

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ТҮЙЧИЕВ ФУРҚАТ НУМОНОВИЧ

**КАТТА НИСБАТЛИ ҚУТБЛАРИ ҰЗГАРУВЧАН
ЧУЛҒАМНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ ВА ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергетик станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БҮЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Тўйчиев Фурқат Нумонович

Катта нисбатли кутблари ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиш ва
тадқиқ қилиш 3

Туйчиев Фуркат Нумонович

Разработка и исследование полюсопереключаемой обмотки
на большое соотношение полюсов 21

Tuychiev Furkat Numonovich

Development and research of pole-changing winding for large poles ratio..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ТЎЙЧИЕВ ФУРҚАТ НУМОНОВИЧ

**КАТТА НИСБАТЛИ ҚУТБЛАРИ ЎЗГАРУВЧАН
ЧУЛҒАМНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ ВА ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергетик станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

**ТЕХНИКА ФАHLАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.2.PhD/Т205 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация иши Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Бобожанов Махсуд Қаландарович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Пирматов Нурали Бердиёрович
техника фанлари доктори, профессор

Арипов Назиржон Мукарамович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Навоий давлат кончилик институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 рақамли Илмий кенгашининг 2021 йил “___” _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй). Тел.: (99871) 246-46-00, факс.: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ ___ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./ факс: (99871) 227-03-41.

Диссертация автореферати 2021 йил “___” _____ куни тарқатилди.

(2021 йил “___” _____ - рақамли реестр баённомаси).

Қ.Р.Аллаев

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор, академик

О.Х.Ишназаров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий қотиби,
техника фанлари доктори, профессор

Т.Ш.Гайибов

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD)диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда саноатнинг кўп соҳаларида ҳамда омборларда юкларни кўчириш ва ташиш мақсадида юк кўтариш - транспорт машиналари, жумладан кранлар, конвейерлар ва тельферлар кенг қўлланилиб, ушбу механизмларнинг кенг тарқалганлиги ва ўрнатилган қувватлари катталиги ҳамда ишлаш режими мураккаблигини инобатга олиб, уларнинг электр юритмасини такомиллаштириш орқали электр энергияси ва ресурсларни тежаш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «...ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва технологик жараёни автоматлаштириш, шунингдек, янги технологияларни ишлаб чиқаришга жорий этиш бўйича изланишлар олиб борилмоқда»¹. Бу борада, жумладан юқори инерцион ва юк кўтариш-транспорт механизмларини ишга тушириш жараёнини енгиллаштириш ва аниқ тўхташини таъминлаш имконини берувчи ҳамда энергия ва ресурс тежовчи янги электр юритмаларни яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ростланувчи электр юритмаларни ишлаб чиқиш ва мавжудларини такомиллаштириш, шунингдек уларнинг эксплуатацион тавсифларини яхшилаш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмаси талабларига жавоб берадиган икки тезликли моторлар ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга, икки тезликли электр моторлар учун яхшиланган электромагнит хоссаларга эга ва ишлаб чиқариш технологияси содда бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқиш долзарб масала ҳисобланади.

Республикамизда электр энергияси ва ресурслардан оқилона фойдаланиш ва исрофларни камайтиришга ёрдам берадиган янги технологияларни яратиш бўйича тадқиқотлар ўтказиш ва уларни амалда қўллаш бўйича кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида, жумладан, «... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, ...»² бўйича вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмаси талабларига жавоб берадиган электромагнит хоссалари яхшиланган ва ишлаб чиқариш технологияси содда бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи моторларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», 2016 йил 13 июлдаги ПҚ-2559-сон «Электр энергетика соҳасида илмий-техникавий фаолиятни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларини амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс-тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳоннинг етакчи илмий марказларида ва олий таълим муассасаларида, жумладан RWTH Aachen University, Siemens AG (Германия), Huazhong University of Science and Technology (Хитой), University Politehnica of Bucharest (Руминия), ASEA (Швеция), Бутунроссия қишлоқ хўжалигини механизациялаш ва электрлаштириш илмий-тадқиқот институти, Волга давлат муҳандис-педагогика университети (Россия), Одесса миллий политехника университети (Украина) ва Тошкент давлат техника университетида (Ўзбекистон) икки тезликли моторлар учун қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш бўйича долзарб масалаларни ечишга қаратилган кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Кўп тезликли моторларни лойиҳалаш муаммоларини ечиш ва қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилишдаги илмий муаммоларни ҳал қилишда бир қатор таниқли хорижий олимлар, жумладан R.Dahlander, G.H.Rawcliffe, W.Fong, A.W.Broadway, J.F.Eastham, H.Auinger, А.М.Харитонов, А.И.Антоненко, В.И.Попов, В.Н.Ванурин, М.К.Захаров, Л.Я.Беликова ва бошқалар катта ҳисса қўшишган.

Республикамизда кўп тезликли моторлар учун чулғам схемаларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш борасида Х.Ғ.Каримов, Ю.А.Тупогуз М.Қ.Бобожанов ва Д.А.Рисмухамедовлар томонидан илмий изланишлар олиб борилган ҳамда бир қатор ижобий натижаларга эришилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамадан, олинган қутблар сони ўзгарувчан чулғамларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, сўнгги йилларда қабул қилинган янги стандартга мос статор учун яхшиланган электромагнит хоссаларга эга ва ишлаб чиқариш технологияси содда бўлган қутблар сони катта нисбатли чулғам схемалари ҳали ишлаб чиқилмаган ҳамда уларнинг хоссалари етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур ишда статор пазлари 30 га тенг бўлган магнит ўзак асосида икки тезликли моторлар учун янги қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаси ишлаб чиқилган ва юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмаси талабларига мувофиқлиги атрофлича кўриб чиқилиб, унинг ечимлари таклиф этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети илмий тадқиқот ишлари режасининг А-3-65 рақамли «Вентилятор типдаги юклама механизмлар юритмасидаги асинхрон моторларни такомиллаштириш ва иш режимларини оптималлаш» (2015-2017) ва ОТ-Атех-2018-357 рақамли «Контактсиз қурилмаларни қўллаш орқали электр таъминоти тизимини ишончлилиги ва энергия самарадорлигини ошириш» (2018-2020) мавзуларидаги амалий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади юк кўтариш-транспорт механизмлари электр моторлари учун қутблари нисбати катта бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

юк кўтариш-транспорт механизмлари юритмасидаги асинхрон моторларни поғонали ишга тушириш учун тезликлар нисбати катта бўлган қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқиш;

тоқ сонли қутбларга ва содда тайёрлаш технологиясига эга чулғамлар схемасини олиш учун дискрет берилган фазовий функциялар усулини такомиллаштириш;

қутблари ўзгарувчан чулғам электромагнит кўрсаткичларини таҳлил қилиш учун юқори гармоник ташкил этувчилар ва магнит юритувчи куч шаклини тузиш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

асинхрон мотор фазаларида токнинг вақтга боғлиқ равишда ўзгариши магнит юритувчи кучлар шакли ҳамда чулғам гармоник таркибига таъсирини тадқиқ қилиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида юк кўтариш-транспорт механизмлари ва конвейерлар юритмасидаги асинхрон моторлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи электр моторларнинг электромагнит ва энергетик кўрсаткичлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Электр машиналар назарияси, қутблари сони ўзгарувчан чулғамларни шакллантириш усули, чизикли ва матрицали алгебралар назарияси, формализациялашган мантиқ усули, векторли ва гармоник таҳлил усули асосида электр моторлар иш режимининг энергетик ва электромагнит кўрсаткичларини ҳисоблаш усулларида фойдаланилган ҳолда статик ва механик таснифларини экспериментал тадқиқ қилиш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

асинхрон моторларни поғонали ишга тушириш учун қутблар сони ўзгарувчан чулғам схемаси ишлаб чиқилган;

«юлдуз-жуфт юлдуз» базавий схема асосида тоқ сонли қутбларга эга чулғамлар олиш учун дискрет берилган фазовий функциялар усули такомиллаштирилган;

матрицалар усули асосида кутблари ўзгарувчан чулғам таркибидаги юқори гармоникаларни ҳисоблаш ва магнит юритувчи куч шаклини тузиш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

магнит юритувчи куч шакллари аниқлаш усули фазаларда ток ўзгариши асосида такомиллаштирилган ва чулғам гармоник таркибига вақт ўзгариши таъсир этмаслиги исботланган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

электр моторлар ҳаво оралиғида турли хил вақт моментларида пайдо бўладиган магнит юритувчи куч шакллари қуриш ва ҳисоблаш учун дастурий маҳсулот яратилган;

икки тезликли моторларда чулғам томондан вужудга келтириладиган юқори гармоникаларини ҳисоблаш учун дастурий маҳсулот яратилган;

энергетик кўрсаткичларини ўрганиш учун кутблар сони ўзгарувчан моторнинг имитацион модели ишлаб чиқилган;

юк кўтариш-транспорт механизмлари юритмасида қўллаш учун янги кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли моторнинг тажриба нусхаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги икки тезликли моторнинг ҳисобий ва Ansys Maxwell дастурий модули ёрдамида олинган параметрларининг ўзаро мувофиқлиги, шунингдек, назарий ва экспериментал натижаларининг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти юк кўтариш-транспорт механизмлари ва конвейерлар электр юритмасини такомиллаштириш, янги стандартга мос статор пазлари сони 30 га тенг бўлган электр моторлар учун юқори электромагнит параметрлар ва содда тайёрлаш технологиясига эга кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кутблар сони ўзгарувчан чулғамли моторни юк кўтариш-транспорт механизмлари ва конвейер юритмаларида қўллаш, кўчириладиган юкни текис тушириш орқали унинг яхлитлигини таъминлаш ҳамда кам юкланган режимларда электр энергиясини тежаш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юк кўтариш-транспорт механизмлари ва конвейерлар электр юритмасини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

икки тезликли электр машинаси учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам схемасига Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан ихтирога патент олинган (№ IAP 05385, 23.03.2017 й.). Натижада, статор пазлар сони 30 га тенг бўлган магнит ўзак асосида электромагнит кўрсаткичлари яхшиланган ва содда тайёрлаш технологиясига эга кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи мотор яратиш имконини берган;

тельфер электр юритмасида юк кўчириш жараёнини такомиллаштирувчи ва маҳсулот бутунлигини таъминловчи икки тезликли мотор «QARSHI BEST SHOES» МЧЖда жорий қилинган («Ўзсаноатқурилиш-материаллари»

уюшмасининг 2020 йил 26 ноябрдаги 05/15-3693-сонли маълумотномаси). Натижада, корхонанинг юк кўтариш-транспорт механизми ёрдамида кўчирилаётган юкнинг яхлитлигини таъминлаш ҳисобига бир йилда 31,4 млн. сўмлик иқтисодий самарадорликка эришилган;

лентали конвейер электр юритмаси иш режимини юкламанинг кун давомида ва мавсумий ўзгаришига мослаштирувчи ва электр энергияни тежовчи қутблар сони ўзгарувчан мотор «LAZURITE INVEST GROUP» МЧЖда жорий қилинган («Ўзсаноатқурилишматериаллари» уюшмасининг 2020 йил 26 ноябрдаги 05/15-3693-сонли маълумотномаси). Натижада, қутблар сони ўзгарувчан асинхрон моторни қўллаш орқали кам юкланган режимда электр энергия истеъмоли 17,5% га камайган ва бир йилда 53 млн. сўмлик иқтисодий самарадорликка эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган республика журналларда 8 та, хорижий журналларда 3 та мақолалар чоп этирилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 98 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети келтирилган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиялар тараққиётини устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва олинган натижаларнинг илмий-амалий аҳамияти, тадқиқот натижалари амалиётга жорий қилинганлиги, диссертация иши мавзуси бўйича тадқиқот натижалари апробацияси ва нашр этилган илмий ишлар тўғрисидаги, шунингдек, диссертация таркиби ва ҳажми тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмалари ва қутблар сони ўзгарувчан чулғам олиш усуллари таҳлили**» деб номланган биринчи бобида юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмасидаги тезлиги ростланмайдиган асинхрон мотор ўрнига тезлиги ростланувчи электр мотордан фойдаланиш зарурлиги асосланган.

Юк кўтариш-транспорт механизмлари учун берилган юкларни аниқ тўхташини таъминлаш масаласи кўриб чиқилган ва талабни бажариш учун қуйи тезлик зарурлиги асослаб берилган. Электр моторлар тезлигини ростлаш бўйича адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, электр юритмаларда тезликни

икки тезликли моторларни қўллаш орқали ростлаш содда, арзон ва ишончли вариант ҳисобланади.

Мавжуд юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмасидаги икки тезликли моторлар статор пазларида иккита алоҳида чулғамлар жойлаштирилган бўлиб, шу сабабли мотор магнит ўзагидан самарали фойдаланилмайди, ўз ўрнида битта кутблар сони ўзгарувчан чулғамдан (ҚСЎЧ) фойдаланиш эса мотор энергетик кўрсаткичларни яхшилаш, чулғам миси ва изоляцияловчи материалларни тежаш имконини беради.

Икки тезликли моторлар учун кутблари сони ўзгарувчан чулғам схемаларини қуришнинг мавжуд усуллари ва принципларини қўллаган ҳолда, ишлаб чиқилган чулғам схемаларининг аксариятида клеммалар ва узиб-улаш контактлар сони кўплиги, электромагнит хоссалари ёмонлиги ҳамда тайёрлаш технологияси мурракаблиги сабабли амалиётда кенг қўламда қўлланилмайди.

Электр энергияси ва табиий ресурслардан оқилона фойдаланиш нуқтаи назаридан юк кўтариш-транспорт механизмларининг ишлаш режимларини таҳлил қилиш асосида кутблари нисбати 1:5 бўлган якка чулғамли икки тезликли мотор яратиш ва уни қўллаш орқали мавжуд электр юритма тизимларини такомиллаштириш мақсадга мувофиқлиги асослаб берилган.

Диссертациянинг «Юк кўтариш-транспорт механизмлари моторлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш» деб номланган иккинчи бобда юк кўтариш-транспорт механизмлари юритмасида қўлланиладиган асинхрон моторлар учун кутблар нисбати 1:5 бўлган ҚСЎЧ схемасини ишлаб чиқишга бағишланган.

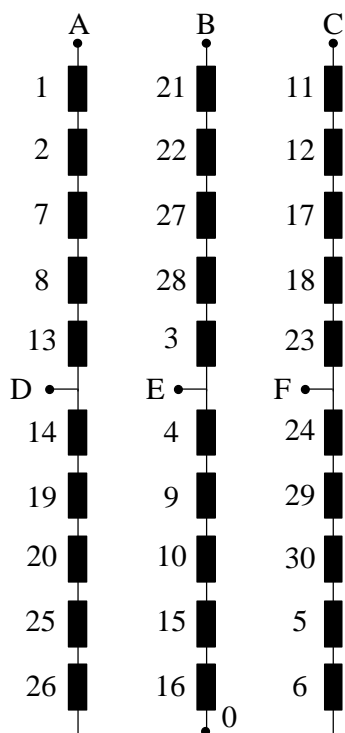
Ушбу бобда келтирилган ҚСЎЧ қуриш тартиби дискрет берилган фазовий функция (ДБФФ) кўринишида тақдим этилган иккита оддий чулғамнинг токлар тақсимотини биргаликда кўриб чиқиш принципига асосланади. Турли базавий схемалар (БС) асосида кутблар нисбати катта бўлган ҚСЎЧ схемаларини ишлаб чиқиш ўзига хос бўлиб, масалан «У/УУ» базавий схема бўйича олинган ҚСЎЧдан оғир режимларда ишловчи асинхрон моторларда фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Жумладан, юк кўтариш-транспорт механизмларининг юритмасида «У/УУ» схема асосида ҚСЎЧ олишда бирор бир кутбга мос келадиган ДБФФни синтезлаш лозим бўлади.

Мисол тариқасида, статор пазлари сони 30 ва кутблар нисбати 1/5 бўлган ҚСЎЧ схемасини олиш жараёни кўриб чиқилган. Бошланғич чулғам сифатида $p_2=5$ бўлган m -зонали нормал чулғам ва типик чулғам сифатида эса $p_1=1$ бўлган $2m$ -зонали нормал чулғам олинган. Ушбу чулғамларнинг биттадан қатламлари ўзаро бир-бирининг остига ёзилади (1-жадвал).

1-жадвал

2 $p_1=2$ кутбли чулғамни синтезлаш

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Пазлар
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	$p_2=5$ бошл.
a	a	a	a	a	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	b	b	b	b	b	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	c	c	c	c	c	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	$p_1=1$ типик
a	a	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	a	a	<u>b</u>	<u>b</u>	c	c	a	a	<u>b</u>	<u>b</u>	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	<u>c</u>	<u>c</u>	$p_1=1$ син.



1-расм. Кутблари нисбати 1:5 бўлган ҚСЎЧ электр схемаси

(2-расм), чулғам қадами $y=15$ бўлганда $2p_1$ ва $2p_2$ кутб томонда чулғам коэффицентлари мос равишда $k_{чул1}=0,633$ ва $k_{чул2}=0,866$ га тенг (2- ва 3-жадвал).

Синтезланган чулғамнинг ДБФФни олишда типик чулғамнинг ДБФФдан фойдаланиб, бошланғич чулғамни ДБФФни «модуляциялаш» йўли билан олинади. Ушбу жараённинг асосида ҚСЎЧни $2p_1$ кутб томонидаги тоқлар тақсимланиши ва магнит юритувчи куч (МЮК) эгри чизигини типик чулғам тоқлар тақсимланиши ва МЮК эгри чизигига яқинлаштириш принципи ётади. Ўтказгичлар ҳолатини «яқинлаштириш» деган тушунчанинг маъноси, ҳар бир пазда синтезланадиган чулғам ДБФФ ўтказгичи ҳолатини типик чулғам ДБФФ ўтказгичи ҳолатига ва уч фазали тизимда фаза тоқлар векторига боғлиқ ҳолда аниқлашдан иборат.

Олинган ДБФФ бўйича ҚСЎЧ электр схемасини тузиш мумкин (1-расм).

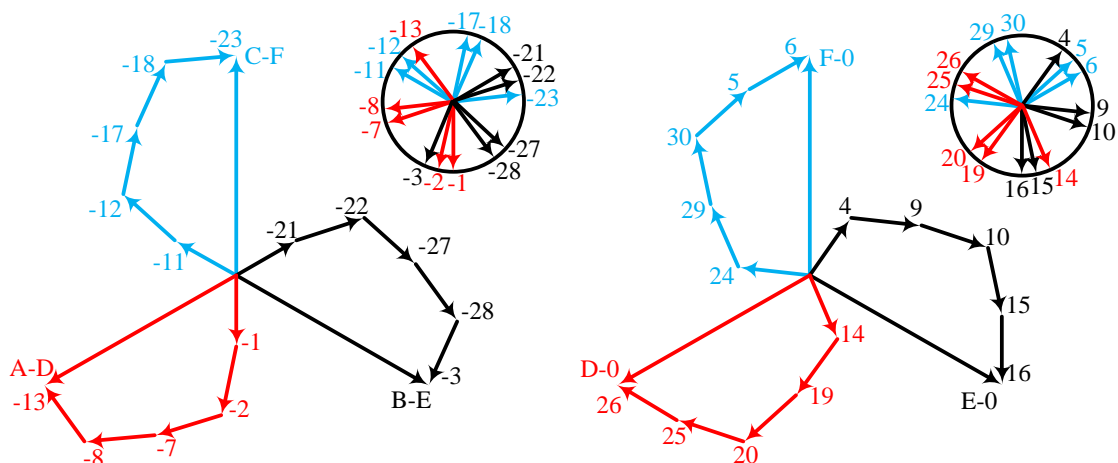
Олинган чулғам ҳар иккала кутб томондан ҳам таъминлаш манбасига нисбатан мутлақо симметрик, ҳар бир фазанинг бир хил номдаги шахобчаларининг ЭЮК векторлари бир-бири билан ўзаро симметрик, яъни амплитуда бўйича тенг ва фаза бўйича $2\pi/3$ эл.рад. бурчакка бурилган

2-жадвал

$p_1=1$ томон учун чулғам маълумотлари						
	«Y/YU» базавий схема шахобчаси					
	A-D	D-0	B-E	E-0	C-F	F-0
A	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33
$k_{чул}$	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633
φ	240	240	120	120	0	0

3-жадвал

$p_2=5$ томон учун чулғам маълумотлари			
	«Y/YU» базавий схема шахобчаси		
	A-0	B-0	C-0
A	17,32	17,32	17,32
$k_{чул}$	0,866	0,866	0,866
φ	30	150	270



2-расм. $p_I=1$ кутб учун паз ЭЮК юлдузи

Диссертациянинг «Қутблар сони ўзгарувчан чулғам электромагнит таркибини таҳлил қилиш» деб номланган учинчи бобида иккала кутб томондан ҳам электромагнит хусусиятлари яхши бўлган чулғам оптимал қадамани аниқлаш учун ҚСЎЧ хоссаларини таҳлил қилишга бағишланган.

Матрица усулидан фойдаланган ҳолда ν -тартибли гармоникага мос келувчи чулғам коэффицентлари аниқланган. Ўзгарувчан ток чулғами ЭЮК матрица усули билан тадқиқ қилишда кўп фазали чулғам ЭЮК векторини k -рақамли фаза ва ν -тартибли гармоникаси учун куйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\dot{E}_{\phi_{k\nu}} = E_{\phi_k} \cdot e^{j\phi_{k\nu}} \quad (1)$$

бу ерда, E_{ϕ_k} -ЭЮК вектор модули; $\phi_{k\nu}$ - $\dot{E}_{\phi_{k\nu}}$ векторни мусбат горизонтал ўққа нисбатан бурилиш бурчаги.

ν -тартибли гармоника учун пазлар ЭЮК бирлик векторларини $[\dot{e}_z]_\nu$ матрицага келтирилса, у куйидаги кўринишда ёзилади:

$$[\dot{e}_z]_\nu = \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ z \end{matrix} \begin{bmatrix} \cos \nu 0 & \sin \nu 0 \\ \dots & \dots \\ \cos \nu \gamma & \sin \nu \gamma \\ \dots & \dots \\ \cos \nu (i-1) \gamma & \sin \nu (i-1) \gamma \\ \dots & \dots \\ \cos \nu (z-1) \gamma & \sin \nu (z-1) \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix} = [\dot{e}'_z]_\nu + j[\dot{e}''_z]_\nu \quad (2)$$

бу ерда, $\dot{e}'_{z\nu} = \cos \nu (i-1) \gamma$ ва $\dot{e}''_{z\nu} = \sin \nu (i-1) \gamma$ - $[\dot{e}'_z]_\nu$ ва $[\dot{e}''_z]_\nu$ матрицанинг i -қатор элементлари, матрицани чап қаторига пазлар рақами ($i = 1 \dots z$) ёзилган.

ν -тартибли гармоникани k -рақамли $E_{\phi_{k\nu}}$ фаза ЭЮКсини ва уни $k_{\text{чул}}$ чулғам коэффицентини куйидагича ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{\phi_{k\nu}} &= [C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}_z]_\nu \\ E_{\phi_{k\nu}} &= \sqrt{([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}'_z]_\nu)^2 + ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}''_z]_\nu)^2} \\ \text{tg } \varphi &= ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}''_z]_\nu) / ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}'_z]_\nu) \\ k_{\text{чул}} &= E_{\phi_{k\nu}} / N_{\text{пк}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

бу ерда, $[C_\phi]_{T_k}$ – k -рақамли фазани транспонирланган матрицаси, N_{nk} – k -рақамли фазадаги ўтказгичлар сони, ушбу фазанинг $[C_\phi]_k$ матрицасидаги элементлар модуллари йиғиндисига тенг.

4-жадвалда ҚСЎЧ турли тартибли гармоникаларга мос чулғам коэффициентлари қийматларини унинг учта қадами учун ҳисоблаш натижалари келтирилган.

4-жадвал

Чулғам коэффициентлари қийматлари

Z	BC	2p	y	Гармоника рақами																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
30	Y/YU	2	14	0,630	0,021	0,190	0,196	0,755	0,362	0,240	0,183	0,118	0,458	0,176	0,138	0,047	0,134	0,000	0,134	0,047
			15	0,633	0,000	0,200	0,000	0,872	0,000	0,413	0,000	0,200	0,000	0,433	0,000	0,226	0,000	0,200	0,000	0,226
			16	0,630	0,021	0,190	0,196	0,755	0,362	0,240	0,183	0,118	0,458	0,176	0,138	0,047	0,134	0,000	0,134	0,047
		10	14	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750
			15	0,866	0,000	0,000	0,000	0,866	0,200	0,436	0,200	0,100	0,200	0,436	0,200	0,436	0,200	0,100	0,200	0,436
			16	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750

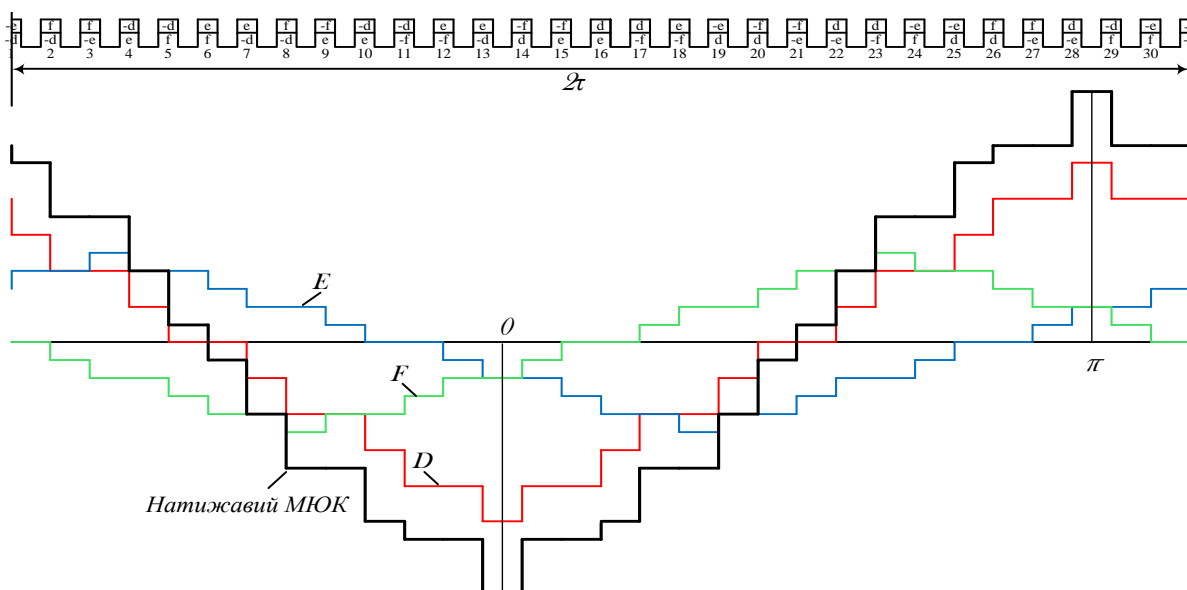
3-расмда ҳар бир фазанинг МЮК ва натижавий МЮК катталиклари келтирилган бўлиб, кичик поғоналарда ҳар битта гармоника амплитудасининг улуши ҳисобланган. Уч фазали чулғам учун МЮК ифодаси:

$$F_{vm} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos \nu x dx = \frac{2}{\pi \nu} (1,5 \sin \nu 6^\circ + 0,5 \sin \nu 30^\circ + 1,5 \sin \nu 42^\circ +$$

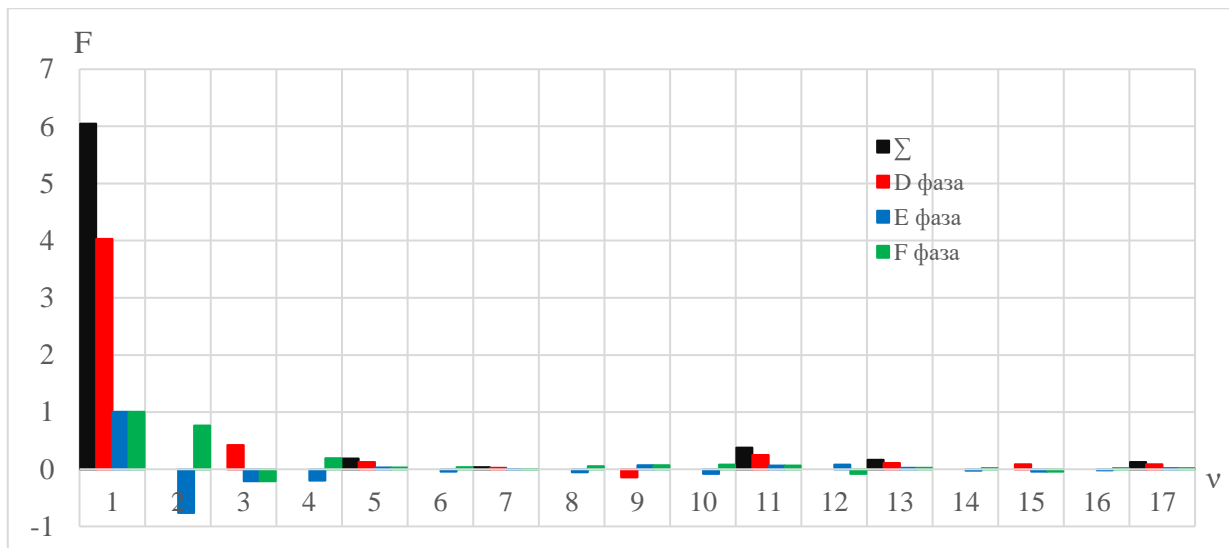
$$+ 1,5 \sin \nu 66^\circ + 1,5 \sin \nu 78^\circ + \sin \nu 90^\circ + 1,5 \sin \nu 102^\circ + 1,5 \sin \nu 144^\circ +$$

$$+ 1,5 \sin \nu 138^\circ + 0,5 \sin \nu 150^\circ + 1,5 \sin \nu 178^\circ) \quad (4)$$

Статор пазлари 30 га тенг ва кутблари нисбати 1:5 бўлган, «Y/YU» базавий схемаси асосидаги ҚСЎЧ $2p_1=2$ кутб томони учун чулғам қадами $y=15$ бўлганда МЮК чизмаси таркибида биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитуда қийматлари умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида мос равишда 2,75%, 0,5%, 5,41%, 2,39%, 1,83% ни ташкил этади (4-расм).

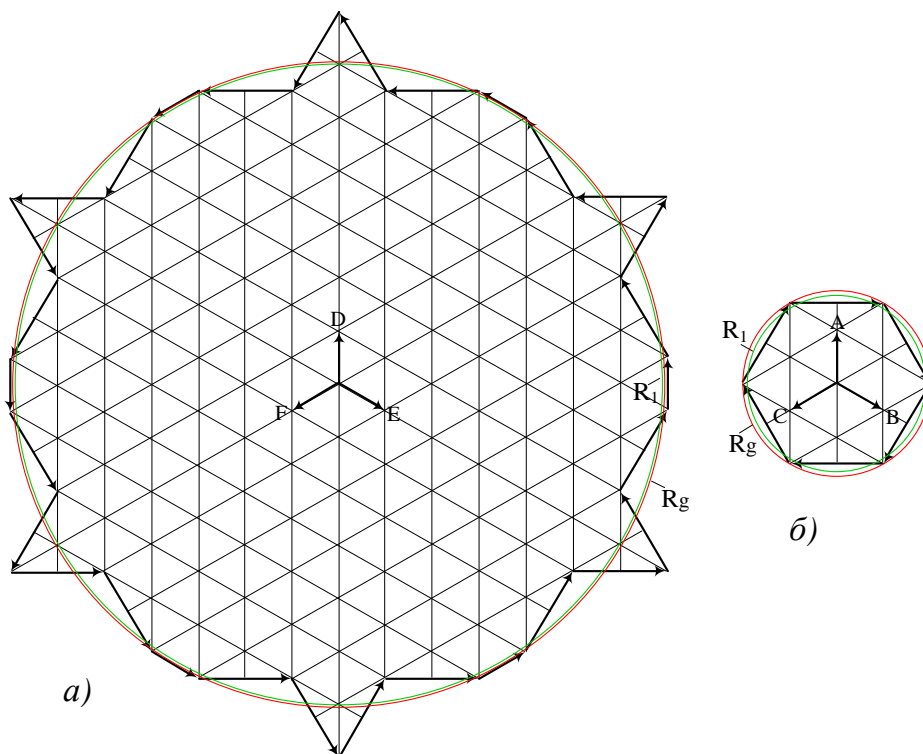


3-расм. Уч фазали чулғамнинг $p=1$ томони учун МЮК чизмаси



4-расм. Статор пазлари 30 бўлган чулғам $p_1=1$ томони учун МЮК юқори гармоникалар амплитудалари

МЮК эгри чизиғини турли вақт моментлари учун қуриш, айниқса битта қутб ва фазага тўғри келувчи пазлар сони q катта бўлиб, барча фазалардаги тоқлар оний қиймати вақтга боғлиқ равишда турлича бўлган ҳолат учун етарли даражада мураккаб масала ҳисобланади. Ушбу масаланинг ечимини МЮК кўпбурчагини (Гёргес диаграммаси) қуриш ва уни асосида дифференциал сочилиш коэффицентини аниқлаш орқали анча енгиллаштириш ва соддалаштириш мумкин. $Z=30$, $y=15$ бўлган ва «Y/YУ» базавий схема асосидаги ҚСЎЧнинг Гёргес диаграммасини қуриш (5-расм) МЮК эгри чизиғида юқори гармоникалар таркиб даражасини миқдор жиҳатдан баҳолашга имкон беради.



5-расм. Янги ҚСЎЧ Гёргес диаграммаси:
 а) $2p_1=2$ томон учун, б) $2p_2=10$ томон учун

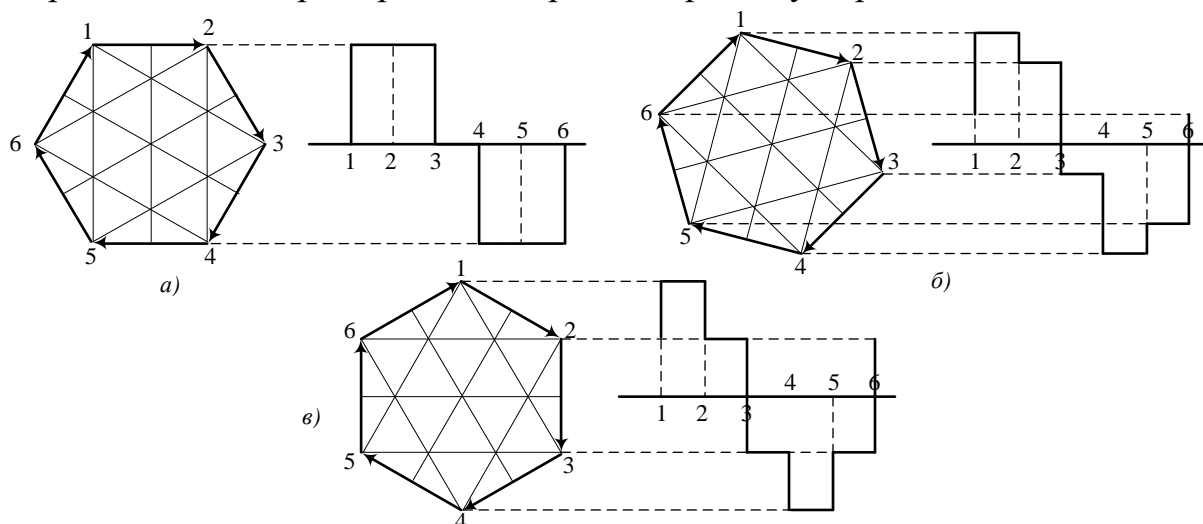
Статор пазлар сони 30 га тенг ва кутблар нисбати 1:5 бўлган ҚСЎЧ чулғам қадами $y=15$ бўлганда, $2p_1=2$ кутб томони учун дифференциал сочилиш коэффиценти $\sigma_0=1,3\%$, $2p_2=10$ кутб томони учун эса $\sigma_0=9,7\%$. Агар чулғам қадами битта пазга оширилса ёки камайтирилса, σ_0 қиймати ошади (5-жадвал), бу эса гармоник таркиб ёмонлашганидан далолат беради.

5-жадвал

Дифференциал сочилиш коэффиценти

Пазлар сони	БС	Чулғам қадами	$\sigma_0, \%$	
			$2p=2$	$2p=10$
30	Y/YU	14	1,53	21,8
		15	1,3	9,7
		16	1,53	21,8

Гёргес диаграммасини вертикал ўққа проекциялаш орқали турли вақт momenti учун МЮК эгри чизиғини олиш мумкин. 6-расмда $p_2=5$ кутб томон учун Гёргес диаграммаси ва МЮК шаклини турли вақт momentида ўзаро боғлиқлиги келтирилган. Бунда МЮК эгри чизиғининг поғонали шакли ўзгаради, аммо юқори гармоникаларнинг таркиби ўзгармасдан қолади.



6-расм. $p_2=5$ кутб томон учун Гёргес диаграммаси ва МЮК шаклини турли вақт momentида ўзаро боғлиқлиги, $T=1/f$: а) 0 с учун; б) $T/24$ с учун; в) $T/12$ с учун

Шундай қилиб, Гёргес диаграммасидан фойдаланиш орқали исталган вақт momenti учун МЮК эгри чизиғининг ўзгаришини таҳлил қилиш мумкин.

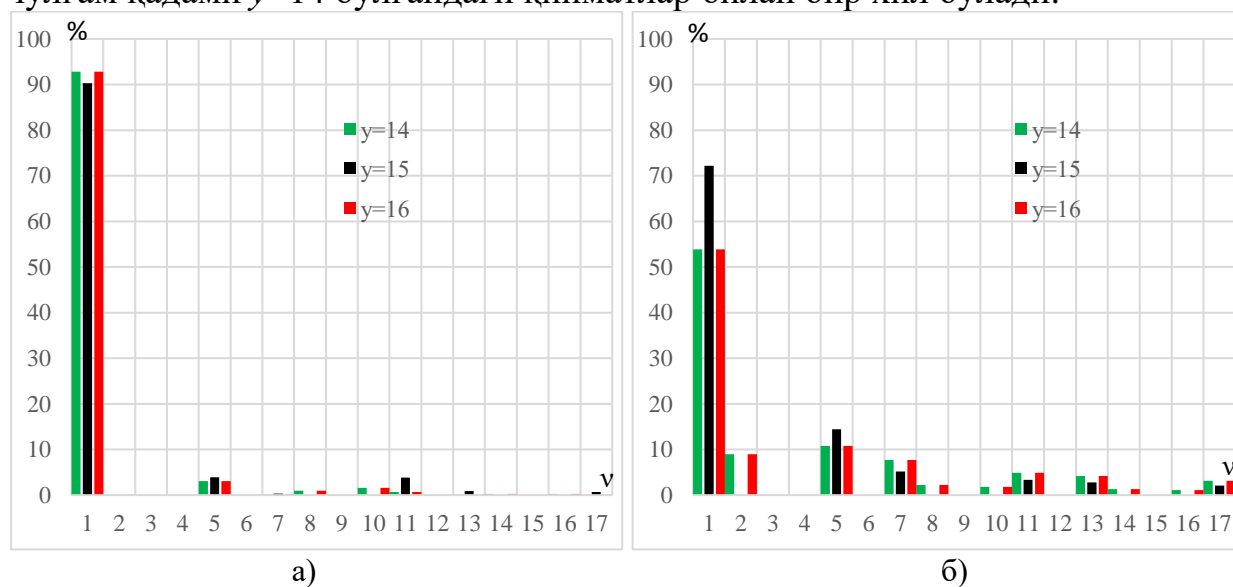
ҚСЎЧ электромагнит таркибини таҳлил қилишда ҳисобий маълумотлар бир вақтнинг ўзида иккала кутб учун ҳам чулғамнинг турли қадамларида кўриб чиқилади. Олинган ҳисобий маълумотларни таҳлил қилиш орқали, иккала кутб томони талабларига жавоб берадиган, яъни электромагнит ва технологик кўрсаткичлар нуқтаи назаридан энг яхши бўлган чулғам қадамини аниқлаш керак.

Статор пазлари 30 га тенг ва кутблари 1:5 нисбатли, «Y/YU» базавий схема асосидаги ҚСЎЧ $2p_1=2$ кутб томони учун қадам $y=14$ бўлганда МЮК шаклида (7,а-расм) биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам

коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида 0,05%, 3,07%, 0,15%, 0,98%, 1,62%, 0,66%, 0,05%, 0,29%, 0,27%, 0,02% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma_0=1,53\%$ га тенг.

Чулғам қадами $y=15$ бўлганда биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13- ва 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида 3,92%, 0,35%, 3,85%, 0,87%, 0,68% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma_0=1,3\%$ га тенг.

Агар чулғам қадами яна битта пазга узайтирилса ($y=16$), дифференциал сочилиш коэффициенти ва МЮК гармоник таркибининг ташкил этувчилари чулғам қадами $y=14$ бўлгандаги қийматлар билан бир хил бўлади.



7-расм. МЮК гармоник таркиби: а) $p_1=1$ томон учун; б) $p_2=5$ томон учун

$2p_2=10$ кутб томони учун чулғам қадами $y=14$ бўлганда МЮК шаклида (7,б-расм) биринчи гармоникадан ташқари 2-, 5-, 7-, 8-, 10-, 11-, 13-, 14-, 16- ва 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида 8,98%, 10,78%, 7,67%, 2,26%, 1,81%, 4,91%, 4,16%, 1,3%, 1,1%, 3,16% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma_0=21,8\%$ га тенг.

Чулғам қадами $y=15$ бўлганда катта кутб томонида МЮК шаклида биринчи гармоникадан ташқари 5-, 7-, 11-, 13-, 17-гармоникалар мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси чулғам коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда умумий гармоникага нисбатан фоиз ҳисобида 14,42%, 5,19%, 3,33%, 2,77%, 2,12% ни ташкил этади, дифференциал сочилиш коэффициенти эса $\sigma_0=9,7\%$ га тенг.

Чулғам қадами $y=16$ га тенг бўлса, дифференциал сочилиш коэффициенти ва МЮК гармоник таркибининг ташкил этувчилари чулғам қадами $y=14$ бўлгандаги қийматлар каби бўлади.

ҚСЎЧ таҳлилидан кўринадики, чулғам қадами $y=15$ бўлганда $2p_1=2$ кутб томони учун юқори гармоник ташкил этувчилар минимал (жуфт гармоникалар

мавжуд эмас) ва мос равишда дифференциал сочилиш коэффициентининг қиймати энг кичик бўлади. Ушбу кадамда $2p_2=10$ кутб томони учун МЮК эгри чизиғида жуфт гармоникалар мавжуд эмас ва биринчи гармониканинг қиймати нисбатан юқори (умумий гармоника амплитудасининг 72,18% ташкил этади), Гергес диаграммасининг шакли айланага яқин ва дифференциал сочилиш коэффициентининг қиймати ҳам минимал ($\sigma_0=9,7\%$).

Юк кўтариш-транспорт механизмлари талабларига кўра, икки тезликли моторда юқори тезлик асосий ҳисобланади ва унда мотор узоқ вақт давомида ишлатилади, иккинчи кичик тезлик эса қисқа муддатда ишлатилади ва юкни жойидан кўзғатиш учун ишга тушириш моменти катта бўлиши кераклигини инобатга олган ҳолда, чулғам учун оптимал кадам сифатида $u=15$ олинди.

Диссертациянинг «**Қутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликли асинхрон моторни лойиҳалаш ва экспериментал тадқиқ қилиш**» деб номланган тўртинчи бобида қутблар сони ўзгарувчан чулғамли асинхрон моторни Ansys Maxwell дастурий модулидан фойдаланган ҳолда имитацион модели ҳамда ҳисоблаш натижалари бўйича тажриба-синов нусхаси ишлаб чиқилиб, статик режимда ўтказилган экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган.

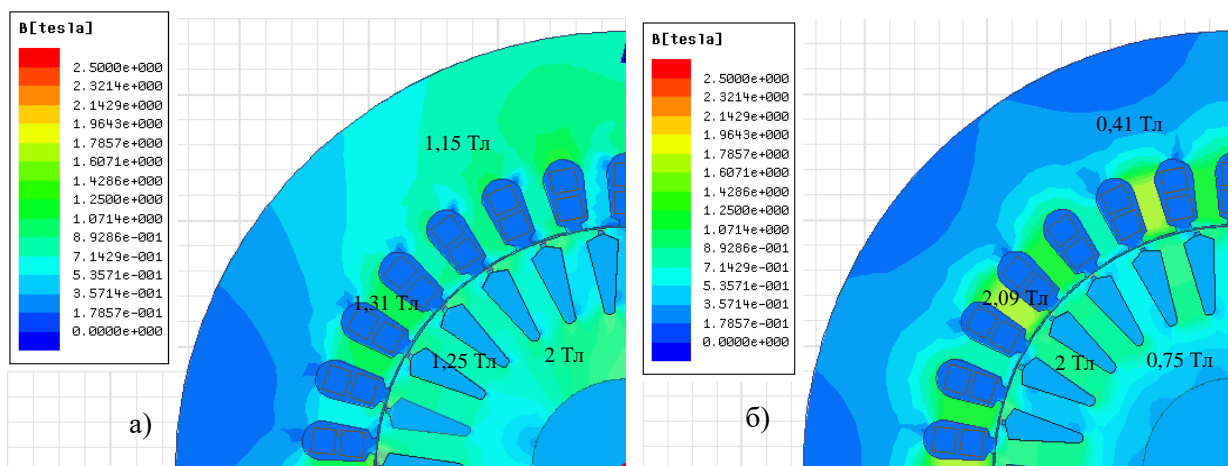
Тадқиқот объекти сифатида қисқа туташган роторли АИР112М2/10 типдаги икки тезликли асинхрон мотор кўриб чиқилган. ҚСЎЧ асосидаги икки тезликли моторнинг имитацион модели Ansys Maxwell RMxprt дастурий модули ёрдамида яратилди. Ушбу имитацион модель тадқиқи шуни кўрсатдики, $p_1=1$ кутб томонда P_2 фойдали қувват қиймати 4 кВт ва ушбу қувватга мос келадиган ф.и.к. ва $\cos\phi$ қиймати мос ҳолда 77,2% ва 0,85 ни ташкил этди, номинал ток 8 А, сирпаниш 2,5% га тенг, $p_2=5$ кутб томонда эса P_2 фойдали қувват қиймати 1 кВт ва ушбу қувватга мос келадиган ф.и.к. ва $\cos\phi$ қиймати мос ҳолда 44,4% ва 0,53 ни ташкил этди, номинал ток 6,4 А, сирпаниш 5,1% га тенг бўлди.

АИР112М2/10 моторни магнит индукциялари қийматлари ҳисоблаш йўли билан, шунингдек уларни таққослаш учун RMxprt воситасидан фойдаланиб аниқланди. 6-жадвалдан кўриш мумкинки, ҳисобий ва RMxprt воситасида олинган қийматлар ўзаро яқин бўлиб, энг катта фарқ $p_2=5$ томон учун статор тишларида 0,09 Тл ни ташкил этади. Ansys Maxwell RMxprt дастурий модули ёрдамида магнит индукцияларининг мотор магнит ўзагида тақсимланиш шакли 2D (икки ўлчамли) режимда тақдим этилган (8-расм).

6-жадвал

Статор ва ротордаги магнит индукция қийматлари

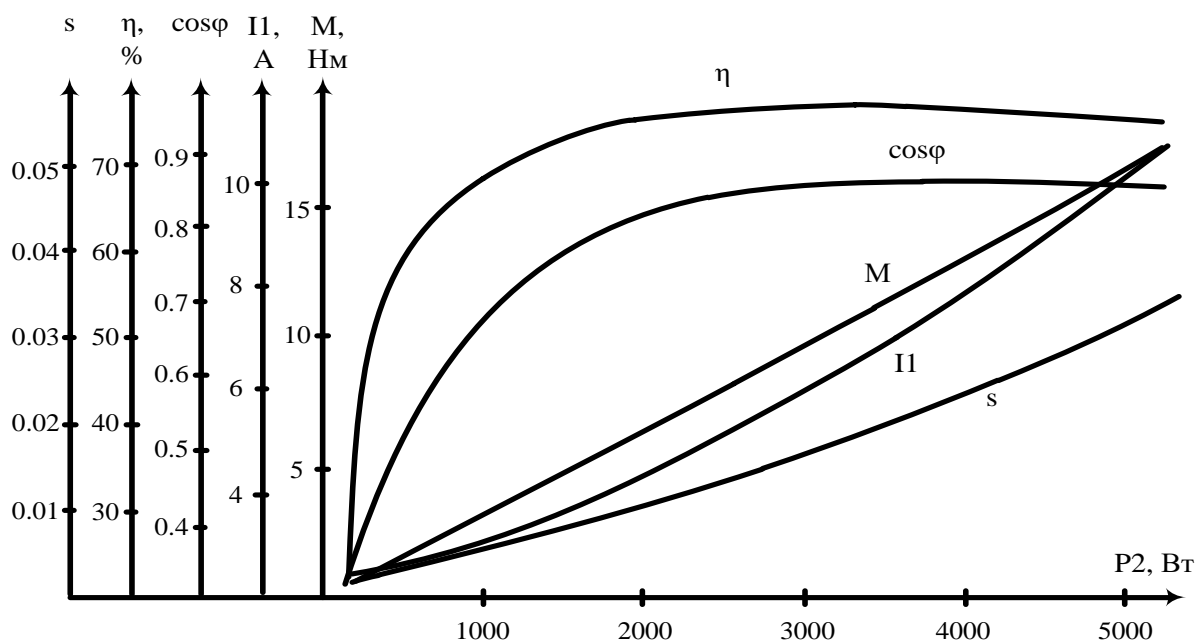
Параметрлар	$p_1=1$		$p_2=5$	
	Ҳисобий қиймат	Maxwell	Ҳисобий қиймат	Maxwell
Статор тишларининг магнит индукцияси, Тл	1,28	1,31	2	2,09
Ротор тишларининг магнит индукцияси, Тл	1,3	1,25	2,05	2
Статор ярмосининг магнит индукцияси, Тл	1,19	1,15	0,38	0,41
Ротор ярмосининг магнит индукцияси, Тл	2	2	0,68	0,75
Ҳаво оралиғидаги магнит индукция, Тл	0,56	0,53	0,9	0,85



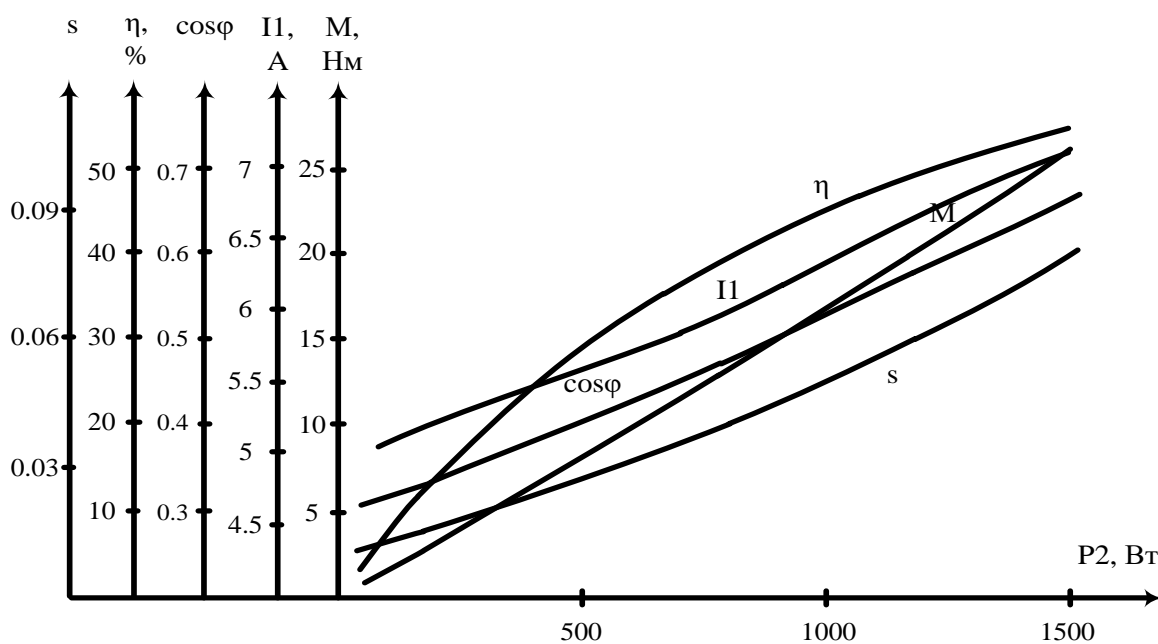
8-расм. Индукциянинг тақсимланиш шакли: а) $p_1=1$ учун, б) $p_2=5$ учун

Назарий тадқиқотлар натижалари ишончилигини экспериментал тарзда тасдиқлаш учун АИР112М2/10 мотор асосида кутблар сони ўзгарувчан чулғамли электр мотор лойиҳаланди ва тажриба-синов нусхаси яратилди. Ушбу тажриба нусхаси статик режимда экспериментал тадқиқ қилинди ҳамда ишчи ва механик тавсифлари олинди (9,10,11-расм).

Экспериментал тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатдики, $p_1=1$ кутб томонда P_2 фойдали қувват қиймати 4 кВт ва ушбу қувватга мос келадиган ф.и.к. ва $\cos\varphi$ қиймати мос ҳолда 76% ва 0,86 ни ташкил этади, номинал ток 9,1 А, сирпаниш 2,5 % га тенг, $p_2=5$ кутб томонда эса P_2 фойдали қувват 1 кВт ва ушбу қувватга мос келадиган ф.и.к. ва $\cos\varphi$ қиймати мос ҳолда 44% ва 0,53 ни ташкил этади, номинал ток 6,2 А, сирпанишнинг қиймати 5,1% га тенг.



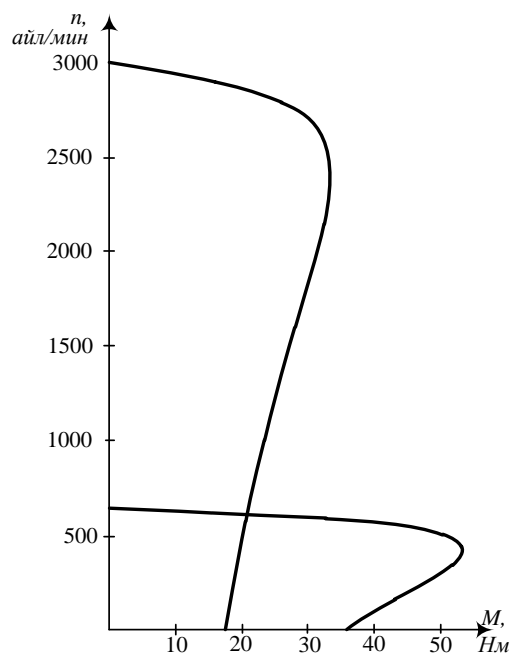
9-расм. АИР112М2/10 моторнинг $p_1=1$ кутб томони учун ишчи тавсифлари



10-расм. АИР112М2/10 моторнинг $p_2=5$ қутб томони учун ишчи тавсифлари

11-расмда янги икки тезликли АИР112М2/10 моторнинг механик тавсифлари кўрсатилган. Ушбу расмдан кўринадики, механик тавсифлар силлик кўринишга эга, $2p_2=10$ қутб томонидаги ишга тушириш моментининг қиймати 36,3 Нм ташкил этиб, бу қиймат $2p_1=2$ қутб томондаги моментдан (16,9 Нм) катта. Моторнинг ушбу хусусияти оғир ишга тушувчи механизм электр юритмаларида поғонали ишга туширишни амалга ошириш имконини беради.

Юқорида келтирилган назарий ҳисоблашлар, имитацион модел асосида ва экспериментал тадқиқотлар натижаларининг таҳлилидан шундай хулосага келиш мумкинки, янги турдаги қутблар сони ўзгарувчан чулғамли моторни юк кўтариш-транспорт механизмларида мавжуд бўлган бир тезликли моторлар ўрнига жорий қилиш орқали кам юкланган режими мавжуд ва поғонали ишга туширишни талаб қилувчи электр юритмаларида электр энергияси ва ресурсларни тежаш имконини беради.



11-расм. Янги икки тезликли моторнинг механик тавсифлари

ХУЛОСА

«Катта нисбатли кутблари ўзгарувчан чулғамни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Саноат корхоналарида ишлатилаётган юк кўтариш-транспорт механизмлари электр юритмалари иш режимларини ўрганиш ва шу соҳада адабиётлар таҳлили асосида ушбу электр юритмаларни такомиллаштириш зарурияти асослаб берилди. Натижада кутблари нисбати катта бўлган икки тезликли асинхрон моторларни ягона чулғамли кўринишда ишлаб чиқиш учун яхшиланган электромагнит параметрлари ва содда тайёрлаш технологиясига эга кутблар сони ўзгарувчан чулғамлар ишлаб чиқиш зарурлиги аниқланган.

2. Дискрет берилган фазовий функциялар методини қўллаган ҳолда «Y/YU» схема асосида статор пазлар сони 30 га тенг, кутблари нисбати 1:5 бўлган, тайёрлаш технологияси содда ва электромагнит хусусиятлари яхшиланган кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқилди, натижада Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан ихтирога патент шаклида ҳуқуқий муҳофаза олинган.

3. Ишлаб чиқилган кутблар сони ўзгарувчан чулғам электромагнит хусусиятларини таҳлили шуни кўрсатдики, мавжуд аналогга нисбатан дифференциал сочилиш коэффициенти $p=1$ кутб томонда 1,7% дан 1,3% гача, $p=5$ кутб томонда эса 15,9% дан 9,7% гача ҳамда МЮК эгри чизигида юқори гармоникалар улуши биринчи тезлик томонда 6% га ва иккинчи тезлик томонда 20% га камайган.

4. Янги икки тезликли моторни экспериментал тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, унинг энергетик ва механик кўрсаткичлари юк кўтариш-транспорт механизм талабларига тўлиқ жавоб беради ва мавжуд бир тезликли моторлар ўрнига қўллаш натижасида юкни текис кўчиришни таъминлайди ва кам юкланган режимда иккинчи тезликдан фойдаланиш ҳисобига электр энергиясини тежаш имконини беради.

5. Янги ишлаб чиқилган кутблар сони ўзгарувчан чулғамли икки тезликда ишловчи электр мотордан юк кўтариш транспорт механизмларида фойдаланиш натижасида «QARSHI BEST SHOES» МЧЖ корхонасида кўчирилаётган юкни яхлитлигини таъминлаш ҳисобига 31,4 млн. сўм ва «LAZURITE INVEST GROUP» МЧЖ корхонасида лентали конвейер электр юритмаси иш режимини юкламанинг ўзгаришига мос равишда ростлаш орқали электр энергияни тежаш ҳисобига 53 млн. сўм иқтисодий самарадорликка эришилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc 03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ТУЙЧИЕВ ФУРКАТ НУМОНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМОЙ
ОБМОТКИ НА БОЛЬШОЕ СООТНОШЕНИЕ ПОЛЮСОВ**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетические станции, системы.
Электротехнические комплексы и установки**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.2.PhD/T205.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Бобожанов Махсуд Каландарович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Пирматов Нурали Бердиерович
доктор технических наук, профессор

Арипов Назиржон Мукарарович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Навоийский государственный горный институт

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc. 03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете.
(Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - ____).
(Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.

(протокол рассылки № «__» от «__» _____ 2021 года).

К.Р.Аллаев

Председатель научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор технических наук, профессор, академик

О.Х.Ишназаров

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор технических наук, профессор.

Т.Ш.Гайибов

Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению учёной степени,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире во многих отраслях промышленности и на складских помещениях с целью перестановки и транспортировки грузов используются подъемно-транспортные машины, в частности, краны, конвейеры и тельферы. С учетом их широкой распространенности и большой величины установленной мощности, а также сложности режима работы особое значение придается проблемам экономии электроэнергии и ресурсов путем усовершенствования электропривода. В настоящее время в развитых странах мира «... проводятся исследования по изучению вопроса повышения эффективности производства и автоматизации технологического процесса, а также по внедрению новых технологий в производство»¹. В этой сфере особое внимание уделяется, в частности, созданию новых энерго- и ресурсосберегающих электроприводов, позволяющих облегчить процесс пуска и обеспечить точный останов высокоинерционных и подъемно-транспортных механизмов.

В мире ведутся научные исследования по разработке регулируемых и усовершенствованию существующих электроприводов, а также улучшению их эксплуатационных характеристик. В этом направлении, в частности, одной из приоритетных задач является разработка двухскоростных полюсопереключаемых двигателей, отвечающих требованиям электропривода подъемно-транспортных механизмов. Наряду с этим актуальной задачей является разработка для двухскоростных двигателей схем полюсопереключаемой обмотки с улучшенными электромагнитными свойствами и простой технологией изготовления.

В республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по разработке и практическому применению новых технологий, способствующих рациональному использованию электроэнергии и ресурсов, а также снижению их потерь. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи: «...сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, ...»². При реализации этих задач важными считаются разработка и исследование двухскоростного электродвигателя с полюсопереключаемой обмоткой с улучшенными электромагнитными свойствами и упрощенной технологией изготовления, отвечающими требованиям электропривода подъемно-транспортных механизмов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №ПП-2343 от 5 мая 2015

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

года «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы», №ПП-2559 от 13 июля 2016 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики» и №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. В ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в частности, в RWTH Aachen University, Siemens AG (Германия), Huazhong University of Science and Technology (Китай), University Politehnica of Bucharest (Румыния), ASEA (Швеция), Всероссийском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства, Волжском государственном инженерно-педагогическом университете (Россия), Одесском национальном политехническом университете (Украина) и Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан) ведутся широкомасштабные научно-исследовательские работы, направленные на решение актуальных задач по разработке и исследованию схем полюсопереключаемых обмоток для двухскоростных двигателей.

В решении вопросов проектирования многоскоростных двигателей и научных проблем по разработке и исследованию схем полюсопереключаемых обмоток большой вклад внесли ряд известных зарубежных ученых, таких как R.Dahlander, G.H.Rawcliffe, W.Fong, A.W.Broadway, J.F.Eastham, H.Auinger, А.М.Харитонов, А.И.Антоненко, В.И.Попов, В.Н.Ванурин, М.К.Захаров, Л.Я.Беликова и др.

В Республике научные исследования по разработке и исследованию схем полюсопереключаемых обмоток для двухскоростных машин проводили Х.Г.Каримов, Ю.А.Тупогуз, М.К.Бобожанов и Д.А.Рисмухамедов, которыми достигнут ряд научных результатов.

Несмотря на ощутимые результаты, анализ полученных полюсопереключаемых обмоток показал, что еще не разработаны схемы полюсопереключаемых обмоток на большое соотношение полюсов с улучшенными электромагнитными свойствами и упрощенной технологией изготовления для статоров нового стандарта, принятых в последнее время, а также не изучены в достаточной степени их свойства. В данной диссертационной работе разработана новая схема полюсопереключаемой обмотки для двухскоростных электродвигателей на основе магнитопровода с числом пазов статора равным 30 и подробно рассмотрен вопрос соответствия

к требованиям электропривода подъемно-транспортных механизмов, а также предложены решения задачи.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова в рамках проектов А-3-65 «Усовершенствование и оптимизация работы асинхронных двигателей на приводах механизмов с вентиляторным типом нагрузки» (2015-2017) и ОТ-Атех-2018-357 «Повышение надежности и энергоэффективности систем электроснабжения путем применения бесконтактных устройств» (2018-2020).

Целью исследования является разработка полюсопереключаемой обмотки на большое соотношение полюсов для электродвигателей подъемно-транспортных механизмов.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

разработка схемы полюсопереключаемой обмотки с большим соотношением скоростей для ступенчатого пуска асинхронных двигателей на приводе подъемно-транспортных механизмов;

усовершенствование метода дискретно-заданных пространственных функций для получения схем обмоток с нечетным числом полюсов и с упрощенной технологией изготовления;

разработка алгоритмов расчета состава высших гармонических и построение картин магнитодвижущих сил для проведения анализа электромагнитных свойств полюсопереключаемых обмоток;

исследование влияния изменения фазных токов асинхронных двигателей в зависимости от времени на картины магнитодвижущих сил и гармонический состав обмотки.

Объектом исследования являются асинхронные двигатели, применяемые на приводах подъемно-транспортных механизмов и конвейеров.

Предметом исследования являются электромагнитные и энергетические характеристики двухскоростных электрических двигателей с полюсопереключаемыми обмотками.

Методы исследований. В процессе исследования применены теория электрических машин, способы формирования полюсопереключаемых обмоток, теория линейной и матричной алгебры, формализованная логика, экспериментальные методы исследований статических и механических характеристик на основе методов векторного и гармонического анализа с использованием методов расчета энергетических и электромагнитных показателей рабочих режимов электрических двигателей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана схема полюсопереключаемой обмотки для ступенчатого пуска асинхронных двигателей;

усовершенствован метод дискретно-заданных пространственных функций

для получения обмоток с нечетным числом полюсов на основе базовой схемы «звезда-двойная звезда»;

на основе матричного метода разработаны алгоритмы расчета состава высших гармонических полюсопереключаемых обмоток и построения картин магнитодвижущих сил;

на основе изменения фазных токов по времени усовершенствована методика определения картин магнитодвижущих сил и доказано отсутствие влияния изменения времени на гармонический состав новой обмотки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

для построения и расчета картин намагничивающих сил при различных моментах времени разработан программный продукт;

для расчета высших гармонических, создаваемых в двухскоростных двигателях со стороны обмотки, разработан программный продукт;

для изучения энергетических характеристик разработана имитационная модель двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой;

для применения на приводе подъемно-транспортных механизмов изготовлен опытный образец двухскоростного двигателя с новой полюсопереключаемой обмоткой.

Достоверность результатов исследования обосновывается на взаимной согласованности параметров двухскоростного двигателя, полученных расчетным путём и использованием программы Ansys Maxwell, а также соответствием теоретических результатов исследований экспериментальным измерениям.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследований заключается в усовершенствовании электропривода подъёмно-транспортных механизмов и конвейеров, а также в разработке схемы полюсопереключаемой обмотки, имеющей улучшенные электромагнитные свойства и упрощенную технологию изготовления для электрических двигателей нового стандарта с числом пазов статора равным 30.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что применением разработанного полюсопереключаемого двигателя на приводе подъемно-транспортных механизмов и конвейеров обеспечивается целостность перемещаемого груза за счет мягкой посадки, а также достигается экономия электроэнергии при малозагруженных режимах.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по усовершенствованию электрических приводов подъемно-транспортных механизмов и конвейеров:

получен патент на изобретение от Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан (№ IAP 05385, 23.03.2017) на схему полюсопереключаемой обмотки для двухскоростной электрической машины. В результате стало возможным создание двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой, имеющей улучшенные электромагнитные свойства и упрощенную технологию изготовления на основе магнитопровода с числом пазов статора равным 30;

для обеспечения целостности продукции путём усовершенствования процесса перемещения строительных материалов, двухскоростной двигатель внедрен в систему электропривода тельфера на ООО «QARSHI BEST SHOES» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» от 26 ноября 2020 года, 05/15-3693). В результате достигнут годовой экономический эффект в размере 31,4 млн. сумов, за счет обеспечения целостности перемещаемого груза подъемно-транспортным механизмом;

полюсопереключаемый двигатель, который адаптирует электропривод ленточного конвейера к суточному и сезонному изменению режимов работы и позволяет экономить электроэнергию, внедрен на ООО «LAZURITE INVEST GROUP» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» от 26 ноября 2020 года, 05/15-3693). В результате применения полюсопереключаемого асинхронного двигателя в малозагруженных режимах снижается потребление электрической энергии на 17,5% и достигнут годовой экономический эффект в размере 53 млн. сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 3 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научных работ. Из них 3 статьи в зарубежных и 8 статей в республиканских журналах, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 98 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обосновываются актуальность и востребованность выполненных исследований, формулируются цели и задачи исследований, приводятся объект и предмет исследований, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна исследований и научно-практическая значимость полученных результатов, внедрение результатов исследований в практику, представлены сведения по апробации результатов исследований и по опубликованным научным трудам по теме диссертационной работы, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Обзор электроприводов подъёмно-транспортных механизмов и способов получения полюсопереключаемых обмоток**» обоснована необходимость использования в электроприводах подъемно-транспортных механизмов регулируемого электродвигателя вместо нерегулируемого асинхронного двигателя.

Рассмотрена задача обеспечения точного останова заданных грузов для подъемно-транспортных механизмов и для выполнения данного требования обосновано применение низкой скорости. Как показали результаты анализа литературы по регулированию скорости электродвигателей, регулирование скорости вращения в электроприводах с использованием двухскоростных двигателей является простым, дешёвым и надежным вариантом.

В двухскоростных двигателях на приводе существующих подъёмно-транспортных механизмов в пазы статора укладываются две независимые обмотки, по этой причине не эффективно используется магнитопровод двигателя, в свою очередь, использование одной полюсопереключаемой обмотки (ППО) позволяет улучшить энергетические показатели двигателя, сэкономить обмоточную медь и изоляционные материалы.

Многие из разработанных ППО, полученные с использованием существующих методов и принципов построения полюсопереключаемых обмоток для двухскоростных двигателей, не находят практического применения из-за большого количества выводных концов, переключающих контактов, ухудшенных электромагнитных свойств, а также сложной технологии изготовления.

На основе анализа режимов работы подъёмно-транспортных механизмов, с точки зрения рационального использования электроэнергии и природных ресурсов, обоснована целесообразность создания двухскоростного двигателя с полюсопереключаемой обмоткой на соотношение полюсов 1:5 и усовершенствования существующих систем электроприводов с его применением.

Вторая глава диссертации **«Разработка полюсопереключаемой обмотки для подъёмно-транспортных механизмов»** посвящена разработке схемы ППО на соотношение полюсов 1:5 для двигателей, применяемых в электроприводах подъемно-транспортных установок.

Представленный в этой главе порядок построения ППО основан на принципе совместного рассмотрения токораспределений двух обычных обмоток, выраженных в виде дискретно-заданной пространственной функции (ДЗПФ). Разработка схем ППО с большим соотношением полюсов на основе различных базовых схем (БС) имеет свои особенности, например, ППО по БС «У/УУ» целесообразны к использованию в двигателях с напряженным режимом работы, в частности, для электроприводов подъемно-транспортных механизмов. При получении ППО на основе схем «У/УУ» необходимо синтезировать ДЗПФ, соответствующую одной из полюсностей.

Для примера представлен процесс получения схемы ППО на соотношение полюсов 1/5 при числе пазов $Z=30$. В качестве исходной обмотки взята нормальная m -зонная обмотка с числом полюсов $p_2=5$, а в качестве «типовой» также нормальная $2m$ -зонная обмотка с $p_1=1$.

Запишем ДЗПФ одного слоя этих обмоток друг под другом:

Таблица 1

Синтезирование $2p_1=2$ полюсной обмотки

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Пазы
a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	a	a	b	b	c	c	$p_2=5$ исх.
a	a	a	a	a	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	b	b	b	b	b	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>a</u>	c	c	c	c	c	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	$p_1=1$ тип.
a	a	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>c</u>	<u>c</u>	a	a	<u>b</u>	<u>b</u>	c	c	<u>a</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	c	c	<u>a</u>	<u>a</u>	b	b	c	c	<u>a</u>	<u>a</u>	b	b	<u>c</u>	<u>c</u>	$p_1=1$ син.

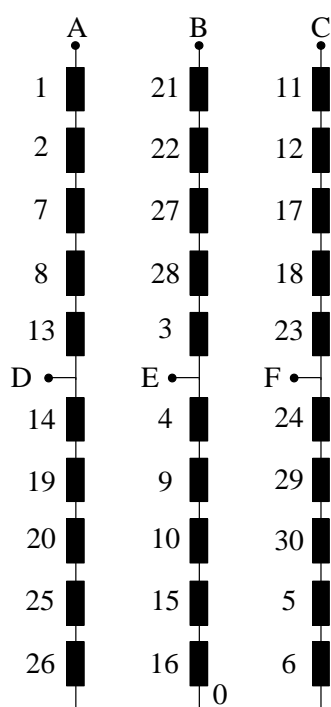


Рис 1. Электрическая схема ППО с соотношением полюсов 1:5

(рис.2.), при $y=15$ обмоточные коэффициенты с $2p_1$ и $2p_2$ полюсной стороны соответственно равны $k_{обм1}=0,633$ и $k_{обм2}=0,866$ (табл.2 и табл.3).

ДЗПФ синтезированной обмотки получается «модулированием» ДЗПФ исходной обмотки с помощью ДЗПФ типовой обмотки. В основе этого процесса лежит принцип приближения токораспределения к картине МДС ППО со стороны полюсности $2p_1$ к токораспределению и картине МДС типовой обмотки. Смысл “приближения” заключается в определении в каждом пазу знака состояния проводника ДЗПФ синтезируемой обмотки в зависимости от состояния проводника ДЗПФ типовой обмотки в этом пазу и исходя из взаимного расположения векторов фазных токов в трёхфазной системе.

По полученной ДЗПФ можно составить электрическую схему ППО (рис.1).

Полученная обмотка совершенно симметрична по отношению к источнику питания со стороны обеих полюсностей, векторы ЭДС одноименных ветвей каждой из фаз симметричны между собой, т.е. равны по амплитуде и сдвинуты по фазе на угол $2\pi/3$ эл. рад.

Таблица 2

Обмоточные данные со стороны $p_1=1$

	Ветви БС «Y/YU»					
	A-D	D-0	B-E	E-0	C-F	F-0
A	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33
$k_{обм}$	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633
φ	240	240	120	120	0	0

Таблица 3

Обмоточные данные со стороны $p_2=5$

	Ветви БС «Y/YU»		
	A-0	B-0	C-0
A	17,32	17,32	17,32
$k_{обм}$	0,866	0,866	0,866
φ	30	150	270

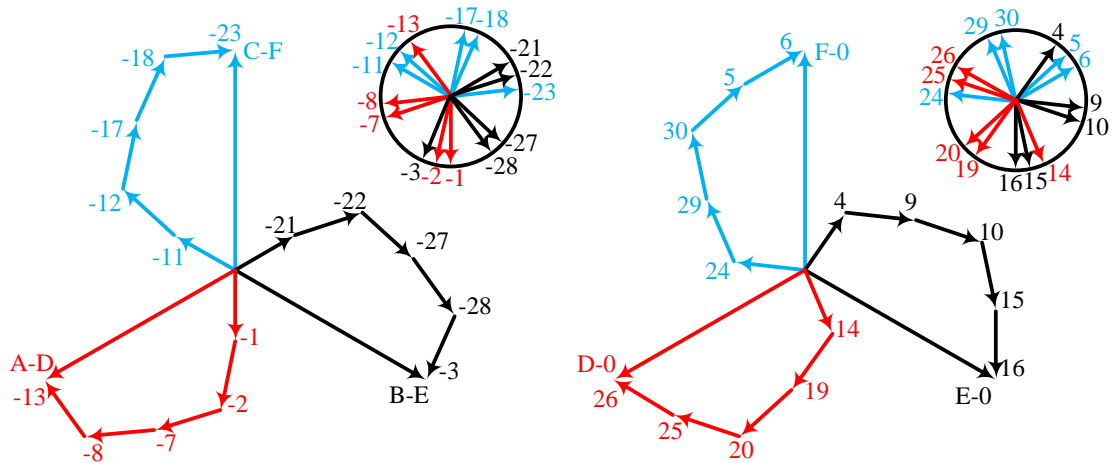


Рис. 2. Звезда пазовых ЭДС для полюсности $p_1=1$

Третья глава диссертации «Анализ электромагнитного состава полюспереключаемой обмотки» посвящена анализу свойств ППО с целью определения оптимального шага, при котором электромагнитные свойства со стороны обеих полюсностей будут улучшенными.

Обмоточный коэффициент v -й гармонической был определен с использованием матричного метода. Для матричного исследования ЭДС обмотки переменного тока представлен в многофазной обмотке вектор ЭДС фазы с номером k для v -й гармонической в виде:

$$\dot{E}_{\phi_{kv}} = E_{\phi_k} \cdot e^{j\phi_{kv}}, \quad (1)$$

где E_{ϕ_k} -модуль вектора ЭДС; ϕ_{kv} -угол наклона вектора $\dot{E}_{\phi_{kv}}$ к положительной горизонтальной оси.

Введем матрицу $[\dot{e}_z]_v$ единичных векторов пазовых ЭДС для v -й гармонической, которая запишется в следующем виде

$$[\dot{e}_z]_v = \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ z \end{matrix} \begin{bmatrix} \cos v 0 & \sin v 0 \\ \dots & \dots \\ \cos v(i-1)\gamma & \sin v(i-1)\gamma \\ \dots & \dots \\ \cos v(z-1)\gamma & \sin v(z-1)\gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix} = [\dot{e}'_z]_v + j[\dot{e}''_z]_v, \quad (2)$$

где $\dot{e}'_{zv} = \cos v(i-1)\gamma$ и $\dot{e}''_{zv} = \sin v(i-1)\gamma$ - элементы i -й строки матриц $[\dot{e}'_z]_v$ и $[\dot{e}''_z]_v$, строкам матриц слева приписаны номера пазов ($i = 1 \dots z$).

Для определения ЭДС v -й гармонической $E_{\phi_{kv}}$ фазы с номером k и ее обмоточного коэффициента $k_{обм}$ можно записать матричные выражения:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{\phi_{kv}} &= [C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}_z]_v \\ E_{\phi_{kv}} &= \sqrt{([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}'_z]_v)^2 + ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}''_z]_v)^2} \\ \operatorname{tg} \varphi &= ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}''_z]_v) / ([C_\phi]_k^T \cdot [\dot{e}'_z]_v) \\ k_{обм} &= E_{\phi_{kv}} / N_{пк} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где $[C_\phi]_k^T$ -транспонированная матрица фазы с номером k , а N_{nk} -число проводников фазы с номером k , равное сумме модулей элементов матрицы этой фазы $[C_\phi]_k$.

В табл.4 приведены результаты расчета обмоточных коэффициентов ППО для различных порядков гармоник при трех значениях шага обмотки.

Таблица 4.

Значение обмоточного коэффициента

Z	BC	2p	y	Номер гармоник																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
30	Y/YU	2	14	0,630	0,021	0,190	0,196	0,755	0,362	0,240	0,183	0,118	0,458	0,176	0,138	0,047	0,134	0,000	0,134	0,047
			15	0,633	0,000	0,200	0,000	0,872	0,000	0,413	0,000	0,200	0,000	0,433	0,000	0,226	0,000	0,200	0,000	0,226
			16	0,630	0,021	0,190	0,196	0,755	0,362	0,240	0,183	0,118	0,458	0,176	0,138	0,047	0,134	0,000	0,134	0,047
		10	14	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750
			15	0,866	0,000	0,000	0,000	0,866	0,200	0,436	0,200	0,100	0,200	0,436	0,200	0,436	0,200	0,100	0,200	0,436
			16	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750	0,000	0,750	0,433	0,000	0,433	0,750

Для результирующего значения МДС и для МДС каждой фазы по отдельности, показанных на рис. 3, рассчитаны амплитуды гармоник в долях малых ступеней. Для МДС трёхфазной обмотки:

$$F_{vm} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos \nu x dx = \frac{2}{\pi \nu} (1,5 \sin \nu 6^\circ + 0,5 \sin \nu 30^\circ + 1,5 \sin \nu 42^\circ +$$

$$+ 1,5 \sin \nu 66^\circ + 1,5 \sin \nu 78^\circ + \sin \nu 90^\circ + 1,5 \sin \nu 102^\circ + 1,5 \sin \nu 144^\circ +$$

$$+ 1,5 \sin \nu 138^\circ + 0,5 \sin \nu 150^\circ + 1,5 \sin \nu 178^\circ) \quad (4)$$

В картине МДС ППО с соотношением полюсов 1:5 при BC «Y/YU» в 30 пазах статора со стороны $2p_1=2$ полюсов при шаге $y=15$, кроме первой гармоники, присутствуют 5-я, 7-я, 11-я, 13-я и 17-я гармонические, их амплитуда в процентном соотношении от общей гармоники составляет 2,75%, 0,5%, 5,41%, 2,39%, 1,83% соответственно (рис.4).

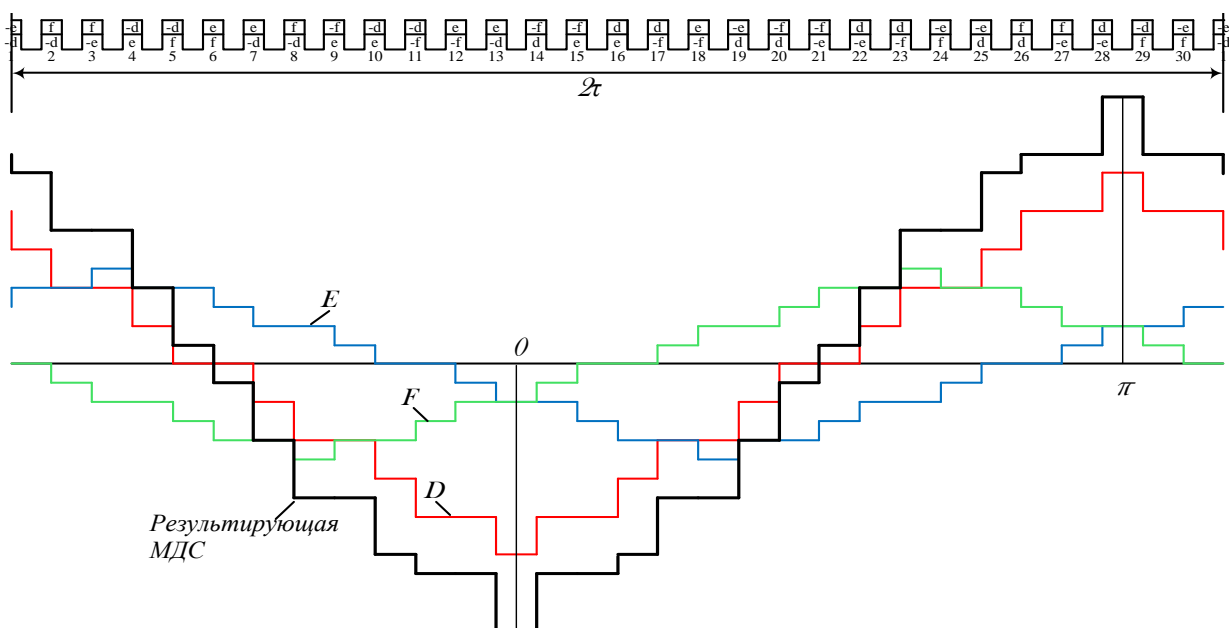


Рис. 3. Картина МДС трёхфазной обмотки со стороны $p=1$

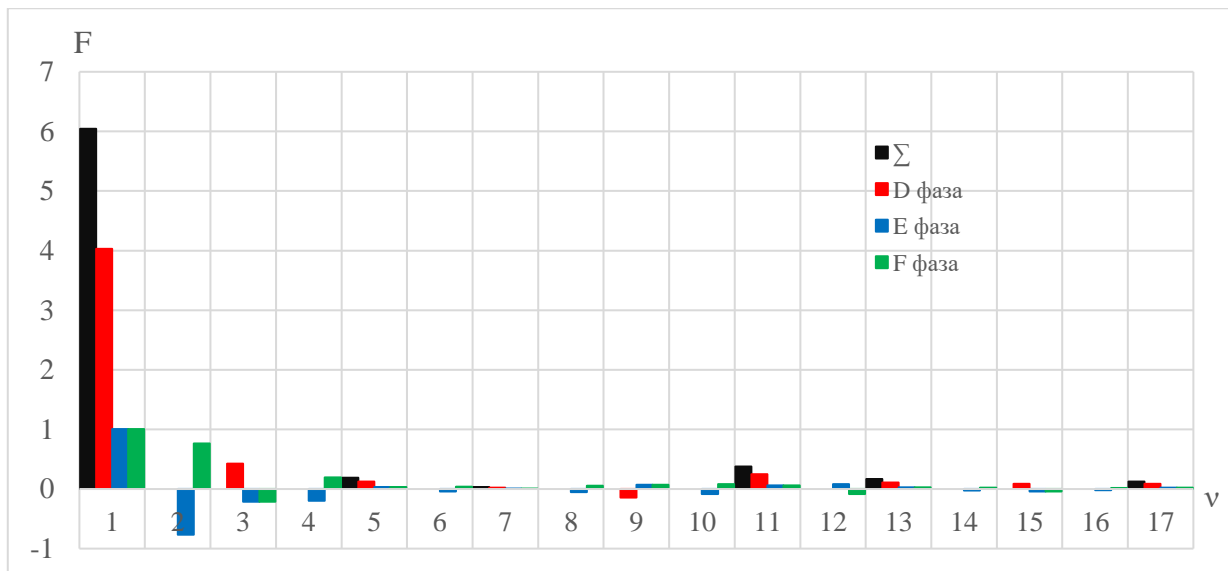


Рис. 4. Амплитуды высших гармонических МДС обмотки в 30 пазов статора со стороны $p_1=1$

Построение картин МДС обмоток для различных моментов времени представляет собой достаточно сложную задачу, особенно при больших числах q пазов на полюс и фазу, а тем более для произвольного момента времени, при котором токи во всех фазах имеют различные мгновенные значения. Эту задачу можно значительно облегчить и упростить, если для построений воспользоваться многоугольниками МДС (диаграммами Гёргеса). Построение диаграммы Гёргеса для ППО по схеме «Y/YU» при $Z=30$ и $y=15$ (рис.5) позволяет количественно оценить уровень суммарного содержания высших гармонических в кривой МДС.

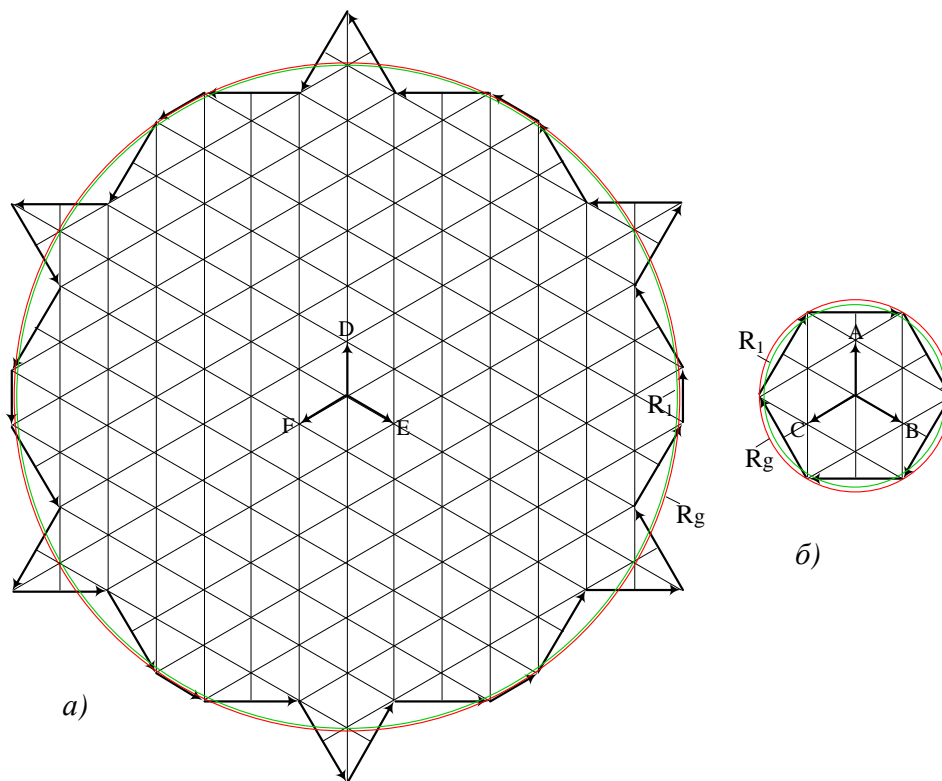


Рис.5. Диаграмма Гёргеса новой ППО: а) со стороны $2p=2$, б) со стороны $2p=10$

Коэффициент дифференциального рассеяния новой ППО на соотношение полюсов 1:5 в 30 пазах статора со стороны $2p_1=2$ полюсов при шаге $y=15$ равен $\sigma_0=1,3\%$, а со стороны $2p_2=10$ полюсов - $\sigma_0=9,7\%$. Если увеличить или уменьшить шаг обмотки на один паз, значение σ_0 увеличивается (табл.5), что указывает на ухудшение гармонического состава обмотки.

Таблица 5

Коэффициент дифференциального рассеяния

Число пазов	БС	Шаг обмотки	$\sigma_0, \%$	
			$2p=2$	$2p=10$
30	Y/YU	14	1,53	21,8
		15	1,3	9,7
		16	1,53	21,8

Путем проецирования диаграммы Гёргеса по вертикальной оси можно получить кривую МДС для различных моментов времени. На рис. 6 представлена зависимость между многоугольником Гёргеса и картиной МДС ППО со стороны $p=5$ для различных моментов времени. При этом ступенчатая форма кривой МДС меняется, но состав высших гармоник остается неизменным.

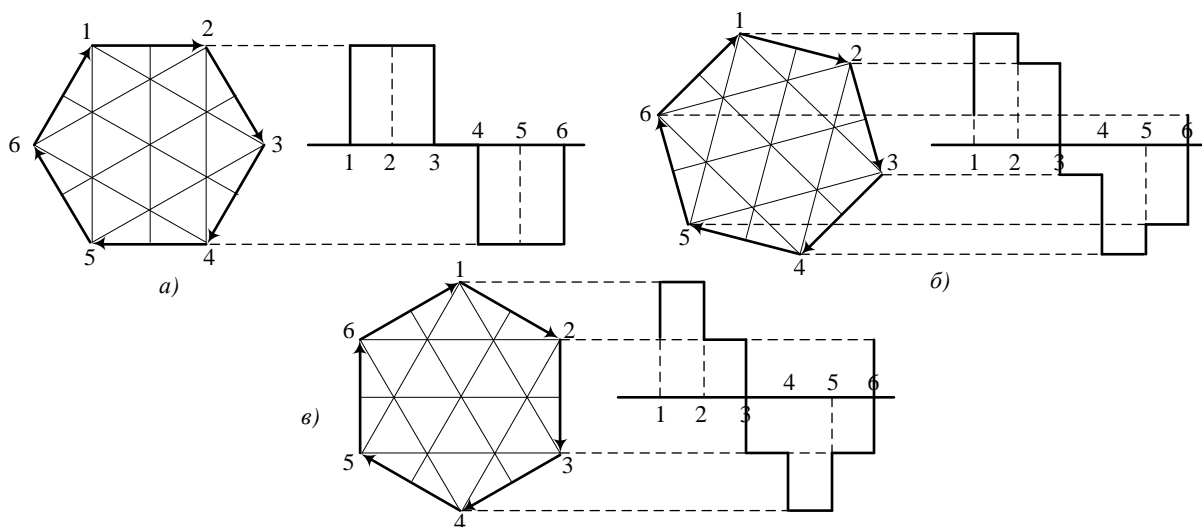


Рис.6. Зависимость между многоугольником Гёргеса и МДС со стороны $p=5$ для различных моментов времени $T=1/f$: а) при 0 с; б) при $T/24$ с; в) при $T/12$ с

Таким образом, используя диаграмму Гёргеса, можно анализировать изменение картины МДС для любого момента времени.

При анализе электромагнитных свойств ППО одновременно рассматриваются расчетные данные со стороны обеих полюсностей для различных шагов обмотки. Путем анализа полученных расчетных данных необходимо определить оптимальный шаг обмотки, отвечающий требованиям обоих полюсов, то есть, с точки зрения электромагнитных и технологических показателей, должен быть определен наилучший.

В картине МДС ППО (рис.7.а) на соотношение 1:5 при 30 пазах статора со стороны $2p_1=2$ полюсов при шаге $y=14$, кроме первой гармоники,

присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 10-я, 11-я, 13-я, 14-я, 16-я и 17-я гармонические, их амплитуды в процентном соотношении от общей гармонике с учетом обмоточных коэффициентов составляют 0,05%, 3,07%, 0,15%, 0,98%, 1,62%, 0,66%, 0,05%, 0,29%, 0,27%, 0,02%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma_0=1,53\%$.

При шаге $y=15$, кроме первой гармоники, присутствуют 5-я, 7-я, 11-я, 13-я и 17-я гармонические, их амплитуды в процентном соотношении от общей гармонике составляют 3,92%, 0,35%, 3,85%, 0,87%, 0,68%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma_0=1,3\%$.

При удлинённом шаге еще на один паз катушек обмотки, т.е. при шаге $y=16$, гармонический состав МДС и коэффициент дифференциального рассеяния этих же порядков имеют одинаковые значения, как при шаге $y=14$.

Со стороны $2p_2=10$ полюсов в картине МДС (рис.7.б) при шаге $y=14$, кроме первой гармоники, присутствуют 2-я, 5-я, 7-я, 8-я, 10-я, 11-я, 13-я, 14-я, 16-я, и 17-я гармонические, их амплитуды в процентном соотношении от общей гармонике составляют 8,98%, 10,78%, 7,67%, 2,26%, 1,81%, 4,91%, 4,16%, 1,3%, 1,1%, 3,16%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma_0=21,8\%$.

При шаге $y=15$ со стороны большой полюсности, кроме первой гармоники присутствуют 5-я, 7-я, 11-я, 13-я и 17-я гармонические, их амплитуды в процентном соотношении от общей гармонике составляют 14,42%, 5,19%, 3,33%, 2,77%, 2,12%. Коэффициент дифференциального рассеяния равен $\sigma_0=9,7\%$.

При шаге $y=16$ гармонический состав МДС и коэффициент дифференциального рассеяния этих же порядков имеют одинаковые значения как при шаге обмотки $y=14$.

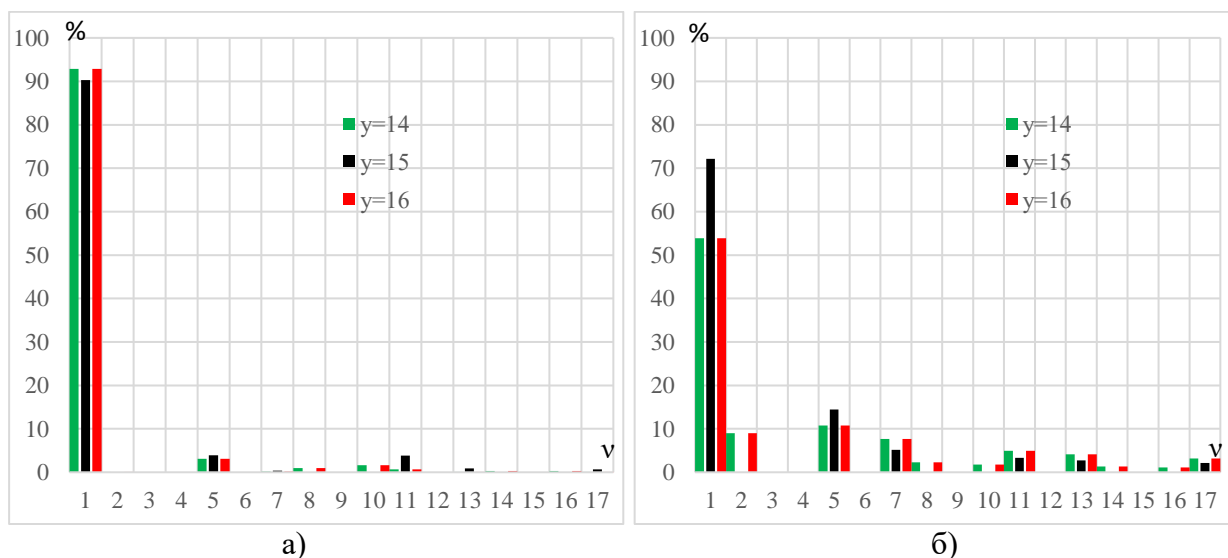


Рис.7. Гармонический состав МДС: а) со стороны $p_1=1$; б) со стороны $p_2=5$

Как видно из анализа ППО, со стороны $2p_1=2$ полюсов при шаге $y=15$ содержание высших гармонических минимальное (не имеются четные гармонические) и, соответственно, значение коэффициента дифферен-

циального рассеяния самое минимальное. При таком шаге со стороны $2p_2=10$ полюсов в картине МДС не имеются четные гармонические и значение первой гармоники относительно высокое (по отношению к амплитуде общей гармоники составляет 72,18%), форма диаграммы Гергеса близка к окружности и коэффициент дифференциального рассеяния также минимальный ($\sigma_0=9,7\%$).

По требованиям подъемно-транспортных механизмов высшая скорость ДД используется как основная в течение длительного времени, а вторая низшая скорость должна иметь большой пусковой момент, поэтому в качестве оптимального шага выбран шаг $y=15$, при котором электромагнитные свойства ППО со стороны обеих полюсностей являются наилучшими.

В четвертой главе диссертации «Проектирование и экспериментальное исследование двухскоростного электродвигателя с полюсопереключаемой обмоткой» приводятся результаты исследований имитационной модели с использованием программного модуля Ansys Maxwell и физической модели двухскоростной полюсопереключаемой асинхронной машины, опытный образец которой был изготовлен на основе результатов расчета и испытан в статических режимах.

В качестве объекта исследования рассмотрен ДД с короткозамкнутым ротором типа АИР112М2/10. С помощью программного модуля Ansys Maxwell RМхprt был смоделирован и исследован ДД с короткозамкнутым ротором типа АИР112М2/10, в котором со стороны $p_1=1$ пар полюсов полезная мощность двигателя P_2 достигает значения 4 кВт, к.п.д и $\cos\phi$, соответствующие этой мощности, составляют 77,2% и 0,85, номинальный ток равен 8 А, а значение скольжения 2,5 %, а со стороны $p_2=5$ пар полюсов полезная мощность двигателя P_2 достигает 1 кВт, к.п.д и $\cos\phi$, соответствующие этой мощности, составляют 44,4% и 0,53, номинальный ток равен 6,4 А, а значение скольжения 5,1 %.

Значения магнитных индукций двигателя АИР112М2/10 получены расчётным путем, а также для сравнения и с помощью инструмента RМхprt. Как видно из табл.6, значения, полученные путём расчета и использованием RМхprt, близки друг к другу, наибольшая разница составляет 0,09 Тл в зубцах статора для стороны $p_2=5$. Картины распределения магнитных индукций представлены в 2D (двухмерном) режиме построения (рис.8).

Таблица 6

Значения магнитных индукций в статоре и роторе

Параметры	$p_1=1$		$p_2=5$	
	Расчетное значение	Maxwell	Расчетное значение	Maxwell
Магнитная индукция в зубцах статора, Тл	1,28	1,31	2	2,09
Магнитная индукция в зубцах ротора, Тл	1,3	1,25	2,05	2
Магнитная индукция в ярах статора, Тл	1,19	1,15	0,38	0,41
Магнитная индукция в ярах ротора, Тл	2	2	0,68	0,75
Магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл	0,56	0,53	0,9	0,85

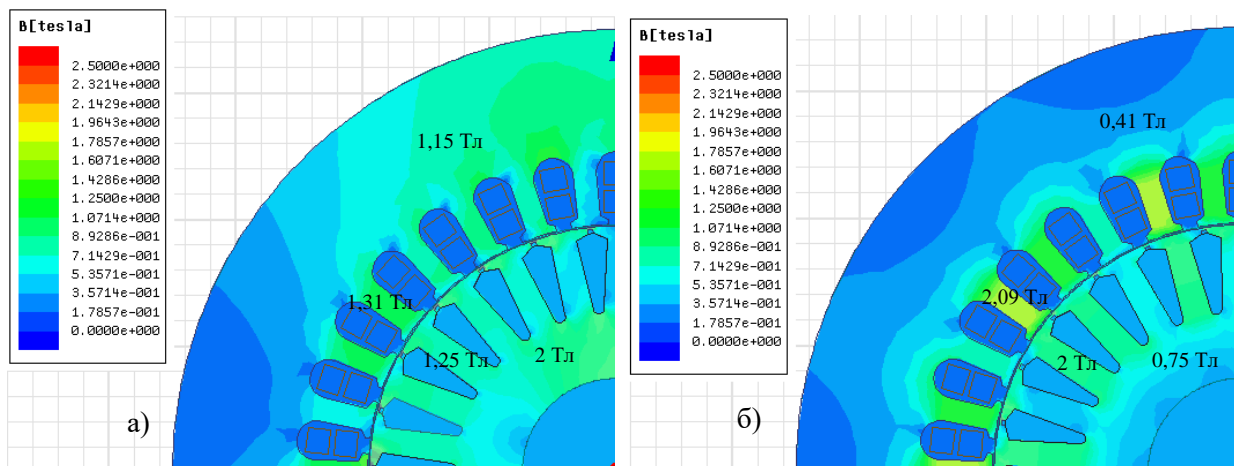


Рис.8. Картина распределения индукции: а) при $p_1=1$, б) при $p_2=5$

Для экспериментального подтверждения достоверности результатов теоретических исследований был спроектирован и изготовлен опытный образец полюсопереключаемого двухскоростного двигателя с большим соотношением полюсов, который был испытан в статических режимах и были сняты рабочие и механические характеристики (рис. 9,10,11).

Как показали экспериментальные исследования нового двухскоростного двигателя АИР112М2/10 со стороны $p_1=1$ пар полюсов, полезная мощность двигателя P_2 может достигать 4 кВт, к.п.д и $\cos\varphi$, соответствующие этой мощности, составляют 76% и 0,86, номинальный ток равен 9,1 А, а значение скольжения 2,5 %, а со стороны $p_2=5$ пар полюсов полезная мощность двигателя P_2 может достигать 1 кВт, к.п.д и $\cos\varphi$, соответствующие этой мощности, составляют 44% и 0,53, номинальный ток 6,2 А, а значение скольжения 5 %.

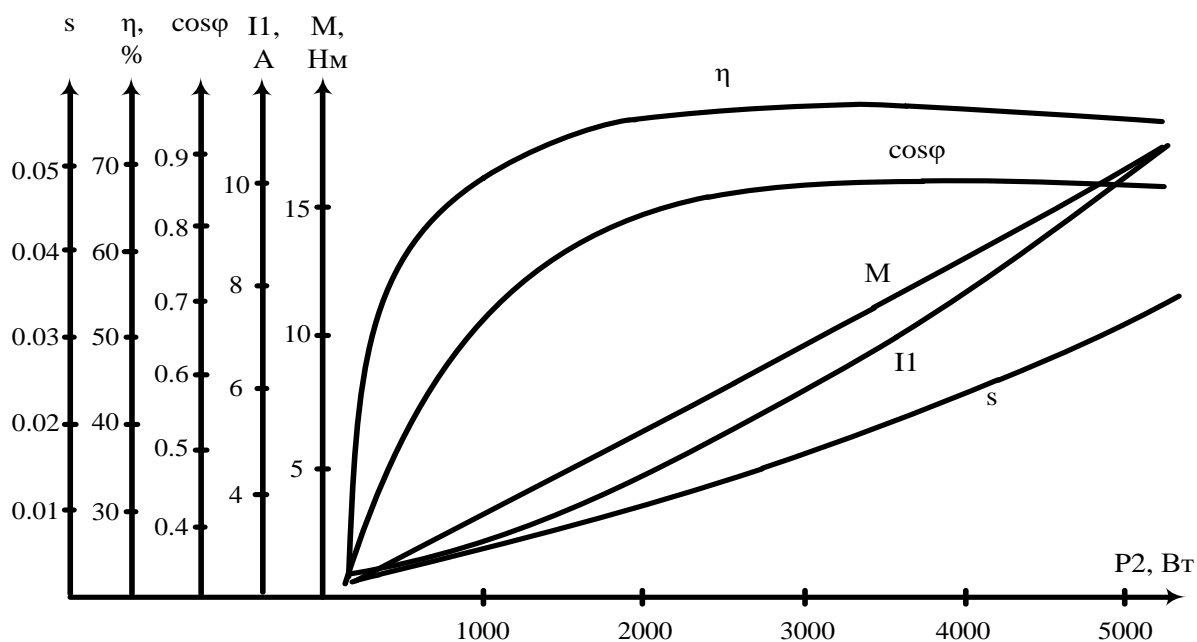


Рис. 9. Рабочие характеристики нового двигателя АИР112М2/10 со стороны $p_1=1$

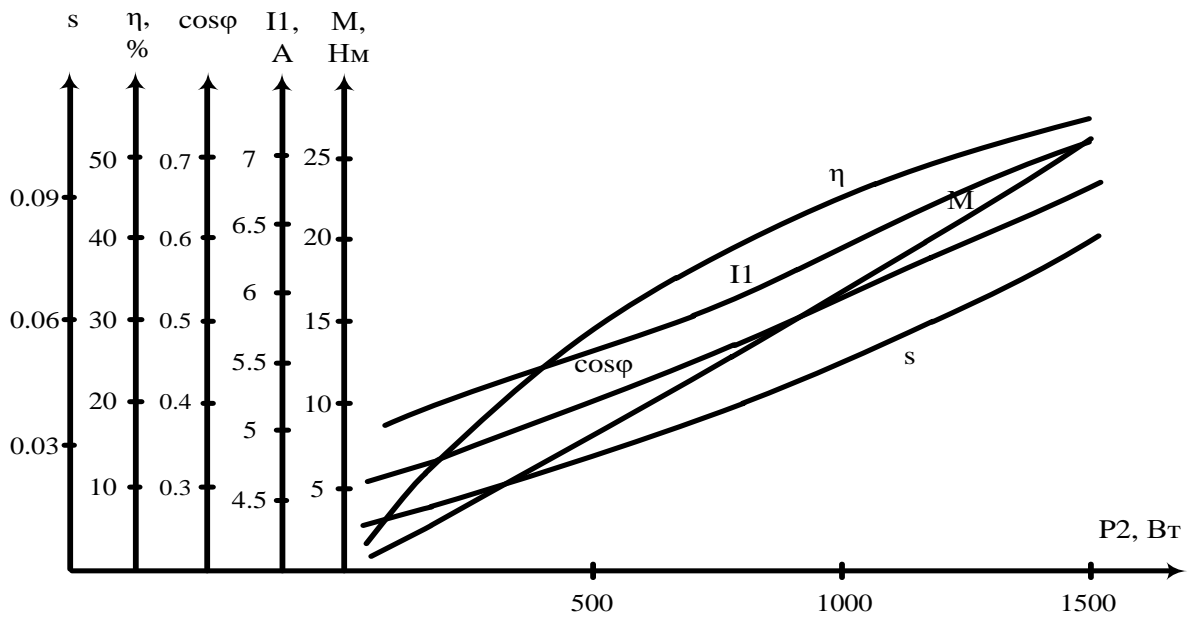


Рис. 10. Рабочие характеристики нового двигателя АИР112М2/10 со стороны $p_2=5$

На рис.11. представлены механические характеристики ДД с ППО АИР112М2/10. Как видно из рис. 11, механические характеристики имеют гладкий вид, значение пускового момента со стороны $2p_2=10$ полюсов равно 36,3 Н·м, что больше, чем значение момента со стороны $2p_1=2$ полюсов (16,9 Н·м). Это свойство позволяет применить такие двигатели также и для привода механизмов с тяжелым пуском, т.е. дает возможность для ступенчатого пуска.

Из анализа вышеприведенных результатов исследований теоретических расчетов, на основе имитационной модели и экспериментальных данных можно прийти к выводу, что путем внедрения нового типа двигателя с полюсопереключаемой обмоткой

вместо существующих односкоростных двигателей возможно достижение экономии электроэнергии и ресурсов в электроприводах, имеющих режимы недогрузки и требующих ступенчатого пуска.

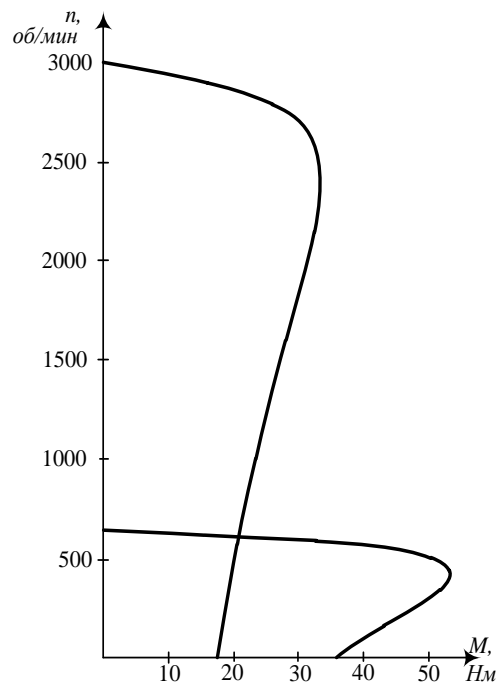


Рис.11. Механические характеристики нового ДД

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных по диссертации доктора философии в области технических наук (PhD) на тему **«Разработка и исследование полюсопереключаемой обмотки на большое соотношение полюсов»**, представлены следующие выводы:

1. На основе изучения режимов работы электроприводов подъемно-транспортных механизмов, эксплуатируемых на промышленных предприятиях и анализа литературы в этой области обоснована необходимость усовершенствования двигателей на приводе этих механизмов. В результате этого выявлена необходимость разработки двухскоростных асинхронных двигателей на большое соотношение скоростей с одной обмоткой, обладающей улучшенными электромагнитными свойствами и простой технологией изготовления.

2. Использование метода ДЗПФ разработана новая полюсопереключаемая обмотка на соотношение полюсов 1:5 на основе схемы «Y/YU» при числе пазов статора равным 30, с улучшенными электромагнитными свойствами и простой технологией изготовления, на которую получена правовая охрана в виде патента на изобретение со стороны Агентства по интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

3. Анализ электромагнитных свойств разработанной полюсопереключаемой обмотки показал, что по сравнению с близким аналогом коэффициент дифференциального рассеяния ППО со стороны $p=1$ уменьшается от 1,7% до 1,3%, а со стороны $p=5$ - уменьшается от 15,9% до 9,7%, а также в картине МДС присутствие высших гармонических со стороны первой скорости уменьшается до 6%, а со стороны второй скорости - до 20%.

4. Экспериментальные исследования опытного образца нового двигателя показали, что энергетические и механические характеристики нового ДД с ППО соответствуют требованиям, предъявляемым к подъемно-транспортным механизмам и при замене односкоростных двигателей, используемых в настоящее время, новыми двигателями обеспечивается мягкая посадка груза и экономия электрической энергии за счет использования второй скорости в малозагруженных режимах работы установки.

5. В результате применения двухскоростного двигателя с разработанной полюсопереключаемой обмоткой на подъемно-транспортном механизме достигнут экономический эффект 31,4 млн. сум на предприятии ООО «QARSHI BEST SHOES» за счет обеспечения целостности перемещаемого груза и 53 млн. сум в ООО «LAZURITE INVEST GROUP» за счет экономии электрической энергии путем регулирования режима работы электропривода в зависимости от изменения нагрузки.

SCIENTIFIC COUNCIL ON SCIENTIFIC DEGREE AWARD
DSc.03/10.12.2019.T.03.03 TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

TUYCHIEV FURKAT NUMONOVICH

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF POLE-CHANGING WINDING
FOR LARGE POLES RATIO**

**05.05.02 – Electrical engineering. Electric power stations, systems. Electric technical
complexes and installations**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2017.2.PhD/T205.

The dissertation has been done at the Tashkent State Technical University. The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the web site of "ZiyoNet" Information and education portal (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:	Bobojanov Makhsud Kalandarovich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Pirmatov Nurali Berdiyovich doctor of technical sciences, professor
	Aripov Nazirdjan Mukaramovich doctor of technical sciences, professor
Leading organization:	Navoi state mining institute

The defense will be take place «__» __ 2021 at __ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc.03/10.12.2019.T.03.03 Tashkent State Technical University. Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number -___). Address: 2, University str., Tashkent 100095. Phone.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation was distributed on "__" _____ 2021 year.

(mailing record № _____ on “__” _____ 2021 year)

K.R. Allayev
Chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician

O.Kh. Ishnazarov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

T.Sh. Gayibov
Chairman of the scientific seminar under scientific council
On awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the Doctor of Philosophy (PhD))

The aim of the research is the development and research of a pole-changing winding for a large pole ratio for electric motors of hoisting-and-transport mechanisms.

Research tasks: In accordance with the set goal, the following tasks are solved:
development of a pole-switchable winding circuit with a large speed ratio for a step-by-step start of asynchronous motors on the drive of hoisting-and-transport mechanisms;

improvement of the method of discretely specified spatial functions for obtaining winding circuits with an odd number of poles and with a simplified manufacturing technology;

development of algorithms for calculating the composition of higher harmonic and building pictures of magnetomotive forces for analyzing the electromagnetic properties of pole-switched windings;

study of the influence of changing the phase currents of induction motors depending on time on the patterns of magnetomotive forces and the harmonic composition of the winding.

The object of research is asynchronous motors used on drives of hoisting-and-transport mechanisms and conveyors.

The scientific novelty of the research follows:

a circuit of a pole-switched winding for a step-by-step start of asynchronous motors has been developed;

the method of discretely specified spatial functions has been improved for obtaining windings with an odd number of poles based on the basic scheme "star-double star";

on the basis of the matrix method, algorithms have been developed for calculating the composition of higher harmonic pole-switched windings and constructing pictures of magnetomotive forces;

based on the change in phase currents in time, the method for determining the patterns of magnetomotive forces has been improved and the absence of the influence of time changes on the harmonic composition of the new winding has been proved.

Practical results of the research follows:

a software product has been developed for constructing and calculating patterns of magnetizing forces at different points in time;

a software product has been developed for calculating the higher harmonic generated in two-speed motors from the winding side;

to study the energy characteristics, the used simulation model of a high-speed motor with a pole-switched winding;

a prototype of a two-speed motor with a new pole-switched winding was manufactured for use on the drive of hoisting-and-transport mechanisms.

Scientific and practical significance of research results:

The scientific significance of the research results lies in the fact that the developed pole-changing winding, which has improved electromagnetic properties and a simplified manufacturing technology, is intended for electric motors with the

number of stator slots of the new standard equal to 30 and meets the requirements of modern electrical engineering.

The practical significance of the research results lies consists to the use of the developed pole-changing motor on the drive of hoisting-and-transport mechanisms ensures the integrity of the moving load due to soft landing, and also makes it possible to save energy in low-load modes.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained to improve the drive of hoisting-and-transport mechanisms:

for the developed circuit of the pole-changing winding, a patent for an invention was obtained from the Intellectual Property Agency under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan (No. IAP 05385, 03.23.2017). As a result, it became possible to create a two-speed motor with a pole-changing winding, which has improved electromagnetic properties and a simplified manufacturing technology based on a magnetic circuit with the number of stator slots equal to 30;

a two-speed engine was introduced at “QARSHI BEST SHOES” LLC (Reference of the Association "O‘zsanoatqurilishmateriallari" dated November 26, 2020 , 05/15-3693). As a result, an annual economic effect of 31.4 million soums was achieved due to ensuring the integrity of the cargo being transported by the lifting-transport mechanism of the enterprise;

a two-speed engine was introduced at “LAZURITE INVEST GROUP” LLC (Reference of the Association "O‘zsanoatqurilishmateriallari" dated November 26, 2020 , 05/15-3693). As a result of the use of a pole-switched asynchronous motor at the conveyor drive in low-load modes, it became possible to reduce the consumption of electrical energy by 17.5% and an annual economic effect of 53 million soums was achieved.

Approbation of research results. The results of this study were discussed at 3 international and 5 republican scientific and practical conferences.

Publication of research results. 24 scientific papers have been published on the topic of the dissertation. Of these, 3 articles in foreign and 8 articles in republican journals, recommended by the Higher Attestation Commission of Uzbekistan for the main scientific results of doctoral dissertations.

Structure and volume of the thesis. The structure of the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and applications. The volume of the thesis is 98 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим; (I часть; I part)

1. Рисмухамедов Д.А., Каримов Х.Г., Мавлонов Ж.М., Тўйчиев Ф.Н. Полусопереключаемая обмотка для двухскоростной электрической машины // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение IAP 05385, 23.03.2017.

2. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н., Чориёров А.З. Изучение динамических режимов работы механизмов с вентиляторным типом нагрузки // Журнал «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». -Ташкент, 2014. - № 3. -С. 52-55с. (05.00.00; №21).

3. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н. Построение и анализ полусопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 методом ДЗПФ // Журнал «Вестник ТашГТУ». -Ташкент, 2016. №3-4 -С. 138-143. (05.00.00; №16).

4. Тўйчиев Ф.Н. Разработка полусопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 при 108 пазах статора методом ДЗПФ // Журнал «Вестник ТашГТУ». -Ташкент, 2017. №4, -С. 58-63. (05.00.00; №16).

5. Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н. Проектирование и моделирование асинхронного электродвигателя 4А80А4УЗ с помощью программы ANSYS MAXWELL // Журнал “Вестник ТашГТУ”. -Ташкент, 2018. №4 (105) -С. 65-69. (05.00.00; №16).

6. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н. Разработка полусопереключаемой обмотки на соотношение полюсов 5/6 при 108 пазах статора методом ДЗПФ с дополнительными ветвями // Журнал “Вестник ТашГТУ”. -Ташкент, 2019. №1 (106) -С. 57-63. (05.00.00; №16).

7. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н., Магдиев Х.Г.. Экспериментальное исследование динамических режимов работы двухскоростных асинхронных электродвигателей // Журнал “Вестник ТашГТУ”. -Ташкент, 2019. №2 (107), -С. 63-68. (05.00.00; №16).

8. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Экспериментальные исследования двухскоростного электродвигателя // Журнал “Проблемы энерго- и ресурсосбережения». -Ташкент, 2019. № 3-4. -С.339-344. (05.00.00; №21).

9. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Тўйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф. Новые перспективы для использования двухскоростных полусопереключаемых машин // Журнал “Проблемы энерго- и ресурсосбережения». -Ташкент, 2020. № 3-4. -С. 224-228. (05.00.00; №21).

II бўлим; (II часть; II part)

10. Rismuxamedov D., Tuychiev F., Rismuxamedov S. Pole-changing windings for turbomechanism engines // CONMECHYDRO – 2020. IOP Conf.

Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012140, IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/883/1/012140.

11. M.Bobojanov, D.Rismuxamedov, F.Tuychiev, Kh.Shamsutdinov and Kh.Magdiev. Pole-changing motor for lift installation // E3S Web of Conferences 216, 01164 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601164>.

12. Bobojanov M.K., Rismukhamedov D.A., Tuychiev F.N., Shamsutdinov H.F. and Magdiev H.G. Construction and analysis of the pole-changing windings for the pole pairs ratio 5/6 by method discretely specified spatial function// International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, No. 11s (2020), pp. 1410-1415.

13. Бобожанов М.К., Юсупов Ф.Ю., Туйчиев Ф.Н. Программа расчета высших гармонических двухскоростного электрического двигателя // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 03535, 17.02.2016.

14. Юсупов Ф., Туйчиев Ф.Н., Бобожанов М.М., Рисмухамедов С.Д. Программа построения и расчета картин намагничивающих сил // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 05009. 31.01.2018.

15. Бобожанов М.М., Зайнидинов Х., Юсупов Ф., Туйчиев Ф.Н. Разработка программы построения картины намагничивающих сил // Научно-практический журнал “Высшая школа”. -Уфа, 2018. - №10, -С. 101-104.

16. Туйчиев Ф.Н., Эшмуродов С.С., Алижонов Ё.С. Моделирование асинхронного электродвигателя 4А80А4УЗ с помощью программы Ansys Maxwell // Научно-практический журнал “Высшая школа”. -Уфа, 2019. - №2, -С. 57-59.

17. Бобожанов М.К., Туйчиев Ф.Н. Чориёров А.З. Влияние высших гармоник на работу асинхронных двигателей. Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса. Ташкент, 25-26 май 2015. –С.52-55.

18. Бобожанов М.К., Туйчиев Ф.Н., Магдиев Х.Г., Рисмухамедов С.Д., Ачиллов Х.Дж. Энергосбережение в насосных станциях // Сув ва ер ресурсларидан оқилона фойдаланиш самарадорлигини ошириш мавзусидаги республика илмий назарий андумани. Бухоро, 22-25 ноябрь 2019, -Б.77-79.

19. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсуддинов Х.Ф. Двухскоростной асинхронный электродвигатель с новой полюсопереключаемой обмоток // В сборнике научных трудов V международной научно-технической конференции “Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий”. Уфа, 15-18 апрель 2020, -С.40-45.

20. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсуддинов Х.Ф.. Проектирование и моделирование асинхронного электродвигателя с помощью программы MAXWELL // Ўзбекистонда илмий амалий тадқиқотлар мавзусидаги республика 15-қўп тармоқли илмий масофавий онлайн конференция. Тошкент, 30 апрель 2020, -Б. 220-222.

21. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф.. Построение полюсопереключаемой обмотки методом дискретно-заданных пространственных функций // Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрном-пищевом секторе. Сборник научных трудов международной научно и научно-технической конференции. Ташкент, 24-25 апрель 2020, -С. 670-671.

22. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Шамсутдинов Х.Ф., Магдиев Х. Ф. Юк кўтариш механизмлари учун кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш // Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар мавзусида халқаро илмий-амалий конференция. Андижон, 2020. -Б.56-62.

23. Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Ачилов Х.Дж. Моделирование асинхронного электродвигателя с помощью программы ANSYS Maxwell RМхprt // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве: Сборник научных трудов международной научно-практической онлайн конференции. Бухара, 25-26 сентябрь 2020. -С.78-81.

24. Рисмухамедов Д.А., Туйчиев Ф.Н., Магдиев Х.Ф. Юк кўтариш транспорт механизмлари учун икки тезликли кутблар сони ўзгарувчан чулғам ишлаб чиқиш // Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари мавзусида республика илмий-техникавий анжумани. Тошкент, 2020. -Б.105-108.

