

ELEKTROMEXANIK TIZIMLARDA QUVVATLI TRANZISTORLI KALITLARNI BOSHQARISH SXEMALARINI OPTIMALLASHTIRISH

Kamoldinov Jo'rabek Ulug'bek o'g'li

Farg'ona Davlat Texnika Universiteti

ATT fakulteti 2-kurs 631-24 guruh

jorabekkamoldinov92@gmail.com, 930642316

Annotatsiya. Ushbu maqolada zamonaviy elektromexanik tizimlarda qo'llaniladigan quvvatli elektron kalitlar (IGBT va MOSFET) va ularni boshqarish uchun mo'ljallangan drayver sxemalarining ishlash prinsiplari tahlil qilingan. Tizimning foydali ish koeffitsientini oshirish va kommutatsiya jarayonidagi energiya isroflarini kamaytirish usullari bo'yicha ilmiy takliflar berilgan.

Kalit so'zlar: drayver sxemasi, IGBT, MOSFET, PWM, elektromexanik o'zgartirgich, kommutatsiya isroflari, datchik.

Kirish (Aktuallik). Sanoat robotlari, elektr transport vositalari va intellektual elektromexanik tizimlarning samaradorligi bevosita quvvatli elektronika qurilmalarining ishonchligiga bog'liq. Zamonaviy invertorlarda qo'llaniladigan MOSFET va IGBT tranzistorlari yuqori chastotali kommutatsiya rejimida ishlaydi. "Elektronika va sxemalar" fanining eng dolzarb masalalaridan biri — bu tranzistorlarning darvoza (gate) qismiga beriladigan signalning sifatini ta'minlash, dinamik isroflarni kamaytirish va tizimni elektromagnit shovqinlardan himoya qilishdir. Bu nafaqat qurilmaning xizmat muddatini uzaytiradi, balki butun elektromexanik majmuaning energiya samaradorligini oshiradi.

1. Drayver sxemalarining funksional vazifalari. Elektromexanik tizimning asosiy bo'g'ini bo'lgan uch fazali invertor sxemasida quvvatli tranzistorlarning darvoza qismini boshqarish uchun maxsus drayver mikrosxemalaridan foydalaniladi. Drayver sxemalari quyidagi asosiy funksiyalarni bajarishi shart:

Galvanik ajralish: Past kuchlanishli boshqaruv qismini (mikrokontroller) yuqori kuchlanishli quvvat qismidan (380V-600V) optron yoki transformator orqali himoya qilish.

Impulsi tok shakllantirish: Tranzistorning kirish sig'imini (input capacitance) zaryadlash va razryadlash uchun yetarli bo'lgan (1A dan 10A gacha) impulsi tokni ta'minlash.

Sathni siljitish (Level Shifting): Invertorning yuqori kalitlarini (High-side) boshqarish uchun kuchlanish sathini kerakli darajaga ko'tarish.

2. Yarimo‘tkazgichli kalitlarda dinamik jarayonlar va energiya isroflarining nazariy tahlili

Elektromexanik tizimlarda quvvatli kalitlar (MOSFET va IGBT) ideal kalit hisoblanmaydi. Real sharoitda tranzistorning holati o‘zgarganda, ya’ni u yopiq holatdan ochiq holatga o‘tganda, jarayon lahzali sodir bo‘lmaydi. Bu vaqt oralig‘ida tranzistor kristali orqali oqib o‘tayotgan tok va uning klemmasidagi kuchlanish bir vaqtning o‘zida mavjud bo‘ladi, bu esa tizimda issiqlik ko‘rinishidagi energiya isroflarini keltirib chiqaradi.

2.1. Kommutatsiya isroflarining shakllanish mexanizmi Tranzistorning ulanish va uzilish vaqtlari uning ichki yarimo‘tkazgich tuzilishidagi zaryad tashuvchilarning harakat tezligiga bog‘liq. Kommutatsiya isroflari aynan mana shu o‘tish jarayonlarida paydo bo‘ladi. Agar drayver sxemasi tranzistorni yetarli darajada tez boshqara olmasa, tranzistor chiziqli rejimda uzoq vaqt qolib ketadi. Bu holatda elektr energiyasining bir qismi foydali ishga sarflanmasdan, tranzistor korpusini qizitishga sarflanadi. Bu nafaqat qurilmaning foydali ish koeffitsientini pasaytiradi, balki elektron qismlarning muddatidan oldin ishdan chiqishiga sabab bo‘ladi.

2.2. Ishchi chastotaning tizim samaradorligiga ta’siri Zamonaviy elektromexanik tizimlarda kommutatsiya chastotasi juda yuqori qilib belgilanadi. Chastota qanchalik yuqori bo‘lsa, dvigatelning ishlashi shunchalik ravon bo‘ladi, biroq bu har bir soniyada o‘tish jarayonlari sonining ortishiga olib keladi. Har bir ulanish va uzilish siklida ma’lum miqdorda energiya isrof bo‘lishini hisobga olsak, yuqori chastotalarda issiqlik ajralishi keskin ortadi. Shuning uchun "Elektronika va sxemalar" fanida drayverning tezkorligini oshirish orqali o‘tish vaqtlarini maksimal darajada qisqartirish eng dolzarb muammo hisoblanadi.

2.3. Drayver sxemasi orqali isroflarni optimallashtirish yo‘llari Drayverning asosiy vazifasi tranzistorning darvoza qismidagi parazit sig‘imlarni maksimal tezlikda zaryadlash va razryadlashdan iborat. Darvoza zaryadi jarayoni qanchalik tez yakunlansa, tranzistor shunchalik tez to‘yinish rejimiga o‘tadi. Agar drayver sxemasi kuchsiz bo‘lsa va kerakli impulsli tokni bera olmasa, tranzistor "cho‘zilib" ochiladi. Bu esa elektromexanik majmuaning umumiy energetik ko‘rsatkichlarini yomonlashtiradi. Optimallashtirilgan drayverlar tranzistorning boshqaruv signalini shunday shakllantiradiki, natijada dinamik isroflar minimal darajaga tushadi.

2.4. Termik barqarorlik va konstruktiv yechimlar Ajralayotgan quvvat isroflari tranzistor kristalining haroratini oshiradi. Haroratning ko‘tarilishi esa yarimo‘tkazgichning qarshiligini o‘zgartirib, tizimning barqarorligiga salbiy ta’sir qiladi. Agar drayver sxemasi orqali ushbu isroflar nazorat qilinmasa, qurilmani sovutish uchun katta hajmli va og‘ir radiatorlardan foydalanishga to‘g‘ri keladi. Zamonaviy elektronika konstruksiyalarida drayver signallarini "yumshoq kommutatsiya" usulida boshqarish orqali radiator o‘lchamlarini kichraytirishga va qurilmaning umumiy vaznini kamaytirishga erishilmoqda.

3. Drayver sxemalarining topologik arxitekturasi va galvanik izolyatsiya usullari
Elektromexanik tizimlarda drayver faqatgina tok kuchaytiruvchi element emas, balki yuqori kuchlanishli quvvat qismi bilan past kuchlanishli boshqaruv qismi (mikrokontroller) o'rtasidagi "himoya ko'prigi" hisoblanadi.

3.1. Galvanik ajratishning ahamiyati Elektromexanik o'zgartirgichlarda (invertorlarda) ishchi kuchlanish bir necha yuz voltni tashkil etadi. Agar quvvat tranzistori teshilsa yoki avariya holati yuz bersa, yuqori kuchlanish boshqaruv mikrosxemalarini kuydirib yuborishi mumkin. Buning oldini olish uchun zamonaviy drayverlarda quyidagi izolyatsiya usullari qo'llaniladi:

Optik izolyatsiya (Optocouplers): Signal yorug'lik diodi va fototranzistor orqali uzatiladi. Bu usul elektromagnit shovqinlarga juda chidamli.

Magnit izolyatsiya (Pulse Transformers): Signal impulsli transformatorlar orqali uzatiladi, bu yuqori tezlikdagi kommutatsiya uchun juda qulay.

Kapasitiv izolyatsiya: Yuqori chastotali signallarni kichik sig'imli kondensatorlar orqali uzatishga asoslangan zamonaviy tezkor usul.

3.2. Bootstrap sxemasi va uning ishlash prinsipi Ko'priqli (H-bridge) sxemalarda yuqori kalitlarni (high-side) boshqarish uchun ularning darvozasi va istoki (source) orasida yetarli kuchlanish bo'lishi talab etiladi. Buning uchun drayver arxitekturasida "Bootstrap" sxemasi qo'llaniladi. Ushbu sxema bootstrap diodi va kondensatoridan iborat bo'lib, u quvvat manbai kuchlanishini sun'iy ravishda "suzip yuruvchi" (floating) darajaga ko'tarib beradi.

$$V_{boot} = V_{CC} - V_f - V_{low}$$

Bu yerda V_f - dioddagi kuchlanish pasayishi, V_{low} - pastki kalitdagi kuchlanish. Bootstrap kondensatorining sig'imi drayverning uzoq muddat ochiq holatda turishini ta'minlashi shart. Agar ushbu sig'im noto'g'ri tanlansa, yuqori kalit to'liq ochilmasdan, chiziqli rejimga o'tib ketadi va issiqlik isroflari keskin ortadi.

4. Miller effekti va drayver orqali kompensatsiya usullari

Quvvatli tranzistor ulanish jarayonida uning darvoza (gate) va stok (drain) klemmasi orasidagi o'tish sig'imi (C_{gd}) hisobiga teskari aloqa yuzaga keladi. Bu jarayon darvoza kuchlanishining vaqtincha bir sathda to'xtab qolishiga, ya'ni "Miller platosi" effektiga sabab bo'ladi.

Ushbu effektning asosiy xavfi — tranzistorning chiziqli rejimda uzoq qolib ketishi va natijada o'ta yuqori issiqlik ajralishidir. Zamonaviy drayverlarda ushbu muammoni hal qilish uchun "Active Miller Clamp" texnologiyasi qo'llaniladi. U yopilgan tranzistorning darvozasini past qarshilikli yo'l bilan "yerga" (GND) ulab qo'yadi. Bu esa tashqi shovqinlar yoki qo'shni kalitning ulanishi natijasida tranzistorning kutilmagan (asossiz) ochilib ketishidan to'liq himoya qiladi.

5. Aqlli drayverlarning (Smart Gate Drivers) himoya funksiyalari
Zamonaviy elektromexanik tizimlarda drayver shunchaki impuls uzatuvchi emas, balki butun quvvat blokining xavfsizligini ta'minlovchi diagnostika markazidir. Muhammad Rashidning "Quvvat elektronikasi" darsligiga ko'ra, aqlli drayverlar quyidagi muhim funksiyalarni bajaradi:

DESAT (Desaturation detection): Tranzistorning to'yinish rejimidan chiqishini (ya'ni yuklamadagi qisqa tutashuvni) 2 mikrosaniya ichida aniqlaydi va tizimni avariya holatidan saqlab qoladi.

Soft Turn-off: Avariya holatida tranzistorni birdaniga emas, balki "yumshoq" yopadi. Bu katta toklarni uzishda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xavfli kuchlanish sakrashlarining oldini oladi.

UVLO (Under Voltage Lock Out): Drayverning o'z ta'minot kuchlanishi 10-12V dan pastga tushganda ishlashni to'xtatadi. Bu tranzistorning chala ochilib, yonib ketishidan himoya qiladi.

Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, elektromexanik tizimlarning ishonchligi bevosita drayver sxemalarining to'g'ri tanlanishiga bog'liq. Faqatgina tranzistor parametrlarini emas, balki drayverning dinamik xarakteristikalari va himoya funksiyalarini hisobga olish tizimning foydali ish koeffitsientini (FIK) 12-15% ga oshirish imkonini beradi. Mazkur yondashuv sanoat robotlari va zamonaviy mexatron qurilmalarning energetik samaradorligini va uzoq muddatli barqarorligini kafolatlaydi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1.Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. – 3rd Edition. – Cambridge University Press, 2015. – 1220 p.

2.Indiaminov R.Sh., Butayev S.B. Nostatsionar magnit maydonida neferromagnit qobiqlarning magnit elastik deformatsiyalanishini matematik modellashtirish. // TDTU Respublika ilmiy-texnik anjumani materiallari, Toshkent, 2026.

3.Mohan N., Undeland T. M., Robbins W. P. Power Electronics: Converters, Applications, and Design. – Wiley, 2003. – 824 p.

4.Nazarov Kh.N. Intellektualnye mnogokoordinatnye mehatronnye moduli robototekhnicheskikh sistem. – Toshkent: Mashhur-Press, 2019. – 143 b.

5.Rashid M. H. Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications. – 4th Edition. – Pearson Education, 2017. – 1024 p.