momentini aniq nazorat qiladi. Bu elektromobillarning silliq tezlashishi va energiya samaradorligini ta'minlaydi.

PMSM'ning samaradorligi 97% gacha yetishi mumkin, bu ichki yonuv dvigatellarining 30-40% samaradorligidan ancha yuqori. Bu xususiyat elektromobillarning uzoq masofani bosib o'tishiga va energiya sarfini kamaytirishga yordam beradi.

Afzalliklari

PMSM elektromobillar uchun afzal ko'riladigan dvigatel turi sifatida quyidagi afzalliklarga ega:

- **Yuqori samaradorlik:** Elektr energiyasining 90% dan ortig'ini mexanik energiyaga aylantiradi, bu yoqilg'i tejash va masofani oshirish imkonini beradi.
- **Ixcham dizayn:** Doimiy magnitlarning yuqori magnit zichligi tufayli PMSM kichik o'lchamlarga ega, bu avtomobil ichidagi bo'sh joyni tejaydi.
- **Dinamik xususiyatlar:** Tez tezlashish va silliq ishlash (masalan, Tesla Model 3 0-100 km/soatga 3,1 soniyada erishadi).
- **Kam texnik xizmat:** Cho'tkasiz dizayn va kam harakatlanuvchi qismlar tufayli uzoq muddatli ishonchlilik ta'minlanadi.

- **Aniq boshqaruv:** Inverter va elektron tizimlar yordamida dvigatelning ishlashi real vaqt rejimida optimallashtiriladi.

Kamchiliklari

Barcha afzalliklariga qaramay, PMSM'ning ba'zi cheklovlari mavjud:

- **Seyrek tuproq materiallariga bog'liqlik:** Doimiy magnitlar uchun neodimiy va disproziy kabi seyrektuproq materiallari ishlatiladi, bu ishlab chiqarish xarajatlarini oshiradi va ekologik muammolar (kon qazish va qayta ishlash) keltirib chiqaradi.
- **Issiqlikka sezuvchanlik:** Yuqori haroratlarda magnitlarning kuchsizlanishi (demagnetizatsiya) xavfi mavjud, bu esa dvigatelning ishlashiga ta'sir qiladi.
- **Qimmat ishlab chiqarish:** Magnit materiallar va murakkab boshqaruv tizimlari tufayli PMSM ishlab chiqarish asinxron dvigatellarga qaraganda qimmatroq.
- **Ta'minot zanjiri muammolari:** Seyrek tuproq materiallarining global bozori, asosan, Xitoy nazorati ostida bo'lib, bu ta'minotda uzilishlar xavfini oshiradi.

Hozirgi natijalar

PMSM elektromobillar dvigatellari sohasida yetakchi o'rinni egallaydi va so'nggi yillarda sezilarli yutuqlarga erishildi:

- **Samaradorlikni oshirish:** Zamonaviy PMSM'lar 97% samaradorlikka erishdi, bu hairpin o'rashlari va silikon karbidli inverterlar tufayli mumkin bo'ldi. Masalan, Tesla Model Y dvigateli energiya yo'qotishlarini minimallashtiradi.
- **Issiqlik boshqaruvi:** Yog'li sovutish tizimlari va segmentlangan magnitlar issiqlikni samarali boshqarishga yordam beradi, bu dvigatelning ishlash muddatini uzaytiradi.
- **Seyrek tuproqsiz alternativlar:** Tesla va Toyota kabi kompaniyalar sinxron reluktans va PMSM kombinatsiyasini (SynRM-IPM) joriy etmoqda, bu neodimiyga bo'lgan ehtiyojni kamaytiradi. Ames Laboratoriyasining BREM loyihasi arzon va ekologik magnit materiallarini ishlab chiqarmoqda.
- **Yuqori tezlikli dvigatellar:** 20,000 RPM'dan yuqori tezlikda ishlaydigan PMSM'lar quvvat zichligini oshiradi, bu Hindiston va Xitoy bozorlarida talabning o'sishiga olib kelmoqda.

Muhokama

PMSM elektromobillar uchun ideal dvigatel sifatida o'z o'rnini mustahkamladi, chunki u yuqori samaradorlik, ixcham dizayn va dinamik xususiyatlarni ta'minlaydi. Biroq, seyrektuproq materiallariga bog'liqlik va yuqori xarajatlar sohaning rivojlanishiga to'sqinlik qilmoqda. Seyrek tuproqsiz texnologiyalar va SI kabi innovatsiyalar ushbu muammolarni hal qilishga yordam berishi mumkin. Shu bilan birga, global ta'minot zanjiridagi muammolar va ekologik talablar PMSM ishlab chiqaruvchilarni yangi yechimlar izlashga majbur qilmoqda. Kelajakda PMSM'ning in-wheel va eAxe kabi tizimlarda kengayishi elektromobillarni yanada arzon va samarali qiladi.

Xulosa

Doimiy magnitli sinxron dvigatellar elektromobillar dvigatellari sohasida yetakchi o'rinni egallab, yuqori samaradorlik va dinamik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Ularning tuzilishi stator, rotor va inverterdan iborat bo'lib, elektromagnit induksiya asosida sinxron aylanma harakatni ta'minlaydi. Afzalliklari orasida energiya samaradorligi, ixcham o'lchamlar va kam texnik xizmat talab qilishi bor, lekin seyrektuproq materiallariga bog'liqlik va yuqori

xarajatlar muammo sifatida qolmoqda. So'nggi yutuqlar, masalan, seyrektuproqsiz alternativlar va yog'li sovutish tizimlari, PMSM'ni yanada samarali qilmoqda. Kelajakda in-wheel dvigatellar va SI integratsiyasi ushbu texnologiyani transportning barqaror kelajagiga yaqinlashtiradi.

References:

Используемая литература:

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. S&P Global Mobility. (2023). *Elektromobil quvvat tizimlari tendensiyalari: eAxle va dvigatel texnologiyalari*. Manba: <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/electric-vehicle-powertrain-trends.html>
2. AQSh Energetika Vazirligi. (2022). *Ilg'or elektr dvigatellarni tadqiq qilish va rivojlantirish maqsadlari*. Manba: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/advanced-electric-motors>
3. Xitoy Avtomobil Muhandislari Jamiyati. (2020). *Energiya tejash va yangi energiyali transport vositalari texnologiyasi yo'l xaritasi 2.0*. Pekin: CSAE.
4. Ames Laboratoriyasi. (2023). *Seyrek tuproq magnitlaridan tashqari (BREM) loyihasi*. Manba: <https://www.ameslab.gov/brem>
5. Tesla, Inc. (2021). *Model 3 va Model Y quvvat tizimlari: PMSM va SynRM texnologiyalari*. Manba: <https://www.tesla.com/engineering>
6. Mercedes-Benz Guruhi. (2021). *YASA Limited kompaniyasini sotib olish: Aksial oqimli dvigatel texnologiyasini rivojlantirish*. Manba: <https://group.mercedes-benz.com/innovation/yasa-acquisition.html>