

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ПРИМЕНЯЕМОГО В МИКРО-ГЭС

Суллиев Абсаид Хуррамович

Абдурахмонов Шохнуржон Шавкат угли

Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан).

Аннотация: В данной статье рассматривается математическое моделирование асинхронных (индукционных) генераторов, применяемых в микро-гидроэлектростанциях, их динамические характеристики, а также процессы самовозбуждения с помощью батареи конденсаторов. При построении модели используется система дифференциальных уравнений, основанная на электрических и механических характеристиках генератора, насыщении магнитной цепи, индуктивностях токов, параметрах ротора и статора. Результаты исследования подтверждают возможность надёжного и эффективного применения асинхронных генераторов в условиях микро-ГЭС

Ключевые слова: Асинхронный генератор, микро-ГЭС, дифференциальные уравнения, моделирование, магнитное насыщение, электромагнитный момент, самовозбуждение, электрические машины, батарея конденсаторов, трёхфазная система, математическая модель, переходные процессы.

MIKROGESLARDA QO‘LLANILUVCHI ASINXRON GENERATORINI MODELLASHTIRISH

Sulliyev Absaid Xurramovich

Abdurahmonov Shohnurjon Shavkat o‘g‘li

Toshkent davlat transport universiteti (Toshkent, O‘zbekiston)

Anotatsiya: Mazkur maqolada mikro gidroelektr stansiyalarda qo‘llaniluvchi asinxron (induksion) generatorlarning matematik modeli, dinamik tavsiflari hamda kondensator batareyasi yordamida o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish jarayonlari tahlil qilingan. Modelni yaratishda generatorning elektr va mexanik xususiyatlari, magnit to‘yinganlik, oqim induktivliklari, rotor va stator parametrlariga asoslangan differensial tenglamalar tizimi tuzilgan. Tadqiqot natijalari asinxron generatorni mikroGESlarda ishonchli va samarali ishlatish imkoniyatini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Asinxron generator, mikroGES, differensial tenglamalar, modellash, magnit to‘yinganlik, elektromagnit moment, o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish, elektr mashinalar, kondensator batareyasi, uch fazali tizim, matematik model, o‘tkinchi jarayonlar.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorning matematik modelini yaratish uchun, uning ishlashining elektrik va mexanik jihatlarini hisobga olish muhimdir. Asinxron generator (induksion generator deb ham yuritiladi) mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirish uchun elektromagnit induksiya tamoyillaridan foydalanadi. Oddiylik uchun biz rotor va statorning qarshiligi va induktivligini hisobga olgan holda differensial formuladan foydalanamiz.

MikroGESlarda qo‘llaniluvchi asinxron generatorni differentsial tenglamalar tizimlari yordamida tavsiflashning klassik usuli eng umumlashtirilgan usul bo‘lib hisoblanadi. Ob‘yektning matematik modeli uning idealizatsiyasi hisoblanadi, shuning uchun tenglamalarni tuzishda va vaqtinchalik jarayonlarni ko‘rib chiqishda “idealizatsiya qilingan” ob‘yekt bilan bog‘liq umumiy qabul qilingan cheklovlar va taxminlar qo‘llaniladi.

Shunday qilib, elektr generator uchun tenglamalarni tuzishda, ob‘yektning soddalashtirish bilan bog‘liq holda, matematik modelni haqiqiy ob‘yektga sozlash muammosi paydo bo‘ladi, uning mohiyati eksperimental ma’lumotlarga iloji boricha yaqinroq natija beradigan parametrlarning bunday qiymatlarini aniqlashdir.

Gidroturbina matematik ifodalarini hisobga olgan holda asinxron generator matematik ifodalar orqali bog‘lanishlarni keltirib olinadi

$$\begin{aligned}P_m &= P_T \cdot \eta_T \cdot \eta_u \\P_G &= P_m \cdot \eta_g \\M_g &= \frac{P_n \cdot 10^3}{\omega} \\\omega &= \frac{n_g}{9.55}\end{aligned}$$

Lozim bo‘lsa, yanada ko‘proq omillarni hisobga olish mumkin, ammo bu differentsial tenglamalar tizimini yechishni ancha murakkablashtiradi va yechimning vaqtini oshiradi. Shu munosabat bilan qidiruv ixtisoslashtirilgan dasturlarga o‘tkaziladi.

Energiya ortishi kondensatorda maksimal zaryad bo‘lganida yoki induktiv-likdagi maksimal oqimda amalga oshadi. Yuqorida ta’kidlab o‘tilganidek, qo‘zg‘alish elektr generatorning induktivligining davriy o‘zgarishi bilan bog‘liq deb taxmin qilish kerak. Bu aniq pazlar va tishlarga xos bo‘lgan davriy o‘zgaruvchan parametrlar bilan bog‘liq. Yuqoridagilardan reaktiv elementlarni o‘zgartirish orqali sxemaga energiya (kiritish)

sarflash mexanizmi aniqlanadi. Tebranishlarning ortishi uchun talab qilinadiki, konturga kiritalayotgan energiya yo‘qotishlarga sarflanayotgan energiyadan ortiqroq bo‘lishi talab etiladi.

Generator ishlayotganda quyidagi rejimlar mavjud bo‘ladi: salt ishlashda kondensator qo‘zg‘alishi, ishga tushish va yuklamada ishlash, yuklama ostida qo‘zg‘alish. Ushbu rejimlarni asinxron generatorning tenglamalar tizimi tufayli tahlil qilish mumkin.

Tenglamalar shaklini olishning eng keng tarqalgan usuli bu Kirxgoff, Amper qonunlarini elektr zanjirlariga qo‘llash va olingan tenglamalarni ma‘lum koordi-natalar tizimiga aylantirishdir.

Valdagi muvozanat qonunini yozish uchun generatorning inersiyasini, rotorning burchak tezligini, rotorga ta’sir qiluvchi momentni hisobga oluvchi Nyutonning ikkinchi qonunidan foydalaniladi. Natijada, differentsial tenglamalar tizimi o‘rganilayotgan tizimning barcha konturlarini kompleks tahlil qilishga imkon beradi. Biroq, olingan differentsial tenglamalar tizimini faqatgina hisoblash texnikasi yordamida yechish mumkin. Ko‘p sonli konturli ob’jektning xarakteris-tikalarini qurish hisoblash texnikasiga bo‘lgan talabni oshiradi. Bundan tashqari, asinxron generator loyihasining yuqori aniqligi uchun elektr generatorning to‘liq magnit xarakteristikasiga ega bo‘lish kerak, xarakteristikani to‘g‘ri chiziqli bilan qabul qilish mumkin emas. Magnitlanish toki koordinatalarida haqiqiy egri chiziqli xarakteristikasiga ega bo‘lish talab qilinadi.

Asinxron generator odatda stator va rotorda joylashgan magnit bilan bog‘langan chulg‘amlar tizimi sifatida tushiniladi. “Statorning A fazasi chulg‘ami va rotorning a fazasi chulg‘amining o‘zaro ta’sirini ko‘rib chiqsak, shuni ta’kidlash kerakki, rotor aylanayotganda bu chulg‘amining fazodasiga o‘zaro pozitsiyasi doimiy ravishda o‘zgarib turadi. Qabul qilingan taxminlarni hisobga olgan holda o‘zaro A va a chulg‘amlari o‘rtasidasidagi induktivlik

$$M_{Aa} = M \cos \gamma, \quad (3.1)$$

bu yerda M - A va a chulg‘am o‘qlari mos kelganda sodir bo‘ladigan o‘zaro induksiyaning maksimal qiymati; $\gamma = \int_0^t \omega_r dt + \gamma_0$ - A va a chulg‘amlari fazala-rining o‘qlari orasidagi burchak $\omega_r = 2\pi n$ rotorning burchak chastotasi; n - rotorning aylanish chastotasi, p – juft qutblari soni; γ_0 - rotorning boshlang‘ich holatini aniqlaydigan burchak.

Magnitlanish toki koordinatalarida haqiqiy egri chiziqli xarakteristikasiga ega bo‘lish talab qilinadi.

Tenglamalar tizimi davriy va kompleks koeffisientlardan iborat bo‘lmay, yechimlar kvazi garmonik va garmonik funksiyalar bilan tavsiflanadi” [110; 64-65b]. Asinxron

generator sig‘imli qo‘zg‘alishi d-q koordinatalar sistemasidagi kompleks shakldagi tenglama bilan tavsiflanadi:

$$\begin{aligned}(p - i\Omega)^2 x_m i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{1\sigma} i_2^- + (p + i\Omega) r_1 i_1 + x_c i_0 &= 0 \\ -x_c i_0 + (p + i\Omega)^2 x_{Ln} i_n + (p + i\Omega) r_n i_n + x_{cn} i_n &= 0 \\ p x_{2\sigma} i_2 + r_2 i_2 + p x_m i_0 &= 0 \\ i_1 + i_2 &= i_2 \\ i_n + i_c &= i_1,\end{aligned}$$

bu yerda p - farqlash operatori;

i_1, i_2, i_n, i_c, i_0 , mos ravishda stator, rotor, generator yuklamasini, qo‘zg‘alish sig‘imi, magnitlanish toklari;

r_1, r_2 - stator va rotor fazalarining aktiv qarshiligi;

x_{1s}, x_{2s} - stator va rotor fazalarining oqish induktiv reaktivligi;

x_m - o‘zaro induktiv qarshiligi;

x_c, x_{Ln}, x_{cn} - reaktiv qarshiliklar.

Ammo yozishning ushbu shaklidan foydalanganda generator tizimlarining o‘tkinchi jarayonlarini tavsiflashda xarakterli qiyinchiliklar yuzaga keladi, chunki stator zanjirlar o‘zgaruvchilari o‘zgarishi yuz beradi. Asinxron generatorning yuklamada ishlashi ko‘pincha stator zanjirlarining nosimmetriyasi bilan tavsiflanadi, shuning uchun $a, b, 0$ o‘qlarida tenglamalar tizimini qo‘llash tavsiya etiladi, bu esa elektr generator oniy holatini aniqlashga va hisoblash resurslariga talablarini kamaytirish imkonini beradi.

Asinxron generatorning o‘z-o‘zidan qo‘zg‘alishini tahlil qilish uchun differensial tenglamalarning (DT) dastlabki tizimi qo‘zg‘alish va yuklama kontur-larining kuchlanishlari va toklari muvozanati uchun tenglamalar bilan to‘ldirilishi kerak.

Magnit oqimlarini ma’lum deb hisoblab stator va rotor toklarini aniqlash mumkin. Biroq, magnit zanjirning to‘yinganligini hisobga olish zarurati ma’lum magnit oqim tenglamalaridan foydalanishga imkon bermaydi.

“Magnitlanish zanjirining to‘yinganlik ta’sirini hisobga olgan holda asinxron generatorning dinamik jarayonlarining tavsifi ikki kenglikda amalga oshiriladi: statik induktiv usuli va dinamik induktiv usuli. Birinchi usulda magnitlanishning induktivligi uning statik bog‘liqligi bilan belgilanadi. Ikkinchi usul ancha kamroq qo‘llaniladi, chunki bu ancha murakkab va olingan natijalar birinchi usulga o‘xshaydi. Asinxron generatorning to‘yinganligini hisobga olishning eng mos usuli bu bog‘langan asosiy magnit tok yo‘li bo‘ylab o‘lchash usuli havo bo‘shlig‘ida hosil bo‘lgan tokga qarab generatorning magnitlanish egri chizig‘i bilan aniqlanadi” [110; 65-66-b].

Differensial tenglamalarni tuzishda generator rejimida ishlaydigan asinxron mashinalarning o‘tkinchi jarayonlarini ko‘rib chiqishda, mashinani idealizatsiya qilish bilan

bog‘liq umumiy qabul qilingan taxminlardan foydalaniladi: faza chulg‘mlari nossimetrik va 120° burchak ostida joylashgan 3 fazali mashinalar uchun po‘latda yo‘qotishlar yo‘q, havo bo‘shlig‘i bir xil, mashina to‘yinmagan, magnit harakatlantiruvchi kuchlar havo bo‘shlig‘i atrofi bo‘ylab sinusoidal ravishda taqsimlanadi. Barcha xususiyatlar va nohiziqliklarni (magnit zanjirning to‘yingan-ligi, chulg‘amlarning nosimmetriyasi va boshqalar) majburiy hisobga olish sharti bilan differentsial tenglamalar tizimi ancha murakkablashadi.

Asinxron generatorning o‘tkinchi jarayonlarini tavsiflash uchun rotorga ta’sir qiluvchi momentlarning elektromagnit va tizim konturlarining kuchlanishlari muvozanat tenglamalari tuziladi.

Uch fazali generator uchun kuchlanish tenglamalari tizimi bilan ifodalanadi.

$$\begin{cases} \frac{d\psi_A}{dt} + r_S i_A = U_A \\ \frac{d\psi_B}{dt} + r_S i_B = U_B \\ \frac{d\psi_C}{dt} + r_S i_C = U_C \\ \frac{d\psi_a}{dt} + r_r i_a = 0 \\ \frac{d\psi_b}{dt} + r_r i_b = 0 \\ \frac{d\psi_c}{dt} + r_r i_c = 0, \end{cases} \quad (3.3)$$

bu yerda $\psi_{A,B,C}$ ($\psi_{a,b,c}$) - stator (rotor)fazasining to‘liq magnit toki;

$i_{A,B,C}$ ($i_{a,b,c}$) – stator (rotor)fazasidagi toki;

$r_{A, B, C}$ ($r_{a,b,c}$) – stator (rotor)fazasining qarshiligi;

$U_{A, B, C}$ -stator fazalaridagi kuchlanish qiymati.

Birinchi uchta tenglama $U_{A, B, C}$ stator fazalarining kuchlanishini tavsiflaydi ikkinchi uchlik $U_a, b_c = 0$ rotor fazalarining shartli chulg‘amlari tenglamasini 0 ga to‘liq magnit oqim va fazada asinxron generatorni tok orqali tavsiflaydi.

O‘z navbatida, har qanday fazaning magnit toki elektr generatorining boshqa chulg‘amlar bilan ichki induksiyasi va o‘zaro induksiyasi qiymati bilan belgilanadi:

$$\psi_A = L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M \cos \gamma i_a M \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) i_b + + M \left(\cos \gamma - \frac{2\pi}{3} \right) i_c \quad (3.4)$$

$$\psi_a = L_a i_a + M_{ab} i_b + M_{ac} i_c + M \cos \gamma i_A M \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) i_B + + M \left(\cos \gamma - \frac{2\pi}{3} \right) i_C, \quad (3.5)$$

Asinxron generatorning elektromagnit momenti rotor γ ning aylanish burchagiga nisbatan W_{EM} generatorning saqlangan elektromagnit energiyasining hosilasi sifatida aniqlanadi:

$$M_{EM} = p \frac{dW_{EM}}{d\gamma}. \quad (3.10)$$

Bunday tizim elektr generatorning o‘tkinchi jarayonlarini, shu jumladan nossimetrik stator chulg‘amlar va nossimetrik rotorni o‘rganish, generator va favqulodda ish rejimlarida ishlashni tahlil qilish uchun qulaydir.

Haqiqiy generatorning faza o‘qiga to‘g‘ri keladigan o‘qlardan birining o‘rmini o‘rnatgan holda, i_a tok qiymati haqiqiy faza oqimiga mos keladi.

Bunday koordinatalar tizimini tanlash elektr generatorni tadqiq qilish va modellash tirishni sezilarli darajada osonlashtirishi mumkin. Hatto ma’lum bir koordinatalar tizimining afzalligi ham asinxron generator tenglamalarini bir necha shakllarida yozishning imkon beradi, ular magnit oqimlari orqali yoki stator va rotor konturlarining toklari va magnit oqimlari orqali ifodalanadi.

“Matematik modelni tuzish uchun asinxron generatorning tenglamalar tizimini yozish shaklining yakuniy tanlovi tahlilni qiziq tiradigan o‘zgaruvchilar bilan belgilanadi. Shu jumladan, elektromagnit o‘tkinchi momentning ifodasi va matematik modelning maqbulligi mezonlari, bu ishning barqarorligini, tashqi buzilishlarni aniqlash imkoniyatini, hisoblashning ma’lum bir aniqligi bilan hisoblash vaqtining pasayishini baholashga imkon beradi” [110; 67-68-b].

Umumiy holatda, o‘zgaruvchan tezlik bilan, asinxron generatorning rotori va qo‘zg‘alish mexanizmining inersiya momentini hisobga olish kerak. Elektr generatorning rotorining aylanish chastotasini doimiy deb hisobga olsak, biz qilishimiz mumkin elektromexanik energiya ishlab chiqarish tizimini tavsiflash uchun inersiya momentidan foydalanmaslikka imkon beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Matqosimov M., Olimjonov A. Mikro Ges larda qo‘llaniluvchi kovushlik gidroturbinani mutloq va nisbiy qiymatlarining matematik modeli tahlili. “Kelajak samarali energetikasi: muammolar va yechimlar” mavzusida xalqaro ilmiy-texnik anjuman. 14-15 dekabr 2023-yil. Farg‘ona 104-107b
2. Matqosimov M.M., Olimjonov A.O. O‘zbekiston respublikasida kichik gidroenergetikaning rivojlanish tahlili. Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami Andijan 2023 yil 21dekabr 235-237b
3. Matqosimov M.M., Mahamadjonov S.Y. O‘zbekistonda yoqilg‘i-energetika resurslaridan samarali va oqilona foydalanish tadqiqi. Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami Andijan 2023 yil 21dekabr 238-241b
4. Потешин М.И. Рациональные режимы работы электрооборудования микрогидроэлектростанций на шлюзах мелиоративных систем автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Краснодар – 2013
5. Пустоветов М.Ю. Математическая и компьютерная модели асинхронного двигателя в трехфазной системе координат М.Ю. Пустоветов Электричество. – 2013 – № 7. – С. 41–46.