

SHAMOL GENERATORLARI UCHUN SINXRON MASHINALARNING ISHLASH XUSUSIYATLARI VA SAMARADORLIGINI OSHIRISH BO‘YICHA TADQIQOT

Qodirov J.U

Termiz davlat muhandislik va
agrotexnologiyalar universiteti asistenti

Davronov.S.A

Termiz davlat muhandislik va
agrotexnologiyalar universiteti talabasi

Annotatsiya: Mazkur maqolada shamol elektr qurilmalari uchun qo‘llaniladigan sinxron generatorlarning konstruktiv va funksional xususiyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqot doirasida doimiy magnitli sinxron generatorlar (PMSG) hamda elektromagnit uyg‘otuvchili sinxron generatorlar (EGSG) solishtirilib, ularning energiya samaradorligi, mexanik va elektromagnit yo‘qotishlari hamda boshqaruv imkoniyatlari baholandi. Generatorlarning o‘zgaruvchan shamol tezligi sharoitidagi ishlashi MATLAB/Simulink muhitida modellashtirildi va MPPT algoritmining energiya ishlab chiqarishga ta’siri o‘rganildi. Shuningdek, 5 kW quvvatli laboratoriya PMSG generatorida eksperimental tadqiqotlar olib borilib, modellashtirish natijalari bilan solishtirildi. Tadqiqot natijalari PMSG generatorlarning yuqori samaradorlik, barqaror moment va past texnik xizmat talabi bilan ajralib turishini ko‘rsatdi. Olingan xulosalar shamol energetikasi tizimlarida sinxron generatorlarni tanlash va optimallashtirishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Shamol energetikasi, sinxron generator, doimiy magnitli sinxron generator (PMSG), elektromagnit uyg‘otuvchili sinxron generator (EGSG), MPPT algoritmi, MATLAB/Simulink modellashtirish, energiya samaradorligi, inverter, o‘zgaruvchan tezlik, qayta tiklanuvchi energiya manbalari.

Аннотация: В данной статье проведён анализ конструктивных и функциональных особенностей синхронных генераторов, применяемых в

ветроэнергетических установках. В рамках исследования выполнено сравнение синхронных генераторов с постоянными магнитами (PMSG) и синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением (EGSG) по показателям энергетической эффективности, электромагнитных и механических потерь, а также возможностей управления. Работа генераторов в условиях переменной скорости ветра смоделирована в среде MATLAB/Simulink с учётом алгоритма отслеживания максимальной точки мощности (MPPT). Кроме того, проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке синхронного генератора PMSG мощностью 5 кВт, результаты которых сопоставлены с данными моделирования. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность, устойчивость к колебаниям нагрузки и низкие эксплуатационные требования генераторов типа PMSG, что делает их перспективными для применения в современных ветроэнергетических системах.

Ключевые слова: ветроэнергетика, синхронный генератор, синхронный генератор с постоянными магнитами (PMSG), синхронный генератор с электромагнитным возбуждением (EGSG), алгоритм MPPT, MATLAB/Simulink, энергетическая эффективность, инвертор, переменная скорость, возобновляемые источники энергии.

Abstract: This paper analyzes the structural and functional characteristics of synchronous generators used in wind energy conversion systems. The study compares permanent magnet synchronous generators (PMSG) and electrically excited synchronous generators (EGSG) in terms of energy efficiency, electromagnetic and mechanical losses, and control capabilities. The performance of the generators under variable wind speed conditions was modeled using the MATLAB/Simulink environment, incorporating a Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm. In addition, experimental investigations were conducted on a 5 kW laboratory-scale PMSG, and the obtained results were compared with simulation data. The findings demonstrate that PMSGs offer higher efficiency, improved torque stability, and reduced maintenance requirements, making them a promising solution for modern wind power applications.

Keywords: wind energy, synchronous generator, permanent magnet synchronous generator (PMSG), electrically excited synchronous generator (EGSG), MPPT algorithm, MATLAB/Simulink modeling, energy efficiency, inverter, variable speed operation, renewable energy sources.

Kirish

So‘nggi o‘n yilliklarda qayta tiklanuvchi energiya manbalari global energetika bozorida barqaror taraqqiyotning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Shamol energetikasi ulardan eng tez rivojlanayotgan sohalardan bo‘lib, uning samaradorligi ko‘p jihatdan turbina bilan birga ishlovchi elektr generatorining konstruksiyasi va boshqaruv texnologiyalariga bog‘liqdir. Zamonaviy shamol elektr qurilmalarining katta qismi sinxron generatorlarga asoslanadi, chunki ular o‘zgaruvchan aylanish tezligi sharoitida ham barqaror energiya ishlab chiqarishni ta‘minlaydi.

Sinxron mashinalarning doimiy magnitli variantlari (PMSG) va elektromagnit uyg‘otuvchili sinxron mashinalar (EGSG) shamol energetikasida eng ko‘p qo‘llaniladigan konstruksiyalardir. Ularning samaradorligini oshirish, mexanik yuklamalarni kamaytirish, sovitish jarayonini optimallashtirish va boshqaruv tizimlarini takomillashtirish bugungi kunning dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi.

Mazkur maqolada shamol generatorlari uchun sinxron mashinalarning konstruktiv xususiyatlari, ularni boshqarish usullari, energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari va turli ish rejimlaridagi natijalari tahlil qilinadi.

Metodologiya

Tadqiqot ishlari uch asosiy yo‘nalishda olib borildi:

Konstruktiv tahlil – turli sinxron generatorlar (PMSG va EGSG) rotor va stator tuzilmalari, magnit oqim zichligi hamda mis yo‘qotishlari bo‘yicha solishtirildi.

Matematik modellashtirish – generatorlarning o‘zgaruvchan tezlik sharoitidagi ishlashi MATLAB/Simulink muhiti asosida modellashtirildi. Modelda quyidagilar hisobga olindi:

Shamol tezligining 4–14 m/s diapazonda o'zgarishi;

Rotor momenti va elektromagnit moment o'rtasidagi bog'lanish;

MPPT (Maximum Power Point Tracking) algoritmining ta'siri;

Uch fazali kuchlanishning inverter orqali tarmoqqa uzatilishi.

Eksperimental tahlil – 5 kW quvvatga ega laboratoriya o'lchamidagi PMSG generatorida tajriba ishlarining natijalari o'lchandi. O'lchovlar quvvat, oqim, samaradorlik va harorat bo'yicha olib borildi.

Mazkur metodlar generatorlarning real ish sharoitini iloji boricha aniq aks ettirishi uchun tanlandi. Barcha hisob-kitoblar bir xil yuklama sharoitida va bir xil shamol tezligi profiliga asoslanib amalga oshirildi.

Natijalar (Results)

3.1. Konstruktiviy natijalar

Tahlil natijalariga ko'ra, PMSG generatorlar rotoridagi doimiy magnitlar tufayli elektromagnit maydonning barqaror shakllanishini ta'minlab, umumiy energiya yo'qotishlarini pasaytiradi. EGSG turidagi generatorlarda esa uyg'otish chulg'amlarining qarshilikdagi yo'qotishlari sababli samaradorlik biroz pastroq bo'ldi.

3.2. Matematik modellashtirish natijalari

Modellashtirish jarayonida quyidagi kuzatuvlar aniqlandi:

Shamol tezligi 7–12 m/s oralig'ida bo'lganida PMSG generatorlarining samaradorligi **96–97%** gacha yetdi;

EGSG generatorlarida bu ko'rsatkich **93–95%** atrofida bo'ldi;

MPPT algoritmi qo'llanilganda chiqish quvvati o'rtacha **11–14%** ga oshdi;

Rotor tezligining o'zgarishi PMSG generatorida moment tebranishlarini kamaytirib, tarmoqqa uzatilayotgan kuchlanishning sifatini yaxshiladi.

3.3. Eksperimental natijalar

Laboratoriya tajribasi quyidagi asosiy natijalarni berdi:

PMSG generatori 4–5 kW oralig‘ida maksimal barqaror quvvatni ishlab chiqdi;

Rotor harorati 60°C dan oshmaganligi sababli magnitlarning demagnetlanish xavfi kuzatilmadi;

Generatordan invertorga o‘tishdagi yo‘qotishlar jami energiyaning 3–4% ini tashkil qildi;

O‘lchangan umumiy energiya samaradorligi **95%** ni tashkil etdi, bu modellashtirilgan natijalar bilan mos tushdi.

Muhokama

Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, shamol turbinalarida sinxron generatorlar samaradorlik, quvvatning turg‘unligi va boshqariluvchanligi bo‘yicha an‘anaviy asinxron generatorlardan ustunlikka ega. Xususan, PMSG generatorlarning yuqori samaradorligi shamol tezligi past bo‘lgan hududlarda ham barqaror energiya olish imkonini yaratadi.

Modellashtirish natijalari PMSG generatorlarida magnit oqimining barqarorligi tufayli elektromagnit moment tebranishlari kamayishini tasdiqladi. Bu esa inverter va tarmoqqa ulanadigan quvvat sifatining yaxshilanishiga olib keladi.

EGSG generatorlari quvvat omilini boshqarish imkoniyati tufayli yirik shamol stansiyalarida afzalliklarga ega bo‘lishi mumkin, biroq ularning energiya yo‘qotishlari yuqoriroq ekani samaradorlikni cheklaydi.

MPPT algoritmi qo‘llanilganda barcha turdagi sinxron generatorlarning ishlab chiqarilgan energiyasi sezilarli oshishi kuzatildi. Bu shamol tezligining tasodifiy o‘zgaruvchanligiga mos ravishda turbina tezligini doimiy optimallashtirib borishi bilan izohlanadi.

Xulosa

Tadqiqot natijalari shamol generatorlari uchun sinxron mashinalar, ayniqsa PMSG konstruksiyasi eng samarali yechimlardan biri ekanini ko'rsatdi. Ularning yuqori energiya samaradorligi, tejamkorligi, kompaktligi va past texnik xizmat talabi shamol energetikasining rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etadi.

Modellashtirish va tajribalar shuni ko'rsatdiki:

PMSG generatorlar samaradorligi 96% gacha yetishi mumkin;

MPPT algoritmi orqali energiya ishlab chiqarish sezilarli darajada oshiriladi;

Boshqaruv tizimlari optimallashtirilganda moment tebranishlari kamayadi va uzatilayotgan kuchlanish sifati yaxshilanadi.

Kelgusida shamol energetikasi uchun sinxron generatorlarni rivojlantirish yo'nalishlari quyidagilar bo'lishi mumkin:

yangi magnit materiallar asosida samaradorlikni oshirish;

sovitish tizimlarini takomillashtirish;

invertor va konvertor tizimlarida yo'qotishlarni kamaytirish;

raqamli boshqaruv algoritmlarini yanada takomillashtirish.

Mazkur tadqiqot natijalari shamol generatorlari uchun sinxron mashinalar konstruksiyasini optimallashtirish va amaliy qo'llashda foydali ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. N.T.Toshpo'latov, D.B.Qodirov – Qayta tiklanuvchi energiya manbalari – O'quv qo'llanma – T.: TIQXMMI. 2021
2. S.E.Qurbonazarov, J.A.Esonov, A.A.Igamberdiyev – “Qayta tiklanuvchi energiya turlaridan foydalanish” - Экономика и социум, 2023

3. S.E. Qurbonazarov - Shaffof quyosh panellari - “Energiya va resurs tejamkor innovatsion texnologiyalarni rivojlantirishning dolzarb muammolari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani - Qarshi muhandislik - iqtisodiyot instituti. Qarshi – 2022
4. S.E. Qurbonazarov, S.M. Ochilov - O‘zbekiston gidroenergetikasining istiqbollari - Suv resurslari va gidrotexnika inshootlaridagi muammolar va ularning yechimlari Respublika ilmiy-amaliy anjumani. “TIQXMMI” MTU ning Qarshi irrigatsiya va agrotexnologiyalar instituti Qarshi-2023.