



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ELEKTRIMASINA RIKKESIMULAATORI KASUTUSJUHENDI KOOSTAMINE

COMPOSITION OF ELECTRICAL MACHINE FAULT SIMULATOR MANUAL

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Andi Ingalt

Üliõpilaskood: 163906 AAVB

Juhendaja: Toomas Vaimann, vanemteadur
Bilal Asad, doktorant

Tallinn, 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Andi Ingalt

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Elektrimasina rikkesimulaatori kasutusjuhendi koostamine

Kuupäev: 24.05.2019

55 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Toomas Vaimann, Bilal Asad

Sisu kirjeldus:

Käesolevas töös tutvustatakse kolmefaasilist asünkroonmasinat ja selle levinumaid rikkeid ning nende tuvastamist. Töö lõppeesmärgiks on tutvustada üht Tallinna Tehnikaülikooli poolt hangitud kolmefaasilise asünkroonmasina staatoririkete tuvastamise katseseadet, anda hinnang selle kasutatavusele õppetöös ja luua sellele nii eestikeelne kasutusjuhend kui ka laboritöö juhend.

Märksõnad: asünkroonmasin, asünkroonmootor, asünkroongeneraator, rikkesimulaator, staator, rike, juhend

ABSTRACT

Author: Andi Ingalt

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Composition of Electrical Machine Fault Simulator Manual

Date: 24.05.2019

55 pages (the number of thesis pages
including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Toomas Vaimann, Bilal Asad

Abstract:

In this thesis the three-phase asynchronous machine is covered along with its most common faults and their detection. The aim of this thesis is to introduce a new test apparatus meant to be used in laboratory classes to study the stator faults of a three-phase induction machine. An assessment for the machine is given and a manual and a laboratory guide is created.

Keywords: asynchronous machine, induction machine, induction generator, induction motor, fault simulator, stator, fault, manual,

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektrimasina rikkesimulaatori kasutusjuhendi koostamine
Lõputöö teema inglise keeles:	Composition of electrical machine fault simulator manual
Üliõpilane:	Andi Ingalt, 163906
Eriala:	Elektroenergeetika AAVB61
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Toomas Vaimann, Bilal Asad
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	24.06.2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	24.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Antud lõputöö eesmärgiks on võimaldada TalTechi üliõpilastel kasutada oma õpptöös katseseadet, mille abil saab tutvuda asünkroonmasina staatoririketega, et mõista kuidas erinevaid rikkeid tuvastada. Elektrimasinad on lahutamatu osa energiasüsteemist ning nende põhiliste rikete tüüpide tundmine ja tuvastamine on seetõttu tähtis osa ühe tulevase energeetiku teadmistepagasist. Kuna hetkel sellist katseseadet koolis õppetöös kasutusel ei ole, siis võimaldakski antud uurimistööl tulema anda tudengitele paremat väljaõpet.

2. Töö eesmärk

Teema eesmärgiks on luua eestikeelne juhend ja laboritöö juhend lühisrootoriga asünkroonmasina rikete simuleerimise seadmele, mis võimaldaks antud seadet kasutada õppeesmärkideks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Töö käigus tutvutakse asünkroonmasina kasutamisega energeetikas ja erinevate asünkroonmasina rikete põhjuste ja tagajärgedega. Tutvustatakse võimalust tutvumaks mootori staatori tõrgetega, simuleerides tõrkeid programmiga ning analüüsides mootorit multimeetriga. Samuti tutvutakse katseseadmega ja luuakse eestikeelne juhend ning laboritöö juhend katseseadme kasutamiseks õppeesmärkideks üliõpilaste poolt.

4. Lähteandmed

Põhilisteks lähteandmeteks on katseseade ja selle võõrkeelne kasutusjuhend, mis on Tallinna Tehnikaülikooli poolt tagatud. Rikete põhjustest ja tagajärgedest leitakse infot internetist erinevate uurimuste ja katsete tulemustest. Asünkroonmasina kasutamisest energeetikas plaanitakse infot saada erialasest kirjandusest ja publikatsioonidest.

5. Uurimismeetodid

Põhiliseks uurimismeetodiks on katseseadmega tutvumine ja katsetamine. Lisaks tutvumine erialakirjandusega, asjakohaste standardite ja normdokumentidega ning nende analüüs.

6. Graafiline osa

Töö varustatakse asjakohaste graafiliste osadega. Masina juhend dokumentatsioonina koos asjakohaste tabelite ja joonistega esitatakse töö lisas.

7. Töö struktuur

Sissejuhatus

Lühisrootoriga asünkroonmasin

Asünkroonmasina kasutusvaldkonnad ja nende kasutamine energeetikas

Asünkroonmasina rikked ja nende tuvastamine

Uuritav katseseade staatori rikete tuvastamiseks

Kokkuvõte

Lisa 1: Rikkesimulaatori kasutusjuhend

Lisa 2: Rikkesimulaatori laboritöö juhend

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Katseseadme dokumentatsioon

Elektrimasinate katsetamise alased artiklid

Erialakirjandus

9. Lõputöö konsultandid

Konsultandi liitmise vajadus puudub.

10. Töö etapid ja ajakava

Tutvumine erialakirjandusega 01.03.2019

Tutvumine katseseadme dokumentatsiooniga 15.03.2019

Katseseadmega teoreetiliselt tutvumine 29.03.2019

Katseseadmega praktiliselt tutvumine ning katsetamine 12.04.2019

Aruande koostamine (töö esimene versioon) 03.05.2019

Lõputöö valmimine 17.05.2019

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	10
SISSEJUHATUS	11
1. LÜHISROOTORIGA ASÜNKROONMASIN.....	12
1.1 Tööpõhimõte	13
2. ASÜNKROONMASINA KASUTUSVALDKONNAD JA KASUTAMINE ENERGEETIKAS	16
2.1.1 Hüdroelektrijaamad	16
2.1.2 Tuulegeneraatorid.....	16
3. ASÜNKROONMASINA RIKKED JA NENDE TUVASTAMINE.....	20
3.1 Laagri purunemine	20
3.1.1 Laagri rikete tuvastamine.....	22
3.2 Rootori rikked	23
3.2.1 Rootori rikete tuvastamine	23
3.3 Staatori rikked.....	24
3.3.1 Staatori rikete tuvastamine.....	26
4. UURITAV KATSESEADE STAATORI RIKETE TUVASTAMISEKS	29
4.1 Katsetused katseseadmega.....	32
4.1.1 Katseseadmega tutvumine.....	33
4.1.2 Seadme tööst tehtud tähelepanekud	34
4.1.3 Katseseadmele koostatav juhend	35
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	38
KASUTATUD KIRJANDUS	39

LISAD	41
Lisa 1 Katseseadme kasutusjuhend	42
Lisa 2 Katseseadme laboritöö juhend	48

EESSÕNA

Käesoleva töö teema pakkus välja Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi vanemteadur Toomas Vaimann, kelle käest sain tutvumiseks ka katseseadme. Katseseadmega tutvumisel ja selle tööpõhimõtte mõistmisel oli töö autorile abiks doktorant Bilal Asad.

Töös tutvutakse lühisrootoriga asünkroonmasina rikkesimulaatoriga ning luuakse sellele kasutusjuhend ja laboritöö juhend.

SISSEJUHATUS

Kolmefaasiline lühisrootoriga asünkroonmasin on üks enimkasutatavaid elektrimootori tüüpe tööstuses. Laialdane kasutus tuleneb seadme lihtsast ja töökindlast ehitusest, mis tähendab, et mootor on odav, ei vaja käivitamiseks ergutust ning on suhteliselt lihtsalt juhitav. Energeetikasektoris on asünkroonmasinad kasutusel mootoritena erinevates abiseadmetes ja kütuse etteandesüsteemides, kuid leiavad kasutust ka generaatoritena. Seda eelkõige tuulegeneraatorites ja väikestes hüdroelektrijaamades

Selleks, et tagada seadmete jätkusuutlik töö on vajalik lisaks seadme tööpõhimõttele tunda ka seadme ehitust ning võimalike rikkeid ja nende diagnoosimist. Seetõttu on tähtis, et tulevased energeetikud või muu elektriala õpingute lõpetajad puutuksid selle teemaga õpingute jooksul kokku nii teoorias kui ka praktikas. Seeläbi omaksid nad sellekohaseid vajalikke teadmisi ja kogemusi.

Käesoleva töö esimeses pooles tutvustatakse asünkroonmasina ehitust, levinumaid rakendusi generaatoritena energeetikasektoris ja seadmes esineda võivaid rikkeid. Täpsemalt käsitletakse kolme tüüpi rikkeid asünkroonmasinas: rootori rikkeid, laagri rikkeid ja staatori rikkeid.

Töö teises pooles tutvustatakse Tallinna Tehnikaülikooli poolt hangitud katseseadet, mida saab kasutada tudengite õppetöös asünkroonmasina staatoririkete tuvastamise tundmaõppimiseks. Kuna seade on hangitud õppetöös kasutamiseks, viiakse sellega läbi tutvustavad katsed ning katseseadmele kasutatavusele õppetöös antakse hinnang. Töö lõppeesmärgiks on luua eestikeelne juhend selle seadme kasutamiseks ning laboritöö juhend seadme reaalseks kasutamiseks õppetöös.

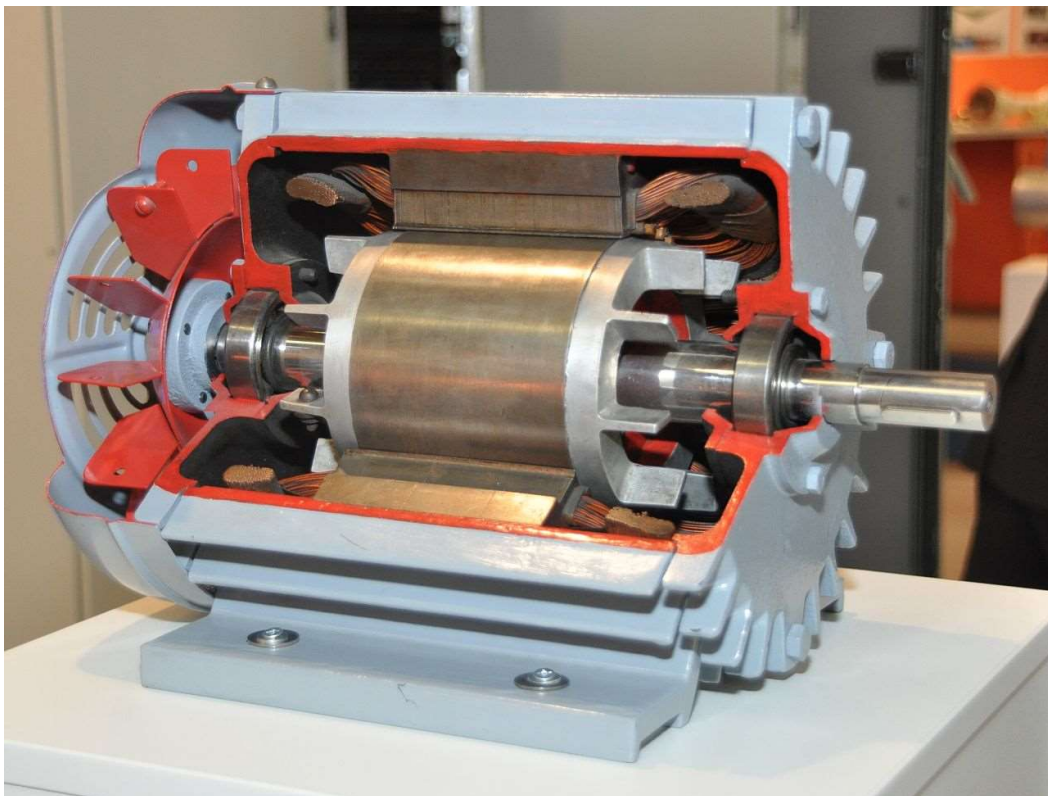
Antud lõputöö lõppeesmärk võimaldab õpilastel tutvuda asünkroonmasina staatoririketega, et anda ülevaade kuidas erinevaid rikkeid tuvastada. Katseseadme kasutamine võimaldab lisaks otsesele rikete tuvastamise õppimisele kinnistada ka teoreetilisi teadmisi staatori ehitusest, kuna staatoririkete tuvastamine põhineb staatori ehituse tundmisel.

Asünkroonmasinad on nende lihtsuse ja töökindluse tõttu lahutamatu osa energiasüsteemist ning nende põhiliste rikete tüüpide tundmine ja tuvastamine on seetõttu tähtis lisa ühe tulevase energeetiku teadmistepagasile. Kuna hetkel sellist katseseadet koolis õppetöös kasutusel ei ole, siis võimaldakski antud uurimistöö tulem anda tudengitele paremat väljaõpet.

1. LÜHISROOTORIGA ASÜNKROONMASIN

Asünkroonmasinaid võib liigitata sõltuvalt faaside arvust, kuid tööstuses ja energeetikas on enamlevinud kolmefaasilised asünkroonmasinad. Kolmefaasilised asünkroonmasinad jagunevad omakorda lühisrootoriga asünkroonmasinateks ning faasirooriga asünkroonmasinateks. Käesolevas töös puudutatakse lähemalt kolmefaasilist lühisrootoriga asünkroonmasinat.

Asünkroonmasinat kasutatakse eelkõige mootorina kuid teatud tingimustel võib ta töötada ka generaatorina. Kuna asünkroonmootor ja asünkroongeneraator on ehituselt samad, siis käeolevas töös kasutatakse enamjaolt üldist mõistet asünkroonmasin kuid sõltuvalt näitest võib leida ka termineid asünkroonmootor või asünkroongeneraator. Lihtsustatult koosneb asünkroonmasin staatorist ja rootorist. Joonisel 1.1 on kujutatud läbilõige lühisrootoriga asünkroonmasinast. Näha on staator, koos selles paiknevate mähistega, ning lühistatud otstega rootor.



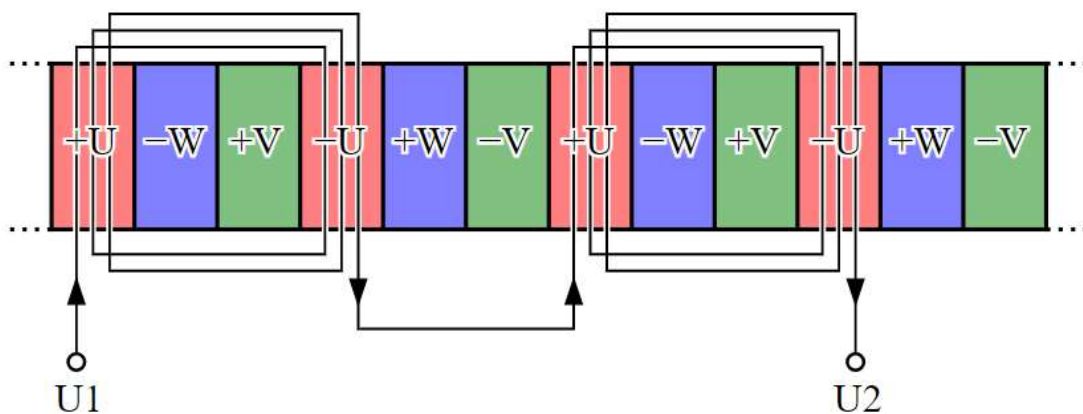
Joonis 1.1 Lühisrootoriga asünkroonmasina läbilõige [1]

1.1 Tööpõhimõte

Asünkroonmasinad on vahelduvvoolumasinaid, mis töötavad staatoris tekkiva liikuva magnetvälja toimel. Enimlevinud asünkroonmasinad kasutavad kolmefaasilist voolu, millega tekitatakse staatorisse pöörlev magnetväli. Pöörleva magnetvälja toimel indutseeritakse rootoris voolud, mis omakorda tänu Lenzi reeglile rootori pöörlema paneb.

Asünkroonmasina staator on masina paigalseisev osa, mis tekitab pöörlevat magnetvälja. Staatori on sarnaselt rootorile valmistatud teraslehtedest, vältimaks pöörivoolude teket. Magnetväli tekib staatori mähiseid läbiva voolu tõttu ja selle pöörlemine on põhjustatud kolmefaasilise voolu vaheldumisest mähiste vahel. Lihtsaim pöörlev magnetväli saadakse kolme mähisepooli abil. Need mähisepoolid saavad toitepinge kolmefaasilise vahelduvpingesüsteemi eri faasidest. Iga pool koosneb kahest osast, lihtsustatult algusest ja lõpust, mis paiknevad kahes erinevas uures. Selleks, et saavutada pöörlev magnetväli, peavad mähisepoolid olema paigutatud vaheldumisi nii, et eri faaside algused ja lõpud on paigutatud vaheldumisi. [2]

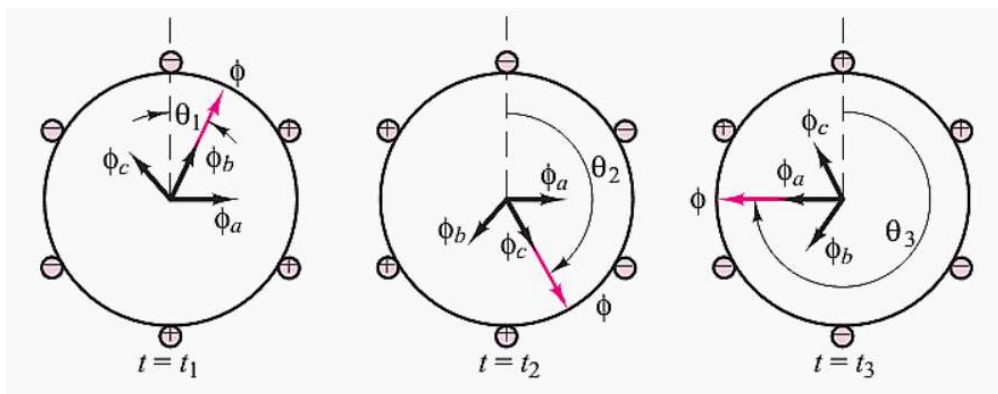
Staatori mähiste paigutust illustreerib joonis 1.2. Joonisel on kujutatud kuue mähisepooliga staatori pinnalaotus, mida saab võrrelda kui kaht jadamisi ühendatud kolme mähisepooliga staatorit.



Joonis 1.2 Staatori faaside mähiste paiknemise järjekord [3]

Selleks, et seadmes paiknevad mähised toimiks poolidena, peavad mähise keerud olema üksteisest isoleeritud. Üldjuhul kasutatakse faasi keerdukes spetsiaalset kaetud juhet [4]. Isolatsioon tagatakse ka eri mähiste ning mähiste ja staatori metallist korpuse vahel.

Kuna kolmefaasilises ahelas on kahe järjestikuse faasi pingete amplituudide vahe 120° , siis tekib mähiste kolme faasi voolude hetkväärtuste muutumise tõttu staatori sisepinnal selline summaarne magnetväli, mille poolused pöörlevad. Joonisel 1.3 on kujutatud kolme poolusepaariga mähises tekkiv pöörlev magnetväli. [2]



Joonis 1.3 Pöörleva magnetvälja tekkimine [5]

Asünkroonmasina rootor on staatori sees võlliga koos pöörlev osa. Rootori välispinnal on sarnaselt staatorile uured, millesse on paigutatud rootori mähis. Rootori võib olla valmistatud kas lühismähisega või staatorimähisega sarnase kolmefaasilise mähisena, mis koosneb rootori isoleeritud mähisepoolidest. Esimesel juhul on tegemist lühisrootoriga asünkroonmasinaga, teisel juhul on tegemist faasirootoriga asünkroonmasinaga. [2]

Enim levinud on lühisrootoriga asünkroonmasinad. Nende lühismähis koosneb varrastest ja neid ühendavatest otstes paiknevatest lühisrõngastest. Selline mähis valmistatakse tavaliselt alumiiniumist survevalu meetodil. Valamisel täituvad kõik isoleerimata uured ja moodustuvad ka lühisrõngad. Selline mähis on võrreldav oravaratta taolise puuriga, mistõttu nimetatakse sellist mähist ka oravikmähiseks (*squirrel cage*). [2]

Faasirootori korral on kolme faasi mähised tavaliselt ühendatud tähte, ning iga mähise algus on ühendatud ühega kolmest võllil asuvast üksteisest isoleeritud kontaktrõngast. Kontaktrõngaste kaudu on rootormähis ühendatud välisahelaga, kus asub kiiruse reguleerimise skeem. Tänapäeval kasutatakse faasirootoriga lahendust mootorites vähem, kuna sagedusmuundurid võimaldavad ka lühisrootoriga asünkroonmasinate kiirust reguleerida, kuid näiteks uuemates tuulegeneraatorites on tihti kasutusel just faasirootorid. [2]

Kui staator lülitada võrgusageduslikule kolmefaasilisele pingele, tekitab staatoris pöörlev magnetväli. Kuna seisva rootori suhtes on tegu liikuva magnetväljaga, indutseeritakse sellesse pinge, mis põhjustab rootori mähises voolu. Tulenevalt Lenz'i reeglist indutseeritakse rootoris vool, mille poolt tekitatav magnetväli püüab takistada välise magnetvälja muutust. Seega hakkab rotor välise magnetväljaga koos pöörlema. Kui staator saavutaks rootori magnetväljaga sama pöörlemiskiiruse, oleks staatori magnetvälja ja rootori suhteline kiirus null, mistõttu ei indutseeritaks staatorisse voolu ega tekiks ka magnetvälja. Seega on rootori kiirus staatorist alati teatud nurkkiiruse võrra väiksem. Seda nurkkiirust ω_2 nimetatakse libistuskiiruseks ja suhtelist libistuskiirust staatorivälja suhtes nimetatakse libistuseks s . [2]

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \quad (1.1)$$

, kus ω_s - on sünkroonne nurkkiirus
 ω - rootori nurkkiirus paigalseisva staatori suhtes

2. ASÜNKROONMASINA KASUTUSVALDKONNAD JA KASUTAMINE ENERGEETIKAS

Asünkroonmootorid on levinuimad elektrimootorid tööstuses [2]. Selle põhjuseks on eelkõige asünkroonmootori lihtsus, mistõttu on seda odav soetada ning ülal pidada, võrreldes näiteks sünkroonmootoriga. Asünkroongeneraatorid on kasutusel generaatoritena osades taastuvenergia tootmisüksustes, nagu tuulegeneraatorid või väiksemad hüdroelektrijaamad kuna suudavad toimida erinevatel kiirustel ning on soodsad ja töökindlad.

Kuigi energeetikasektoris kasutatakse ka mootoreid, eelkõige igasuguste abiseadmetena või mootoritena kütuse etteandesüsteemides elektrijaamades, siis käesolevas peatükis keskendutakse elektrienergia tootmisele. Lähemalt tutvustatakse kaht põhilist asünkroongeneraatoreid kasutatavat elektrijaama tüüpi, milleks on väiksemad hüdroelektrijaamad ja tuulegeneraatorid.

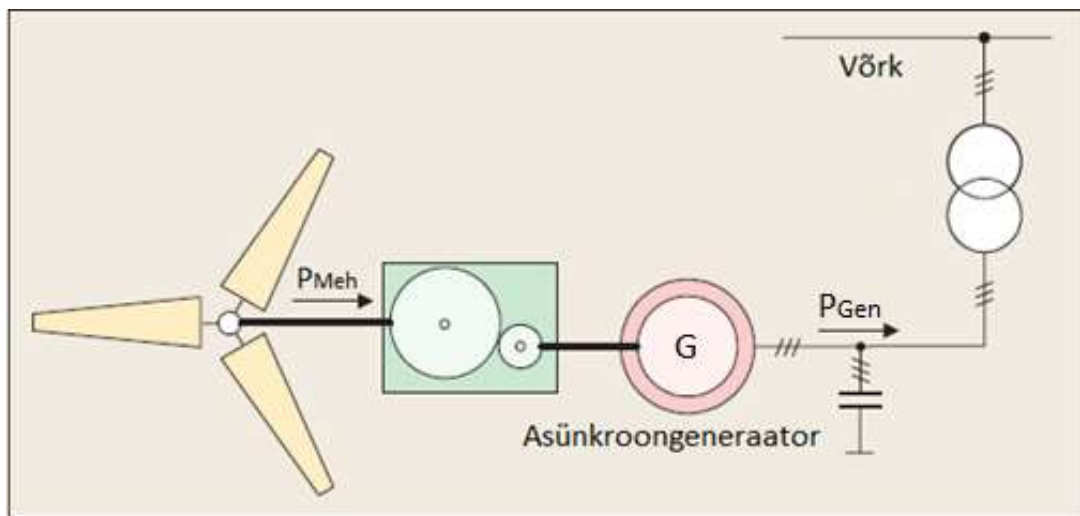
2.1.1 Hüdroelektrijaamad

Asünkroonmasinaid kasutatakse hüdroelektrijaamades väikeste võimsuste korral, tulenevalt asünkroonmasina töökindlusest, vähesest hooldusvajadusest ja vähesest maksumusest. Tihti võivad sellised väikesed generaatorid toita põhivõrgust eraldatud üksikuid asutusi, kus elektritarbimine on ühefaasiline kuid kuhu ühefaasilise generaatori paigaldamine oleks kulukam seadme suurema maksumuse tõttu. [6]

2.1.2 Tuulegeneraatorid

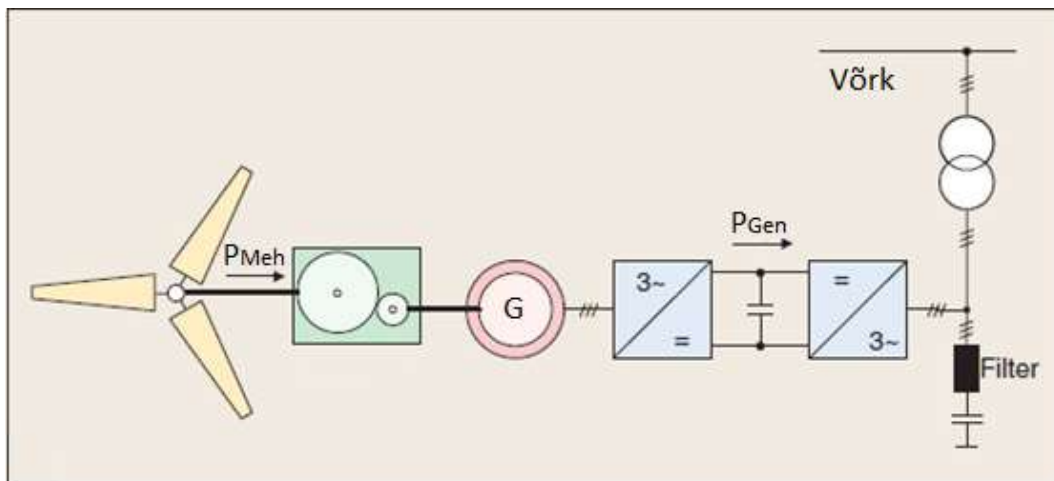
Tuulegeneraatorites kasutatavad elektrienergia tootmise süsteemid võib lihtsustatult jagada kolmeks. Esmalt otse võrku ühendatud kolmefaasiline asünkroongeneraator; teiseks läbi sagedusmuunduri võrku ühendatud generaator ning kolmandaks *doubly fed induction generator*, ehk topelt toitega asünkroongeneraator [7]. Tuulegeneraatorite ühiseks omaduseks on tuulest tulenev ebaühtlane pöördemoment. Sellest tulenevalt on tuulegeneraatorites kasutusel enamasti asünkroongeneraatorid, mis võimaldavad, võrreldes sünkroongeneraatoriga, teatud järeleandmisi pöörlemiskiiruses ja vähendavad seeläbi ka generaatorile mõjuvaid mehhaanilisi pingeid.

Väiksemate tuulegeneraatorite puhul kasutatakse tihti lihtsaimat lahendust, kus kolmefaasiline lühisrootoriga asünkroongeneraator ühendatakse otse võrku. Sellise süsteemi reguleerimine on keeruline ja nõuab stabiilset ja tugevat võrku. Samuti hoiab selline süsteem kindla võrgusageduse säilitamiseks ühtlast pöörlemiskiirust läbi labade nurga reguleerimise, mis on keeruline ning ei jõua reageerida igale tuulepuhangule. Joonisel 2.1 on kujutatud eelpool kirjeldatud otse võrku ühendatud süsteemi skeem. Ühendus tuuliku labade ja generaatoriga toimub läbi käigukasti, et tõsta pöörlemiskiirust. [7]



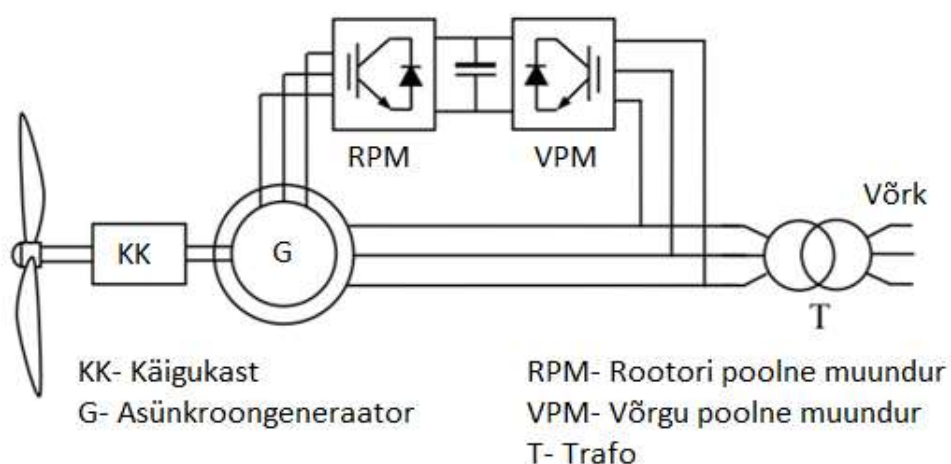
Joonis 2.1 Otse võrku ühendatud asünkroongeneraatoriga tuulegeneraator [7]

Tänapäevastes tuulegeneraatorites kasutatakse peamiselt varieeruva pöörlemiskiirusega tuulikulabasisid. Sellise süsteemi põhilised eelised on järgmised: odavam süsteem tuulikulabade nurga kontrollimiseks, kuna selle eesmärk on vaid maksimumkiiruse piiramine; vähesem mehhaaniline pinge süsteemile kuna tuulik saab vajadusel kiirust muuta; kuni 10% parem kasutegur, kuna labade pöörlemiskiirus saab olla optimaalseim sõltuvalt tuulekiirusest. Üks viis rakendada varieeruva kiirusega tuulikut on generaatori võrku ühendamine läbi sagedusmuunduri. Sagedusmuunduris muudetakse generaatorist tulev ebahütlane vahelduvvool alalisvooluks ja seejärel ühtlaseks vahelduvvooluks. Joonisel 2.2 on kujutatud läbi sagedusmuunduri võrku ühendatud tuulegeneraatori skeemi. [7]



Joonis 2.2 Läbi sagedusmuunduri võrku ühendatud tuulegeneraatori skeem [7]

Võimsuste kasvades muutuvad voolu alaldi ja vaheldi seadmed kulukateks nii seadmete maksumuse kui ka energiakadude tõttu, seega on tänapäeval suuremates tuulegeneraatorites (3-5 MW) kasutusel topelt toitega asünkroongeneraatoriga süsteem (*Doubly fed induction generator* ehk *DFIG*). *DFIG* näol on tegu faasirootoriga asünkroongeneraatoriga, mille rootori faase toidetakse reguleeritavast allikast. Selleks on üldjuhul võrgust toite saav alaldi ja vaheldi kombinatsioon, mis võimaldab staatorisse anda erineva sageduse ja amplituudiga voolu. Seeläbi on võimalik hoida stabiilset väljundpinget generaatori staatori klemmidel, ka rootori erinevate pöörlemiskiiruste juures. Joonisel 2.3 on kujutatud *DFIG* skeemi. Jooniselt on näha, et generaatori on ühendatud võrguga läbi kahe ühenduse, millest tuleneb ka sellise generaatori nimi. Ka on jooniselt näha, et rootoriga ühendatud skeem saab oma toite otse võrgust, kuigi see võib olla toidetud ka läbi trafo. [7]



Joonis 2.3 Läbi topelt toitega asünkroongeneraatori võrku ühendatud tuulegeneraator [8]

DFIG-d on arendatud, vältimaks probleeme, mis esinevad otse läbi sagedusmuunduri võrku ühendatud tuulegeneraatoritega. Järgnevalt on välja toodud *DFIG* süsteemi põhilised eelised sellise süsteemi ees [7]:

- a) Vähendatud sagedusmuunduri maksumus, kuna rootori toitesüsteemi võimsus on tüüpiliselt ligi 25% kogu süsteemi võimsusest.
- b) Sagedusmuunduri poolt põhjustatud harmoonikute mõju genereeritud väljundpingele on väiksem.
- c) Süsteemi energiakaod on väiksemad, võimaldades ligi 2-3 % efektiivsuse kasvu.

3. ASÜNKROONMASINA RIKKED JA NENDE TUVASTAMINE

Asünkroonmasinate laialdase kasutuse tõttu on asünkroonmootorite ja -generaatorite rikete tuvastamist mitmetes artiklites käsitletud ja nendes ka mitmeid eri meetodeid välja pakutud. [9], [10]

Üldiselt esinevad lühisrootoriga asünkroonmasinates järgnevad rikked:

- a) Laagri rikked
- b) Rootori varraste purunemine
- c) Staatori mähiste rikked

Asünkroonmasin on keeruline elektromagnetiline süsteem, mistõttu tuleb rikete tuvastamiseks jälgida asünkroonmasina mehhaanilisi ja elektromehhaanilisi omadusi. Mehhaaniliste omaduste all jälgitakse näiteks vibratsiooni, akustikat ja kiiruse kõikumist, elektromehhaanilistest omadustest jälgitakse voolude ja pingete kõikumist ja väärtusi, osalahendusi ja lekkevoogusid. [11]

Lähtudes ülaltoodud jaotusest on järgnevates alapeatükkides rikked jaotatud laagri rikkeks, rootori riketeks ja staatori riketeks.

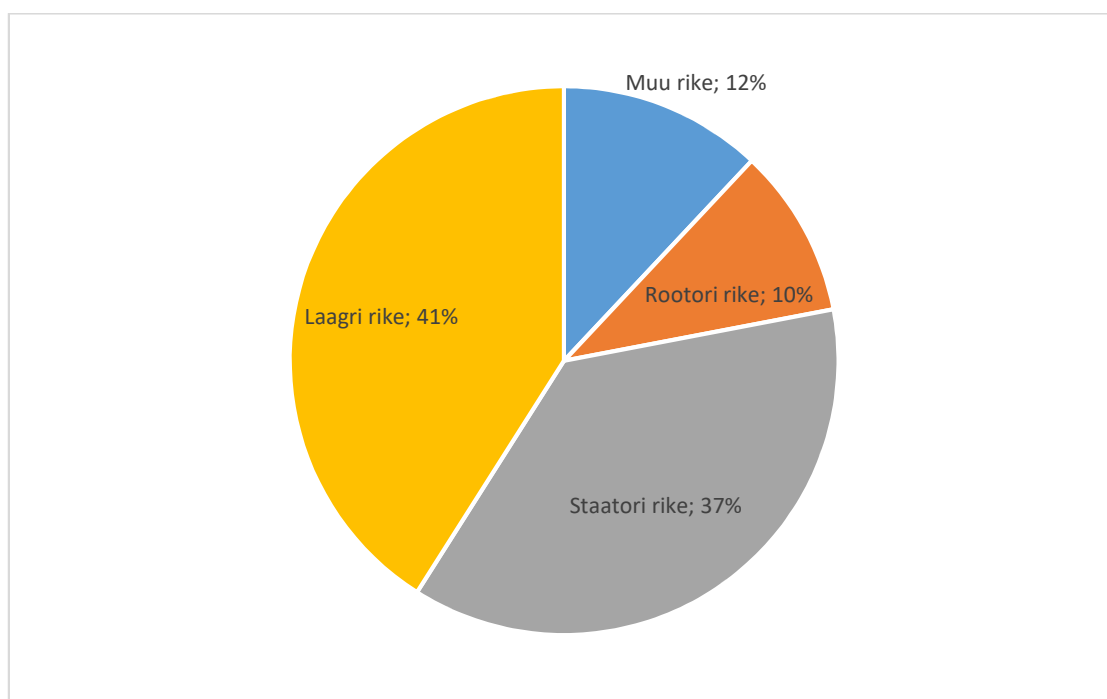
3.1 Laagri rikked

Enamikes elektrimasinates kasutatakse kuul- või rull-laagreid, toestamaks pöörlevat rootorit. Seadme töö käigus laagrid kuluvad ja purunevad. Eriti nõudlik valdkond on tuulegeneraatorid, kus laagritele mõjuvad tihti ootamatud väliskeskonnast tulenevad jõud. Joonisel 3.1 on kujutatud üht näidet vigastatud kuullaagrist. Jooniselt on näha laagri vigastatud separaatorit.



Joonis 3.1 Purunenud separaatoriga kuullaager [12]

Laagri purunemine on levinuim viga asünkroonmasinates, moodustades sõltuvalt seadmete võimsustest ligi 40% kuni 90% riketest [12]. Joonisel 3.2 oleval diagrammil on kujutatud näitena Põhjamere naftaplatvormidel kasutatavate asünkroonmootorite rikete jagunemine tekkepõhjuste järgi. Diagrammilt selgub, et vaadeldavates asünkroonmasinates on laagri purunemine enimlevinud rike. Sarnase osakaalu moodustavad ka staatori rikked. Väiksema osakaaluga on aga rootori rikked ja muud vead. [12]



Joonis 3.2 Asünkroonmootorite rikete jagunemine

Joonisel 3.2 toodud diagrammist selgub, et laagrite seisukorra jälgimine on üks tähtsamaid asünkroonmasina rikke ennetamise viise. Üks viis laagri seisukorra hindamiseks on seadme vibratsiooni ja laagri temperatuuri jälgimine [12]. Kuna selline seadme mehhaaniline jälgimine on kulukas ja ei sobi igasse keskkonda, siis on välja töötatud ka erinevad staatori voolu jälgimisel põhinevad meetodid. [9], [12]

3.1.1 Laagri rikete tuvastamine

Asünkroonmasina laagri purunemine väljendub elektrotehnilises mõistes vigasest laagrist põhjustatud ebaühtlase õhupiluna staatori ja rootori vahel. Sellest tulenevalt jätab purunenud laager jälje ka staatori vooludesse, mille uurimisel tänapäevased meetodid põhinevad. Näide ühest meetodist põhineb vigasest laagrist põhjustatud lisaharmonoonikute jälgimisel. Staatorisse laagri poolt tekitatud lisaharmonooniku sagedus avaldub valemiga [9]:

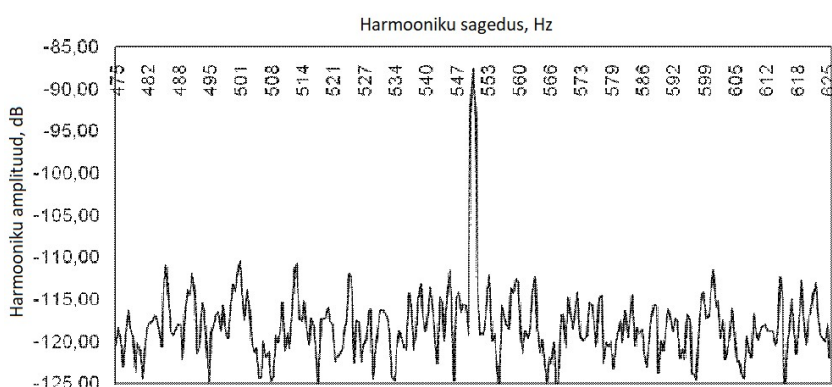
$$f_{bng} = |f_1 \pm m \cdot f_v| \quad (3.1)$$

,kus f_1 – põhisagedus

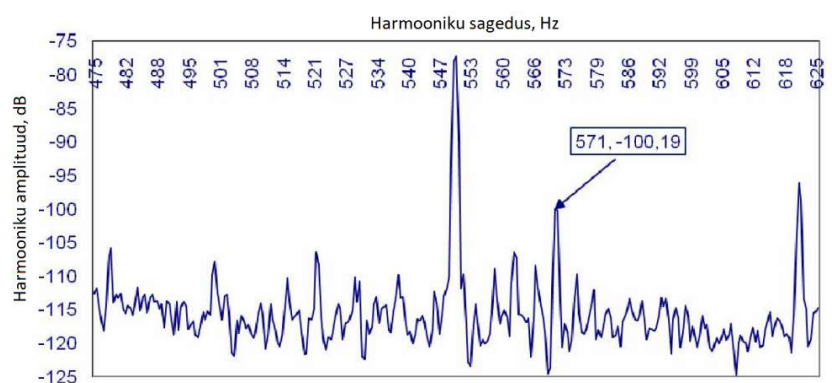
f_v - vigasest laagrist põhjustatud harmooniku sagedus. Sõltub laagri parameetritest ja vea tüübist. Leitakse vastava valemiga.

m – 1,2,3...

Järgnevalt on kujutatud kaht kiire Fourier' teisenduse diagrammi. Horisontaalteljel on kujutatud sagedust (Hz) ning vertikaalteljel harmooniku amplituud (dB). Joonisel 3.4 on näha rikkega laagri korral kerkivad esile lisaharmonoonikud ja joonisel 3.3 sama graafikut terve masina korral.



Joonis 3.3 Terve asünkroongeneraatori signaal [9]



Joonis 3.4 Laagririkkega asünkroongeneraatori signaal [9]

3.2 Rootori rikked

Põhilisteks rootori riketeks on purunenud lühisrootori vardad või otsarõngad ja deformeerunud võll. Rootori varraste purunemist põhjustavad üldjuhul metalli vananemine, mehhaanilised pinged muutuvate koormuste korral ja voolu termiline toime. Rootori varraste purunemine üldjuhul koheselt täieliku riket ei põhjusta. Rootorisse indutseeritavad voolud ei saa läbi murdunud varda sulguda ning voolude ümberjagunemise tõttu kuumenevad oluliselt katkise varda lähedal olevad vardad. Asünkroonmasinas on katkiste varraste tõttu masina rootor magnetiliselt ebasümmeetriline, mis omakorda põhjustab liigseid vibratsioone ja harmoonikate teket. Rikke süvenedes võib piisav hulk purunenud rootori vardaid tekitada olukorra, kus mootor ei suuda iseseisvalt käivituda, kuna ei suuda toota piisavalt pöördemomenti. Lisaks võib katkise rootoriga seadme töö jätkumisel tekkida suuremaid rikkeid, näiteks võlli deformeerumine või murdunud metallitükkide poolt tekitatud kahju staatorile. Deformeerunud rootori võll põhjustab sarnaselt purunenud laagrite ebaühtlase õhupilu rootori ja staatori vahel. Joonisel 3.5 on kujutatud purunenud varrastega rootorit. [10],[13]



Joonis 3.5 Lühisrootori purunenud vardad [10]

3.2.1 Rootori rikete tuvastamine

Kuna asünkroonmasinad töötavad tihtipeale ka pideva järelvalveta, nagu näiteks tuulegeneraatoris, siis üldjuhul kasutatakse vigade varajase tuvastamise tarbeks masina pidevat seiret ja vigade prognoosimist. Traditsioonilised algoritmid kasutavad vigade tuvastamiseks sageli staatori vooluspektris muutuste tuvastamist. [9]

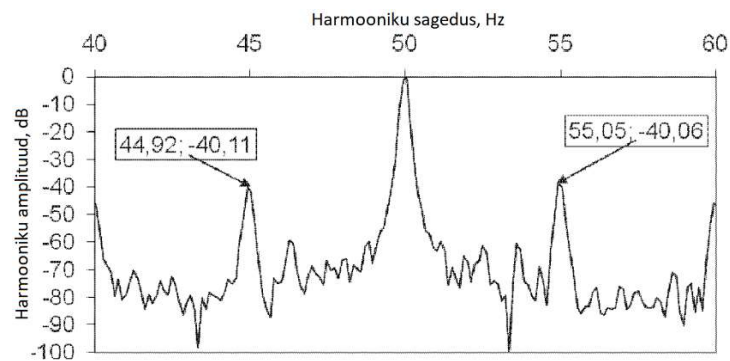
Üks viis rootori varraste vigastuste tuvastamiseks on jälgida staatori voolu sagedusspektris põhiharmooniku kõrvale tekkivaid lisaharmoonikuid. Antud lisaharmoonikute sagedus on antud järgneva valemiga [9]:

$$f_{bl} = f_1(1 + 2s) \quad (3.2)$$

, kus f_1 - voolu sagedus

s - rootori libistus

Joonisel 3.6 on toodud näide purunenud rootorivarraste poolt tekitatud lisaharmoonikutest kiirel Fourier' teisenduse diagrammil. Horisontaalteljel on kujutatud sagedust (Hz) ning vertikaalteljel harmooniku amplituud (dB). Diagrammilt paistavad selgelt põhiharmooniku kõrvale moodustunud kaks tippu. [9]



Joonis 3.6 Rootoririkkega asünkroongeneraatori signaal [9]

3.3 Staatori rikked

Käesolevas töös käsitletav katseseade on ette nähtud staatori riketega tutvumiseks. Staatori rikked kujutavad endast üldjuhul staatori mähiste isolatsiooni vigastusi ja sellega kaanevaid lühiseid või ühe faasi mähise ühenduse purunemist ehk tühijooksu. Isolatsiooni vanemine ja ühenduste purunemine, tingituna masinasisesest kõrgendatud temperatuurist ja pidevast vibratsioonist, on põhiliseks staatorisiseste lühiste allikaks. [14]

Staatori rikked on levinuimad elektrilised rikked asünkroonmasinates [11]. Märkamata jäänud keerduvaheline lühis võib aja jooksul süveneda, lagundades keerdude ja faaside vahelist isolatsiooni, ja põhjustada seega tõsisemaid rikkeid [14]. Seetõttu on tähtis, et seadme hooldamisel pööratakse tähelepanu ka staatori seisukorrale.

Esimeseks käsitletavaks staatori rikkeks on faasisisene keerdudevaheline lühis (*inter turn fault*.) Tegu on ühe faasi mähise keerdude vahelise lühisega, kus lühistatud on kaks või enam mähise keerdu. Esialgu võib faasisisene lühis jääda märkamatuks kuna mõne lühistatud keeru mõju asünkroonmasina tööle ei pruugi väga tugevalt avalduda. Faasisisene lühis tõstab aga lühise piirkonnas temperatuuri, mistõttu jätkub isolatsiooni lagunemine ja võib kulmineeruda faasidevahelise või faasi ja maa vahelise lühisega ning tekitada pöördumatut kahju staatorile. [15]

Faasisisene keerdudevaheline lühis võib areneda edasi ka mähiste vaheliseks lühiseks. Sellisel juhul võivad omavahelises lühises olla nii sama faasi mähised kui ka eri faaside mähised. Tõsisemaks veaks või aga pidada faasi ja maa vahelist lühist, kus lühis on faasi ja staatori korpuse vahel. [15]

Staatoris võib esineda ka ühe faasi mähise tühijooksu. Selline rike põhjustab masinas tugeva asümmeetria ja seega häirib tugevalt seadme tööd. Võrreldes mähise lühistega esineb faasi tühijooksu harvem. [15]

Staatori isolatsiooni rikete põhjuseid on mitmeid. Esimese põhjusena võib välja tuua soojusliku pinget. Temperatuuri mõjul toimub isolatsiooni vananemine. Üldiselt vähendab 10% töötemperatuuri kasv isolatsiooni eluiga 50%, seega tuleb seadme eluea pikendamiseks tagada optimaalne töötemperatuur, vähendades vajadusel koormust seadmele. Isolatsioonile mõjuvat termilist stressi põhjustab ja ebaühtlane toitepinge. Näiteks võib 3,5% pinget erinevus faaside vahel põhjustada suurima vooluga faasis 25% temperatuuritõusu. [15]

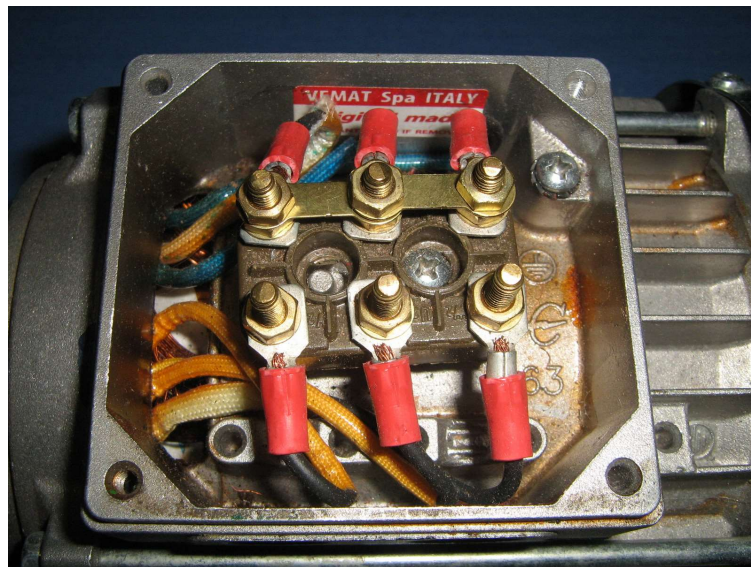
Staatori isolatsioonile mõjub negatiivselt ka elektriline mõju. Näiteks võib tuua koroonalahenduse, mis võib tekkida alates 5kV või siirdeprotsessid, mida põhjustavad nii rikked elektrivõrgus, seadme pidev lülitamine kui ka äike. [15]

Kolmandana mõjub staatori isolatsioonile mehhaaniline pinget, mille põhilisteks allikateks on mähistele mõjuvad mehhaanilised jõud ja kokkupuude rootoriga. Mähistele mõjuvad jõud on proportsionaalne voolu ruuduga, mis on suurim seadme käivitamisel. See põhjustab mähiste liikumist ja vibreerimist, mis omakorda võib kahjustada mähiste isolatsiooni. Kokkupuuteid rootoriga võivad põhjustada rootori laagri rikke või võlli deformeerumine. Mõnikord toimub kokkupuude rootori ja staatori vahel ainult seadme käivitamisel, kuid on võimalik ka kokkupuuted täiskiirusel. Igasugune kokkupuude võib aga põhjustada mähise ja maa vahelist ühendust. [15]

Viimase staatori isolatsiooni mõjutajana võib välja tuua keskkonna. Määrumine, söövitavad kemikaalid, niiskus või radiatsioon võivad kõik mõjuda staatori isolatsioonile negatiivselt. Näiteks võib määrumine takistada soojusülekannet, või tekitada isolatsiooni pinnale elektrit juhtiva kihi mis põhjustab isolatsioonile elektrilist stressi. Kokkupuude söövitavate kemikaalidega võib lagundada isolatsiooni ning teha see haavatavamaks mehhaanilistele jõududele. Kokkupuude radiatsiooniga toimub üldjuhul vaid tuumaelektrijaamades või tuumakütust tarbivatel laevadel, ning selle mõju isolatsioonile on võrreldav temperatuuri mõjul vananemisega. [15]

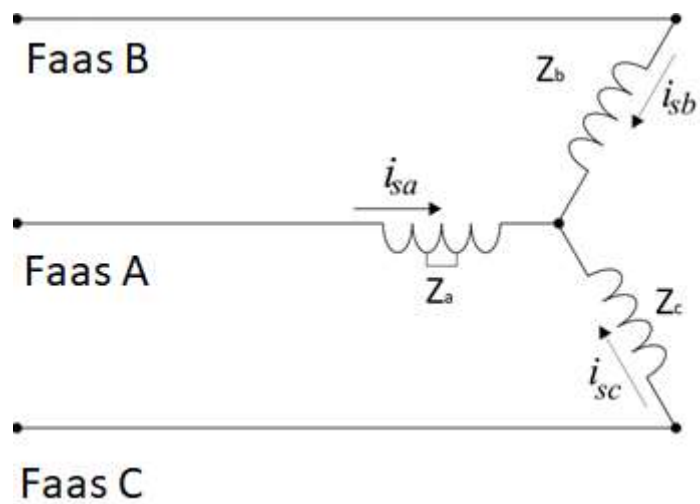
3.3.1 Staatori rikete tuvastamine

Antud töös tutvustatakse katseseade tutvustab lihtsaimat staatori rikete tuvastamise viisi. See põhineb mähise klemmide vahelise takistuse mõõtmisel. Mähiste takistusi on võimalik mõõta mittetöötava seadme klemmidelt. Joonisel 3.7 on kujutatud asünkroonmootori klemme, tähtühendusse ühendatult.



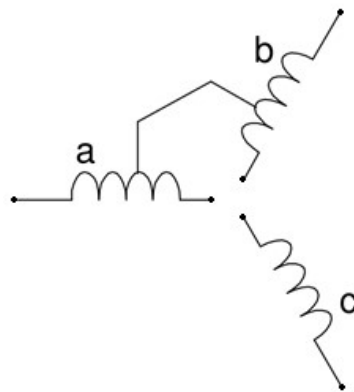
Joonis 3.7 Kolmefaasilise asünkroonmootori kontaktid [16]

Joonisel 3.8 on kujutatud tähtühenduses asünkroonmasina faasi A mähise keerdude vaheline lühis. Terve staatori puhul on kõikide mähiste takistused võrdsed. Lühis põhjustab faasis A väiksema takistuse Z_a , millest tulenev ebasümmeetria tingib faasi A läbiva suurema voolu i_{sa} . Seega on selline rike tuvastatav faaside takistuste mõõtmisega faaside algusete ja sillatud klemmi vahel. Kui ühe faasi takistus on teiste faaside takistustest madalam on põhjust kahtlustada faasisest keerdudevahelist lühist.



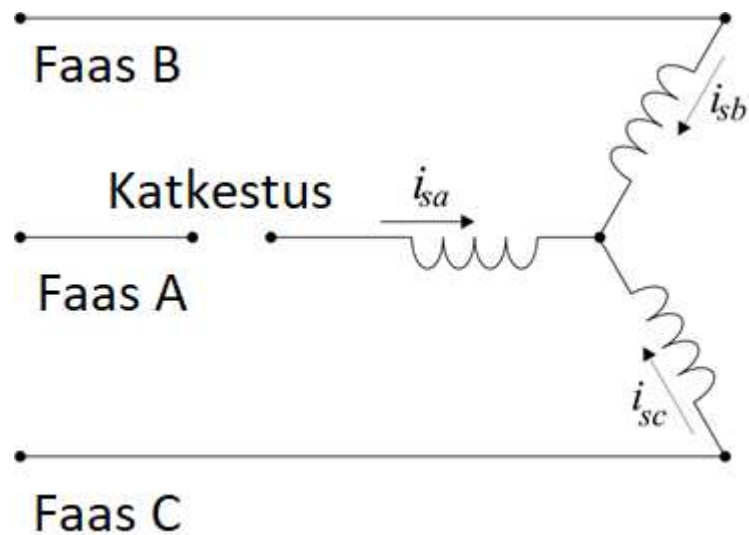
Joonis 3.8 Faasi A keerdudevaheline lühis [14]

Faasidevahelise lühise tuvastamiseks tuleb mõõta faaside vahelisi takistusi. Selleks tuleb eemaldada seadme klemmidelt sillad ning kontrollida, kas erinevate mähiste vahel on ühendusi. Terve seadme puhul ühendust ei ole kuid juhul kui ühendust ei ole võimalik multimeetriga tuvastada, tasub isolatsiooni kvaliteedis veendumiseks kasutada megaoommeetrit. Joonisel 3.9 on kujutatud kahe faasi vahelist lühist.



Joonis 3.9 Lühis kahe faasi vahel [14]

Joonisel 3.10 on kujutatud ühe faasi tühijooksu. Ühe faasi tühijooks on tuvastatav, kui faasi otste vahel ühendus puudub. Sellisel juhul antud faasis magnetvälja ei genereerita kuna faasi läbiv vool $i_{sa} = 0$. Ühe faasi tühijooks võib tuleneda ka seadmest väljaspool katkenud faasist, mistõttu on vea asukoha kindlakstegemisel tähtis seadme klemmidelt takistuste mõõtmine.



Joonis 3.10 Tühijooks faasis A [14]

Faasi maaühenduse tuvastamiseks mõõdetakse takistust faasi ja masina korpuse vahel. Sarnaselt faasidevahelise lühise tuvastamisele ei pruugi isolatsiooni esialgseid rikkeid olla võimalik multimeetriga tuvastada, mistõttu tuleks vajadusel isolatsiooni seisukorra hindamiseks kasutada ka megaoommeetrit.

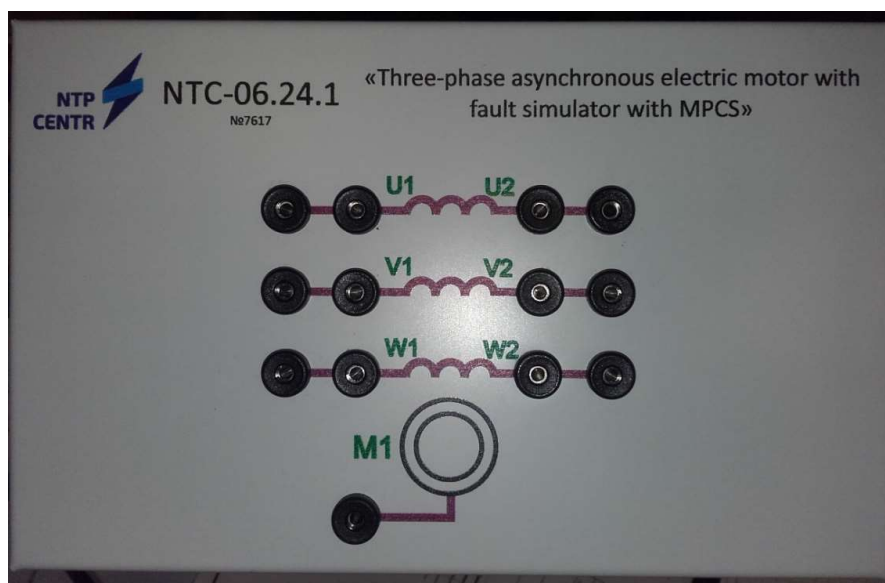
4. UURITAV KATSESEADE STAATORI RIKETE TUVASTAMISEKS

Uuritav katseseadme komplekt kannab nime NTC-06.21.1.C „Three-phase asynchronous electromotor with fault simulator with MPCS“. Komplekti kuulub asünkroonmootor AIR56 koos rikkesimulaatoriga, multimeeter MYSTECH MY62, USB 2.0 AM-BM kaabel ning CD vajaliku võõrkeelse kasutusjuhendi ja arvutiprogrammiga. Katseseade on kujutatud joonisel 4.1.



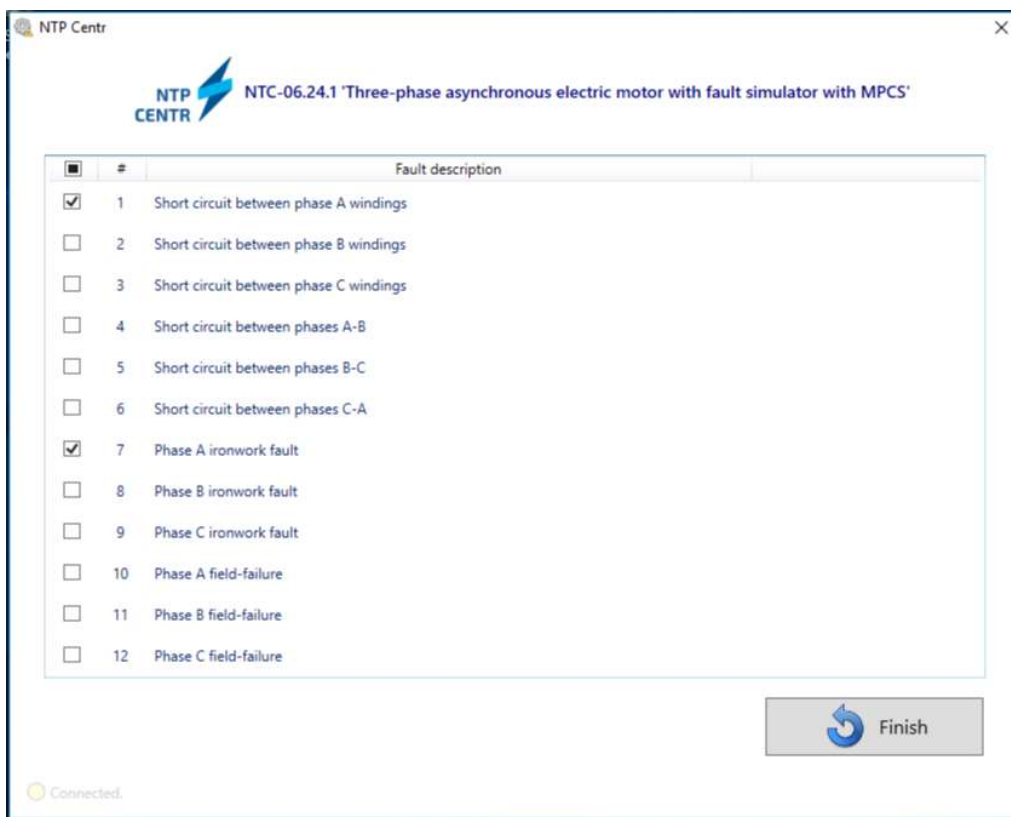
Joonis 4.1 Katseseade

Seade on mõeldud kasutamiseks haridusasutustes laboritöodes staatoririkete tuvastamiseks. Seda ilmestavad katseseadme lihtsalt ligipääsetavad klemmid ja kasutajasõbralik rikete simuleerimise viis katseseadme arvutiga ühendamise teel. Katseseadme klemmid on kujutatud joonisel 4.2.

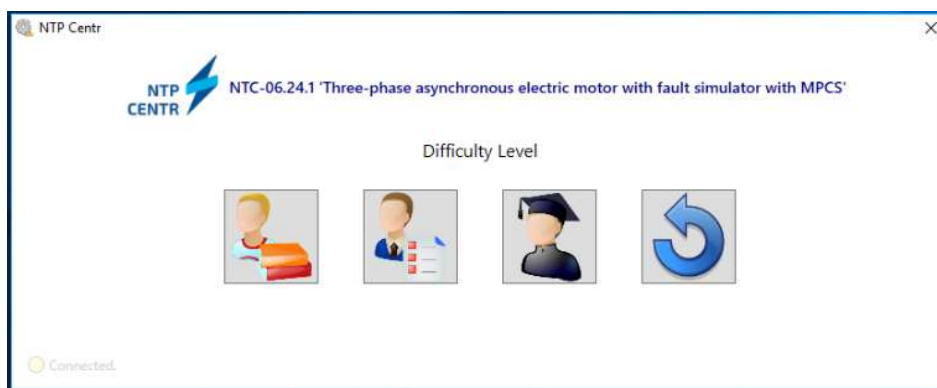


Joonis 4.2 Katseseadme klemmid

Rikete kontrollimine ja esilekutsumine toimub arvutiprogrammi abil. Programm võimaldab rikkeid manuaalselt esile kutsuda, võimaldades nii erinevate rikete sümptomitega tutvuda. Võimalik on ka rikete arvutipoolne esilekutsumine, misjärel on katseseadme kasutaja eesmärgiks rikked tuvastada. Sõltuvalt raksusastmest on sellisel viisil võimalik esile kutsuda kuni kolm eri riket. Joonisel 4.3 on kujutatud režiimi, kus on katseseadmes ise võimalik erinevaid vigu esile kutsuda. Joonisel 4.4 on kujutatud rikketuvastamise režiimi raskusastme valik.

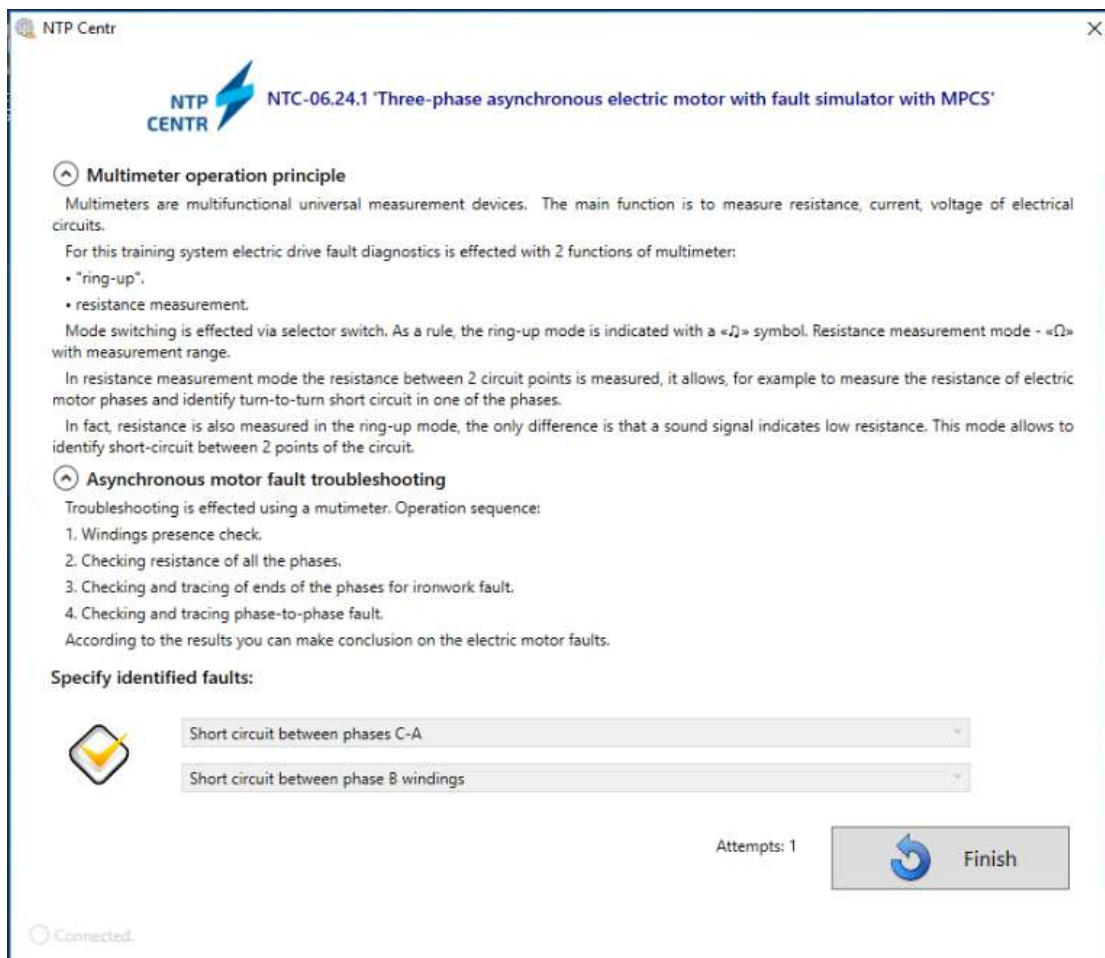


Joonis 4.3 Katseseadme vigade esilekutsumise režiim



Joonis 4.4 Raskusastme valik rikketuvastamise režiimis

Juhul kui kasutatakse katseseadme arvutipoolse vigade genereerimise režiimi, esitatakse programmis ka juhend, kuidas vigu multimeetri abil tuvastada. Joonisel 4.5 on kujutatud keskmist raskusastet, kus seadme kasutaja peab tuvastama kaks samaaegselt esinevat viga.



Joonis 4.5 Programmi teadmiste kontrolli režiim keskmisel raskusastmel

Programmi poolt pakutavad juhised vigade tuvastamiseks on jagatud kaheks. Esimeses osas tutvustatakse multimeetri kasutamist ja selle töörežiime. Juhendi teises osas antakse ette tõrkeotsingu läbiviimiseks tehtavad sammud. Siiski ei ole juhendis välja toodud millised mõõtetulemused riketele viitavad, mistõttu jääb see osa katse läbiviija mõelda.

Rikete tuvastamiseks tuleb mõõta takistusi eri klemmide vahel. Klemme on seadmel kokku 13. Iga faasi mähise kummaski otsas on kaks klemmi ning üks klemm simuleerib seadme korpus. Tabelis 4.1 on välja toodud kõik katseseadmega simuleeritavad vead ning vigade tuvastamisel ilmnevad ligikaudsed katseseadme klemmidevahelised takistused.

Tabel 4.1 Simuleeritavate rikete tunnused

Nr	Rike	Rikke tunnus
1	Lühis faasi U keerdude vahel	$Z_{U1-U2} \approx 30 \Omega$
2	Lühis faasi V keerdude vahel	$Z_{V1-V2} \approx 30 \Omega$
3	Lühis faasi W keerdude vahel	$Z_{W1-W2} \approx 30 \Omega$
4	Lühis faaside U ja V vahel	$Z_{U1-V2} \approx 60 \Omega$; $Z_{V1-U2} \approx 60 \Omega$
5	Lühis faaside V ja W vahel	$Z_{V1-W2} \approx 60 \Omega$; $Z_{W1-V2} \approx 60 \Omega$
6	Lühis faaside W ja U vahel	$Z_{W1-U2} \approx 60 \Omega$; $Z_{U1-W2} \approx 60 \Omega$
7	Faasi U lühis mootori kestaga	$Z_{U1-M1} \approx 60 \Omega$; $Z_{U2-M1} \approx 0 \Omega$
8	Faasi V lühis mootori kestaga	$Z_{V1-M1} \approx 60 \Omega$; $Z_{V2-M1} \approx 0 \Omega$
9	Faasi W lühis mootori kestaga	$Z_{W1-M1} \approx 60 \Omega$; $Z_{W2-M1} \approx 0 \Omega$
10	Faasi U tühijooks	$Z_{U1-U2} = \infty \Omega$
11	Faasi V tühijooks	$Z_{V1-V2} = \infty \Omega$
12	Faasi W tühijooks	$Z_{W1-W2} = \infty \Omega$

Erinevate rikete tuvastamine toimub multimeetri abiga seadme klemmidevahelist pinget või takistust mõõtes.

4.1 Katsetused katseseadmega

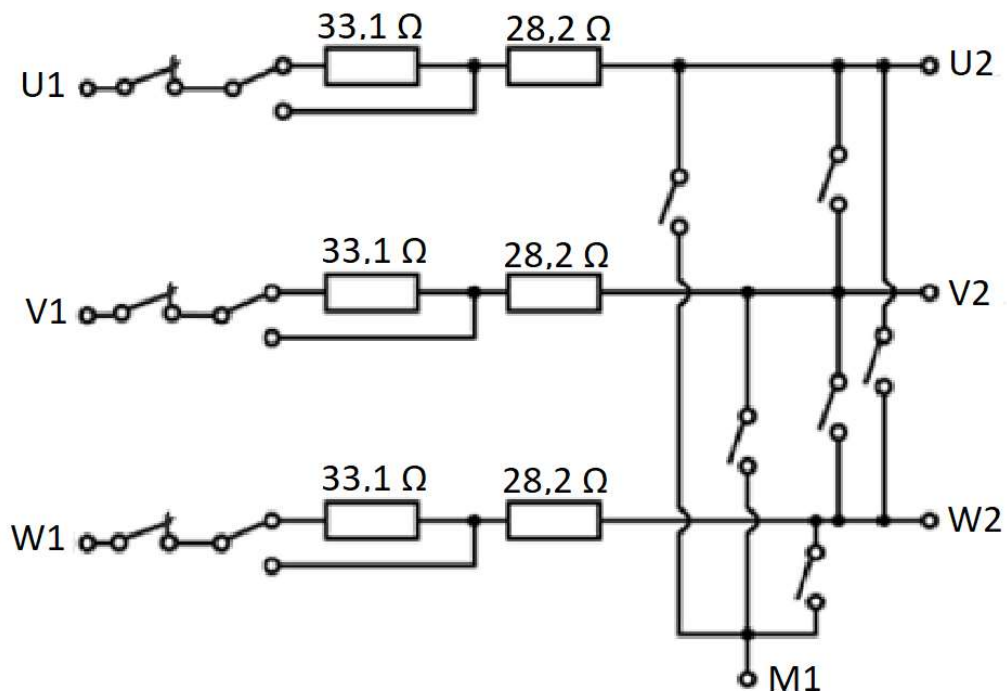
Selleks, et hinnata katseseadme sobivust õppetöök, viidi seadmega läbi erinevaid mõõtmisi. Mõõtmiste käigus tehti ka mõned tähelepanekud, mida puudutatakse lähemalt peatüki lõpus.

Selleks, et katseseadet kasutada, tuli esmalt arvutisse paigaldada katseseadmega kaas käiv programm. Programm käib seadmega kaasas CD- plaadil. Programmi arvutisse paigaldamiseks tuli jälgida plaadil olevaid juhiseid.

4.1.1 Katseseadmega tutvumine

Olles programmi arvutisse paigaldatud, asuti tutvuma katseseadme võimaluste ja puudustega. Esmalt mõõdeti katseseadme erinevad takistused erinevate talituste korral. Vigadeta olukorras mõõdeti faaside mähiste takistusteks 61,3 Ω . Eri mähiste vahel tavaolukorras ühendust ei olnud, seega multimeetriga takistust mõõta ei õnnestunud. Samuti puudus ühendus mähiste ja maa klemmide vahel. Rikkeolukorras mõõdetud takistused olid järgnevad: faasi mähisesisese lühise korral on rikkega faasi takistus 28,2 Ω ; faasidevahelise lühise korral mõõdeti klemmide U1 ja V2 vaheliseks takistuseks 61,5 Ω , ning klemmide U1 ja V1 vaheliseks takistuseks 122 Ω ; faasi ja maa vaheliseks takistuseks mõõdeti U1 ja M1 vahel 61,3 Ω , ja U2 ja M1 vahel 0,05 Ω ; faasi tühijooksu korral pole multimeetriga ühendust tuvastatud. Antud takistuste väärtused eri rikete korral on ümardatud kujul kantud ka tabelisse 4.1.

Lähtudes mõõdetud takistustest on võimalik pakkuda ka hinnanguline skeem, mis antud katseseadme talitust kujutab. Skeem on kujutatud joonisel 4.6. Skeemil on eri lülititega kujutatud erinevaid rikete korral tekkivaid ühendusi.



Joonis 4.6 Katseseadme rikete simulaatori hinnanguline elektriskeem

4.1.2 Seadme tööst tehtud tähelepanekud

Tabel 4.2 Rikete tuvastamise katse tulemused

Katse nr	Vead	Märkused
1	U faasi lühis	Vigade tuvastamisel probleeme ei esinenud.
	W faasi lühis	
	W-U faasidevaheline lühis	
2	V faasi maaühendus	Kuna ühes faasis on nii tühijooks kui ka lühis, ei ole võimalik mõõtmistega lühist tuvastada. Viga on võimalik leida eeldusel, et masinal on kolm viga ning teades, et mujal vigu ei esine.
	V faasi tühijooks	
	V faasi lühis	
3	U faasi tühijooks	Kui korraga esinevad kaks maaühendust, siis ei ole võimalik mõõtmistega eristada, kas mõlemad faasid on maaga ühendatud või on faasid üksteisega lühises ja üks neist maaga ühendatud.
	V faasi maaühendus	
	U faasi maaühendus	
4	U faasi tühijooks	Kuna ühes faasis on nii tühijooks kui ka lühis, ei ole võimalik mõõtmistega lühist tuvastada. Viga on võimalik leida eeldusel, et masinal on kolm viga ning teades, et mujal vigu ei esine.
	V faasi lühis	
	U faasi lühis	
5	U-V faasidevaheline lühis	Vigade tuvastamisel probleeme ei esinenud.
	V faasi lühis	
	W faasi maaühendus	
6	W-U faasidevaheline lühis	Kuna kaks faasi on omavahel lühises ja üks neist faasidest ka maaühenduses, ei ole võimalik mõõtmistega tuvastada, milline faas maaga ühendatud on.
	V faasi lühis	
	U faasi maaühendus	
7	U faasi tühijooks	Vigade tuvastamisel probleeme ei esinenud.
	W faasi maaühendus	
	U-V faasidevaheline lühis	
8	U faasi maaühendus	Kuna kahe faasi mähised on maaga ühendatud ja üks neist kolmanda faasiga lühises, ei ole võimalik mõõtmistega kindlaks teha, mis mähised on omavahel lühises ja mis maaühenduses.
	V faasi maaühendus	
	W-U faasidevaheline lühis	
9	V-W faasidevahelinelühis	Vigade tuvastamisel probleeme ei esinenud.
	V faasi maaühendus	
	W faasi maaühendus	

Peale mõningast katsetamist selgus, et seadmes on võimalik esile kutsuda viga, mille üheselt tuvastamine ei pruugi olla võimalik. Seega otsustati läbi viia katse, selgitamaks kui tihti võib selliseid olukordi seadme õppetöös kasutamisel tekkida. Katse käigus kasutati rikketuvastamise režiimi kolmandat raskusastet, ning viidi läbi kümme mõõtmist, selgitamaks mitmel korral vea tuvastamisega raskusi võib tekkida. Katse tulemused on kantud tabelisse 4.2.

Tabeli esimeses veerus on katse number, tabeli teises veerus on programmi poolt aktsepteeritud vead ning kolmandas veerus on märkused mõõtmiste kohta. Tabelist selgub, et viiel katsel kümnest esines rikkeid, mida ei ole võimalik üheselt määrata või mille määramiseks on vaja lähtuda eeldusest, et rikkeid peab olema kolm tükki. Katsete käiguse esile kerkinud tähelepanekud jagunesid üldisloomu järgi kaheks:

- a) On võimalik, et seade simuleerib korraga kahte viga, millest üks välistab teise tuvastamise. Näiteks võib ühe faasi mähises korraga esineda nii tühijooks kui ka mähise keerdude vaheline lühis. Katseseadmega on sellise vea tuvastamine võimalik kui katse läbiviija on teadlik, et sellised rikked võivad koos esineda ning on leidnud, et ühtegi teist viga ei esine.
- b) Kahe faasi mähised võivad olla omavahel ühendatud läbi mähisvaheliste lühise või läbi maanduse, kui mõlemad faasid on maaga ühendatud. Katseseadme puhul ei ole võimalik multimeetriga neid kahte viga eristada.

Seoses ülaltoodud tähelepanekutega on võimalik järeldada, et seadme kasutamisel õppetöös võib ilmnedu tõrkeid, kuna seade aktsepteerib õigete vastustena vaid kindlaid simuleeritud rikkeid, kuigi mõõtes ei pruugi olla rikked üheselt tuvastatavad. Selline talitus ei kujuta probleemi, kui seadet kasutatakse vaid rikete tunnuste tundmaõppimiseks, kuna selliseid olukordi võib juhtuda ka reaalse asünkroonmasina rikete tuvastamise käigus. Kui aga seadet peaks kasutatama hindelise teadmiste kontrolli läbiviimiseks, kasutades seadme rikketuvastamise funktsiooni, tuleb sellega aga arvestada.

4.1.3 Katseseadmele koostatav juhend

Käesoleva töö lõppeesmärgiks on koostada katseseadmele kasutusjuhend ning selle põhjal ka katseseadme õppetöös kasutamiseks mõeldud laboritöö juhend. Seadme tehniline juhend koostatakse, kasutades seadmega kaasas olevat dokumentatsiooni ning seadmega tutvumisel tehtud tähelepanekuid. Hoolimata seadme lihtsast ja kasutajasõbralikust iseloomust, on kasutusjuhend siiski vajalik, hoidmaks ära seadme väärast kasutamisest ilmnevaid tõrkeid ning võimaldamaks seadme kiiret tundmaõppimist.

Katseseadme kasutusjuhendile lisaks tehakse valmis ka katseseadmega läbi viidava laboritöö juhend, eesmärgiga kasutada seda õppeaines „EEV5100 - Elektriseadmete tõrked ja töökindlus“, kuid juhendit on võimalik kasutada ka teistes elektriseadmeid, nende hooldust ja käitu puudutavates õppeainetes. Juhend koosneb asünkroonmootorite rikkeid käsitlevast teoreetilisest osast, katseseadme kasutusjuhendist, laboritöö käigust ja ülesannetest. Nii katseseadme juhend kui ka laboritöö juhend paiknevad töö lisas.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli uurida Tallinna Tehnikaülikooli poolt hangitud katseseadme sobivust õppetöök, ning luua seadmele eestikeelne juhend õppetöök. Töö esimeses pooles tutvustati üldjoontes asünkroonmasinat ja selle rikkeid. Töö teises pooles tutvuti katseseadmega NTC-06.21.1.C „*Three-phase asynchronous electromotor with fault simulator with MPC*“, tutvustati selle seadme võimalusi ja viidi läbi katse, hindamaks seadme sobilikkust õppetöök.

Katseseadme eeliseks võib pidada selle kasutajasõbralikkust. Nimelt on seadmega kaasas käiv arvutiprogramm lihtsasti mõistetav ja kasutatav. Hoolimata selle inglise keelsest kasutajaliidesest ei saa selle kasutamist pidada keeruliseks. Seade ühildub tänu USB ühendusele kergesti arvutiga ning seadme katsete käigus kasutatavad klemmid on selgest märgistatud ja kergesti ligipääsetavad.

Seadmega läbi viidud katsetuse käigus tehti ka üks tähelepanek, millega tuleb seadme kasutamisel arvestada: seade aktsepteerib õigete vastustena vaid kindlaid simuleeritud rikkeid, kuigi mõõtes ei pruugi olla need rikked üheselt tuvastatavad. Näiteks võib seade korraga simuleerida ühes faasis nii mähise keerdu vahelist lühist kui ka tühijooksu. Selline talitus ei kujuta probleemi, kui seadet kasutatakse vaid rikete tunnuste tundmaõppimiseks, kuna selliseid olukordi võib juhtuda ka reaalse asünkroonmasina rikete tuvastamise käigus. Kui aga seadet peaks kasutama hindelise teadmistekontrolli läbiviimiseks, kasutades seadme rikketuvastamise funktsiooni, tuleb sellega aga arvestada.

Lähtudes seadmega läbi viidud katsetest ja tuvastatud omadustest võib pidada seadet heaks viisiks algaja tasemel elektrimasina staatoririkete ja tööpõhimõtte tundmaõppimiseks. Katseseadme kasutamine ei nõua laboriruumi, kuna on kergesti kaasaskantav ja arvutiga ühendatav, mistõttu saaks seda kasutada ka loengutundides õpitu kinnistamiseks.

SUMMARY

The aim of this thesis was to analyse the suitability of a laboratory test device, acquired by Tallinn University of Technology for the use as a study tool, and also create an Estonian manual for the device. In the half part of the thesis, the induction motor and its faults were covered. In the second half, the NTC-06.21.1.C „*Three-phase asynchronous electromotor with fault simulator with MPCS*“ was introduced. The machine was tested and an assessment was given about the use of this machine in the study process.

The user-friendliness of the device can be considered as its strong side. The computer program that belongs to the device is easy to understand and operate even though the interface is in English. The device connects easily to a computer through a USB connection and the connections on the machine are clearly marked and easily accessed.

During the testing an observation was made about the machine that needs to be considered when the device is used: the device only accepts simulated faults as an answer, but those faults may not always be possible to detect. For example a short circuit and a field failure can both be simulated in the same phase. This is not a problem when the device is used for studying, since it is possible that these faults happen at the same time in reality, but if the device were to be used for grading students, this needs to be considered

On the basis of the tests and identified properties, the device can be considered a good way to study electrical machine stator faults and operating principles as a beginner. The device does not require a laboratory since it is portable and connects to most computers. This means that the device can even be used in lectures to practice.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] S. D. Waard (11 november 2011). *Opengewerkte elektromotor*, Wikimedia commons. Kasutatud: 01 mai 2019, [Vörgumaterjal]. Saadaval: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotterdam_Ahoy_Europort_2011_\(14\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotterdam_Ahoy_Europort_2011_(14).JPG).
- [2] A. Kallaste ja K. Janson, *Elektrimate alused*, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2017.
- [3] „Die Wicklung einer 4-poligen Asynchronmaschine mit 3 Strängen,“ (7 september 2008). [Vörgumaterjal] Kasutatud: 01 mai 2019,. Saadaval: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vierpolig-3str%C3%A4nge.svg>.
- [4] K. Tshiloz, „Investigation of Wire Insulation for High Temperature Motor Windings,“ *ResearchGate*, aprill 2018. Kasutatud: 01 mai 2019, [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/324647928_Investigation_of_Wire_Insulation_for_High_Temperature_Motor_Windings.
- [5] E. Csanyi, „How rotating magnetic field works in AC machines,“ *Electrical engineering portal*, 23 märts 2016. Kasutatud: 01 mai 2019, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://electrical-engineering-portal.com/rotating-magnetic-field-ac-machines>.
- [6] J. B. Ekanayake, „Induction generators for small hydro schemes,“ *POWER ENGINEERING JOURNAL*, aprill 2002. Kasutatud: 2019 mai 12, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.who.int/management/InductionGenerators%20forSmallHydroSchemes.pdf>.
- [7] W. D. Doncker, „Doubly fed induction generator systems for wind turbines,“ *ResearchGate*, juuni 2002. Kasutatud; 2019 mai 12, [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/3407723_Doubly_fed_induction_generator_systems_for_wind_turbines.
- [8] J. Yang ja Dr J. Fletcher, „Introduction to Doubly-Fed Induction Generator for Wind Power Applications,“ 30 november 2010. Kasutatud 2019 mai 12, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/12519.pdf>.
- [9] A. J. Royo, „Machine Current Signature Analysis as a Way for Fault Detection in Squirrel Cage Wind Generators,“ *IEEE Xplore Digital Library*, 04 detsember 2007. Kasutatud: 01 mai 2019, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4393124>.
- [10] C. D. Costa, „Rotor failure detection of induction motors by wavelet transform and Fourier transform in non-stationary condition,“ *ResearchGate*, 13 mai 2015. Kasutatud: 01 mai 2019, [Vörgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/279447908_Rotor_failure_detection_of_induction_motors_by_wavelet_transform_and_Fourier_transform_in_non-stationary_condition.

- [11] O. V. Thorsen, „A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries,“ *IEEE Xplore Digital Library*, september 1995. Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/464536/authors#authors>.
- [12] K. Deekshit ja Dr M. G. Rao, „Bearing fault detection in a 3 phase induction motor using stator currentfrequency spectral subtraction with various wavelet decomposition techniques,“ *ScienceDirect*, 01 juuni 2017. Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2090447917300771?token=F32DD4ABF0D3231F272F239D31B7BA99A6E1E3BC509CE6C8DF88E1FA030EC29639346153E9177627CC0F83F9C638F003>.
- [13] S. K. Ahamed, „Broken Rotor Bar Fault in Induction Motor,“ Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/184469/13/13_chapter%205.pdf.
- [14] C. S. Kallesoe ja J. S. Thomsen, „Stator fault modeling in induction motors,“ *IEEE Xplore Digital Library*, 05 Juuli 2006. Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1649964/authors#authors>.
- [15] S. Grubic, „A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems,“ *CiteSeerX*, 12 detsember 2008. Kasutatud: 02 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.470.8855>.
- [16] G. Lazaridis (2012, jaanuar, 04), *How to check the Windings of a 3-Phase AC motor with an Ohmmeter*, PCB heaven. Kasutatud; 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.pcbheaven.com/userpages/check_the_windings_of_a_3phase_ac_motor/.
- [17] G. Didier, „Fault Detection of Broken Rotor Bars in Induction,“ *IEEE Xplore Digital Library*, 30 jaanuar 2006. Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1583832>.
- [18] E. B. Lucia Frosini, „Stator Current and Motor Efficiency as Indicators for Different Types of Bearing Faults in Induction Motors,“ *IEEE Xplore Digital Library*, 17 juuli 2009. Kasutatud: 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5166499/authors#authors>.
- [19] M. C. Chandorkar ja D. C. Patel, „Modeling and Analysis of Stator Interturn Fault Location Effects on Induction Machines,“ *IEEE Xplore Digital Library*, 04 november 2013. Kasutatud, 01 mai 2019, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6654351/authors#authors>.

LISAD



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**KATSESEADME NTC-06.24.1 „THREE-PHASE
ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR WITH FAULT
SIMULATOR WITH MPCs“ KASUTUSJUHE**

Tallinn, 2019

1. Seadme üldinfo

1. Käesolev katseseade NTC-06.24.1 „THREE-PHASE ASYNCHRONOUS ELECTROMOTOR WITH FAULT SIMULATOR WITH MPCS“ on mõeldud asünkroonmootori staatoririkete tuvastamiseks. Seade on mõeldud kasutamiseks laboritöodes.
2. Seade on mõeldud kasutamiseks köetud siseruumides, õhutemperatuuriga +10° kuni +35°C ja atmosfääri suhtelise õhuniiskusega mitte üle 80% 25° C juures.

2. Katseseadme komplekt

Struktuurselt koosneb katseseade mootorist koos vigade simuleerimise seadmega ja multimeetrist. Mähiste klemmid asetsevad rikkesimulaatori peal oleval paneelil, mis võimaldavad neile kerget ligipääsu katsetuste käigus. Kogu katseseadmega kaasas käiv komplekt on nimetatud tabelis 2.1 ja kujutatud joonisel 2.1.

Tabel 2.1 Katseseadme kogukomplekt

NR	Nimetus	Kogus
1	Asünkroonmootor AIR56 koos vigade simuleerimise seadmega	1
2	Multimeeter MYSTECH MY62	1
3	Kaabel USB 2.0 AM-BM	1
4	CD plaat lisa dokumentatsiooni ja tarkvaraga	1



Joonis 2.1 Katseseadme komplekt

3. Katseseadme kasutamine

Selleks, et katseseadet kasutada, tuleb esmalt paigaldada arvutisse katseseadmega kaasa käiv programm, ning seejärel ühendada katseseade arvuti külge ja programm käivitada. Täpsemad juhised katseseadme kasutamiseks asuvad järgmistes alapeatükkides.

3.1 Programmi paigaldamine

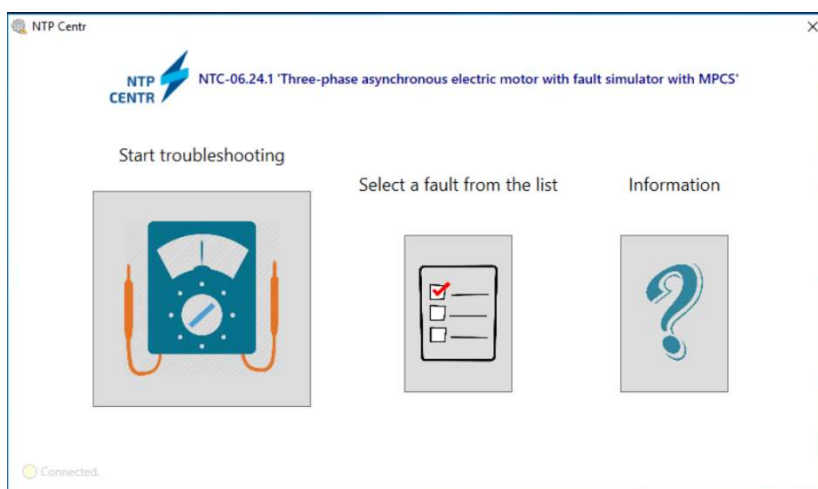
Katseseadmega töötamiseks ette nähtud arvutiprogramm asub katseseadmega kaasas käival CD plaadil. Programmi käivitamiseks järgida plaadil olevaid juhiseid.

3.2 Katsetamisele eelnevad protseduurid

1. Asetage katseseadme töölauale.
2. Ühendage katseseade kaasas oleva kaabli abil arvuti USB pesasse.
3. Lülitage tööle multimeeter.
4. Käivitage arvutitarkvara EMFaults

3.3 Programmi kasutamine

Olles katseseadme arvuti külge ühendanud, tuleb oodata, et programm tuvastaks katseseadme ühendumise. Seejärel kuvatakse programmis katseseadme avaleht, kus saab valida kahe töörežiimi vahel: *Start troubleshooting* ehk rikketuvastamise režiim ja *Select a fault from the list*, ehk rikete esile kutsumise režiim. Järgnevalt tutvustatakse lähemalt katseseadme kahte töörežiimi. Joonisel 3.1 on kujutatud programmi pealehte.



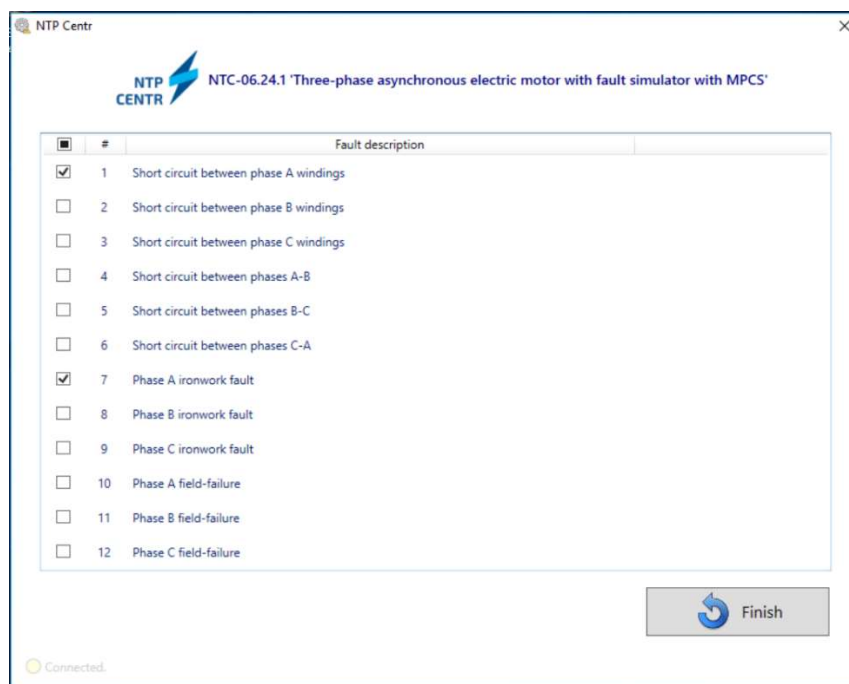
Joonis 3.1 Programmi pealeht

3.3.1 Rikete esile kutsumise režiim

Rikete esile kutsumise režiim võimaldab valida kõikide võimalike katseseadmega simuleeritavate vigade vahel ja neid vabalt valides sisse ja välja lülitada. Korraga esile kutsutavate vigade arv ei ole piiratud. Vigade tuvastamise režiimi abil on võimalik tutvuda erinevate rikete tunnustega. Tabelis 3.1 on toodud välja kõik võimalikud rikkesimulaatoriga simuleeritavad rikked ning Joonisel 3.2 on kujutatud rikete valiku aken. Tasub meeles pidada, et programmis kasutatakse faaside tähised A, B ja C kuid klemmidel on tähised vastavalt U, V ja W.

Tabel 3.1 Esile kutsutavate rikete nimetused

Nr	Rikke nimetus eesti keeles	Rikke nimetus inglise keeles
1	Lühis faasi A keerdude vahel	<i>Short circuit between phase A windings</i>
2	Lühis faasi B keerdude vahel	<i>Short circuit between phase B windings</i>
3	Lühis faasi C keerdude vahel	<i>Short circuit between phase C windings</i>
4	Lühis faaside A ja B vahel	<i>Short circuit between phases A-B</i>
5	Lühis faaside B ja C vahel	<i>Short circuit between phases B-C</i>
6	Lühis faaside C ja A vahel	<i>Short circuit between phases C-A</i>
7	Faasi A lühis mootori kestaga	<i>Phase A ironwork fault</i>
8	Faasi B lühis mootori kestaga	<i>Phase B ironwork fault</i>
9	Faasi C lühis mootori kestaga	<i>Phase C ironwork fault</i>
10	Faasi A tühijooks	<i>Phase A field-failure</i>
11	Faasi B tühijooks	<i>Phase B field-failure</i>
12	Faasi C tühijooks	<i>Phase C field-failure</i>



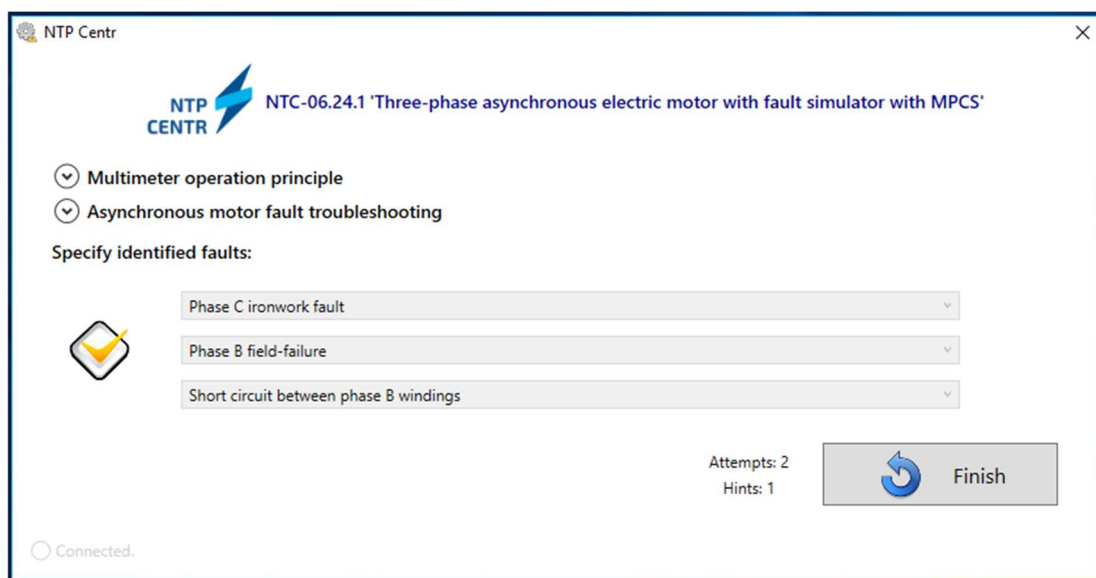
Joonis 3.2 Rikete esile kutsumise režiim

3.3.2 Rikkesimulaatori režiim

Rikketuvastamise režiim on mõeldud teadmiste kontrolliks. Peale režiimi valikut tuleb valida raskusaste. Raskusastmeid on kolm: *Beginner*, *Intermediate*, *Professional*. Raskusastmest sõltub üheaegselt genereeritavate vigade hulk: madalaim (*Beginner*)- 1 viga; keskmine (*Intermediate*)- 2 viga; kõrgeim (*Professional*)- 3 viga.

Peale raskusastme valikut simuleeritakse vead ja katseseadme kasutaja ülesandeks on vead katseseadmel tuvastada ja need programmi aknas valida. Peale vigade valikut tuleb vajutada nupule „*Check*“.

Juhul kui kõiki vigu ei tuvastatud õigesti kuvatakse akna alla väli „*Attempts*:“ kuhu on kantud ebaõnnestunud katsete arv. Simuleeritavad vead jäävad samaks ja valitud variandid jäävad samuti alles, mistõttu on katse läbiviija ülesandeks leida valesti hinnatud rike ja seda välja muuta. Katse läbiviijal on samuti võimalik vajutada nupule „*Hint*“ millega arvutiprogramm annab ühe vigadest ette. Nuppu saab vajutada korduvalt kuid ka vihjete kasutamise hulk salvestatakse akna allosas väljal „*Hints*:“. Joonisel 3.3 on kujutatud kõrgeima raskusastme aken peale korrektset sooritust. Jooniselt on näha et valede katsete arv oli 2 ja kasutatud vihjete arv oli 1.



Joonis 3.3 Rikketuvastamise režiim peale õigete rikete tuvastamist

Vigade tuvastamise aknas on toodud ka inglise keelsed selgitused multimeetri kasutamisest ja asünkroonmasina staatoririkete tuvastamisest, mis on abiks rikete tuvastamise õppimisel. Neid juhiseid on võimalik ka noolele vajutamisega eemaldada.

4. Hooldus

Katseseadet tuleb hooldada iganädalaselt. Selleks pühkida katseseade üle riidest lapiga, eemaldamaks sellelt tolmu. Parandustööde tegemiseks on soovitatud võtta ühendust seadme tootjaga.

5. Seadme hoiustamine ja transport

Enne katseseadme kasutamist on soovitatud seda hoiustada tootja pakendis õhutemperatuuril +5° kuni +40°C atmosfääri suhtelise õhuniiskusega mitte üle 80% 25° C juures. Katseseadet tohib transportida pakendatuna kõiksugustes suletud transpordivahendites. Transporditingimused: õhutemperatuur -30° kuni +50°C, atmosfääri suhteline õhuniiskus mitte üle 90% 25° C juures



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ASÜNKROONMASINA STAATORIRIKETE SIMULAATORI LABORITÖÖ JUHEND

1. Sissejuhatus

Kolmefaasiline asünkroonmasin on oma lihtsuse ja töökindluse tõttu levinuim laialt levinud nii mootorina kui ka generaatorina. Selleks, et tagada asünkroonseadmete jätkusuutlik töö on vajalik tunda seadme võimalike rikkeid ja nende diagnoosimist. Käesolevas töös tutvutakse asünkroonmasina staatoririkete simuleerimise katseseadmega, mis aitab anda ülevaadet erinevate staatoririkete tunnustest.

2. Töö eesmärk

- 1) Tutvumine multimeetri kasutamisega.
- 2) Asünkroonmasina staatoririkete tuvastamisega tutvumine.

3. Töö käik ja katseandmete töötlemine

- 1) Tutvuge katseseadme ja multimeetriga.
- 2) Ühendage seade arvuti külge ja käivitage programm *EMFaults*.
- 3) Kasutage vigade esile kutsumise režiimi (*Select a fault from the list*), tutvumaks erinevate rikete korral esinevate kontaktidevaheliste takistustega.
- 4) Käivitage rikketuastamise režiim (*Start troubleshooting*).
- 5) Tuvastage iga raskusastme korral seadme rikked kolm korda ja täitke allolevad tabelid.

Tabel 3.1 Esimese raskusastme mõõtmistulemused

Katse nr	Tuvastatud rike	Rikke tunnus
1		
2		
3		

Tabel 3.2 Teise raskusastme mõõtmistulemused

Katse nr	Tuvastatud rike	Rikke tunnus
1		
2		
3		

Tabel 3.3 Kolmanda raskusastme mõõtmistulemused

Katse nr	Tuvastatud rike	Rikke tunnus
1		
2		
3		

- 6) Analüüsi katsete tulemusi. Loetlege erinevad võimalikud staatoririkkeid ja nende tuvastamise viisid ja tunnuseid.

4. Metoodiline juhend

Asünkroonmasinaid võib liigitata sõltuvalt faaside arvust, kuid tööstuses ja energeetikas on enamlevinud kolmefaasilised asünkroonmasinad. Lihtsustatult koosneb asünkroonmasin paigal seisvast staatorist ja staatori sees pöörlevast rootorist.

Käesolevas töös käsitletav katse seade on ette nähtud staatori riketega tutvumiseks. Staatori rikked kujutavad endast üldjuhul staatori mähiste isolatsiooni vigastusi ja sellega kaanevaid lühiseid või ühe faasi mähise ühenduse purunemist ehk tühijooksu. Isolatsiooni vananemine ja ühenduste purunemine, tingituna masinasisesest kõrgendatud temperatuurist ja pidevast vibratsioonist, on põhiliseks staatorisisesete lühiste allikaks. [1]

Staatori rikked on levinuimad elektrilised rikked asünkroonmasinates [2] Märkamata jäänud keerdudevaheline lühis võib aja jooksul kujuneda süveneda, lagundades keerdude ja faaside vahelist isolatsiooni, ja põhjustada seega tõsisemaid rikkeid [1]. Seetõttu on tähtis, et seadme hooldamisel pööratakse tähelepanu ka staatori seisukorrale.

Esimeseks käsitletavaks staatori rikkeks on faasisisene keerdudevaheline lühis (*inter turn fault*). Tegemine on ühe faasi mähise keerdude vahelise lühisega, kus lühistatud on kaks või enam mähise keerdu. Esialgu võib faasisisene lühis jääda märkamatuks kuna mõne lühistatud keeru mõju asünkroonmasina tööle ei pruugi väga tugevalt avalduda. Faasisisene lühis tõstab aga lühise

piirkonnas temperatuuri, mistõttu jätkub isolatsiooni lagunemine ja võib kulmineeruda faasidevahelise või faasi ja maa vahelise lühisega ning tekitada pöördumatut kahju staatorile. [3]

Faasisisene keerdudevaheline lühis võib areneda edasi ka mähistevaheliseks lühiseks. Sellisel juhul võivad omavahelises lühises olla nii sama faasi mähised kui ka eri faaside mähised. Tõsisemaks veaks või aga pidada faasi ja maa vahelist lühist, kus lühis on faasi ja staatori kesta vahel. [3]

Staatoris võib esineda ka ühe faasi mähise tühijooksu. Selline rike põhjustab masinas tugeva asümmeetria ja seega häirib tugevalt seadme tööd. Võrreldes mähise lühistega esineb faasi tühijooksu harvem. [3]

Staatori isolatsiooni rikete põhjuseid on mitmeid. Esimese põhjusena võib välja tuua soojusliku pinget. Temperatuuri mõjul toimub isolatsiooni vananemine. Üldiselt vähendab 10% töötemperatuuri kasv isolatsiooni eluiga 50%, seega tuleb seadme eluea pikendamiseks tagada optimaalne töötemperatuur, vähendades vajadusel koormust seadmele. Isolatsioonile mõjuvat termilist stressi põhjustab ja ebaühtlane toitepinge. Näiteks võib 3,5% pinget erinevus faaside vahel põhjustada suurima vooluga faasis 25% temperatuuritõusu. [3]

Staatori isolatsioonile mõjub negatiivselt ka elektriline mõju. Näiteks võib tuua koroonalahenduse, mis võib tekkida alates 5kV või siirdeprotsessid, mida põhjustavad nii rikked elektrivõrgus, seadme pidev lülitamine kui ka äike. [3]

Kolmandana mõjub staatori isolatsioonile mehhaaniline pinget mille põhilisteks allikateks on mähistele mõjuvad mehhaanilised jõud ja kokkupuude rootoriga. Mähistele mõjuvad jõud on proportsionaalne voolu ruuduga, mis on suurim seadme käivitamisel. See põhjustab mähiste liikumist ja vibreerimist, mis omakorda võib kahjustada mähiste isolatsiooni. Kokkupuuteid rootoriga võivad põhjustada rootori laagri rikke või võlli deformeerumine. Mõnikord toimub kokkupuude rootori ja staatori vahel ainult seadme käivitamisel, kuid on võimalik ka kokkupuuted täiskiirusel. Igasugune kokkupuude võib aga põhjustada mähise ja maa vahelist ühendust. [3]

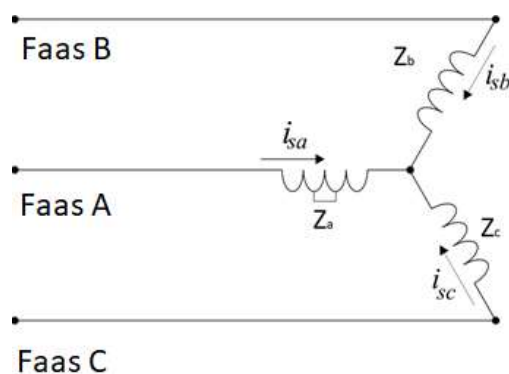
Viimase staatori isolatsiooni mõjutajana võib välja tuua keskkonna. Määrduvad, söövitavad kemikaalid, niiskus või radiatsioon võivad kõik mõjuda staatori isolatsioonile negatiivselt. Näiteks võib määrduvad takistada soojusülekanne, või tekitada isolatsiooni pinnale elektrit juhtiva kihi mis põhjustab isolatsioonile elektrilist stressi. Kokkupuude söövitavate kemikaalidega võib lagundada isolatsiooni ning teha see haavatavamaks mehhaanilistele jõududele. Kokkupuude radiatsiooniga toimub üldjuhul vaid tuumaelektrijaamades või tuumakütust tarbivate laevadel, ning selle mõju isolatsioonile on võrreldav temperatuuri mõjul vananemisega. [3]

Antud töös tutvustatav katseseade tutvustab lihtsaimat staatori rikete tuvastamise viisi. See põhineb mähise klemmide vahelise takistuse mõõtmisel. Mähiste takistusi on võimalik mõõta mittetöötava seadme klemmidelt. Joonisel 4.1 pildil on kujutatud asünkroonmootori klemme, tähtühendusse ühendatult.



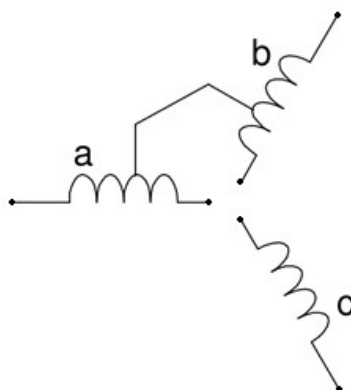
Joonis 4.1 Kolmefaasilise asünkroonmootori kontaktid [4]

Joonisel 4.2 on kujutatud tähtühenduses asünkroonmasina faasi A mähise keerdude vaheline lühis. Terve staatori puhul on kõikide mähiste takistused võrdsed. Lühis põhjustab faasis A väiksema takistuse Z_a , millest tulenev ebasümmeetria tingib faasi A läbiva suurema voolu i_{sa} . Seega on selline rike tuvastatav faaside takistuste mõõtmisega faaside algusete ja sillatud klemmi vahel. Kui ühe faasi takistus on teiste faaside takistustest madalam on põhjust kahtlustada faasisisest keerdudevahelist lühist.



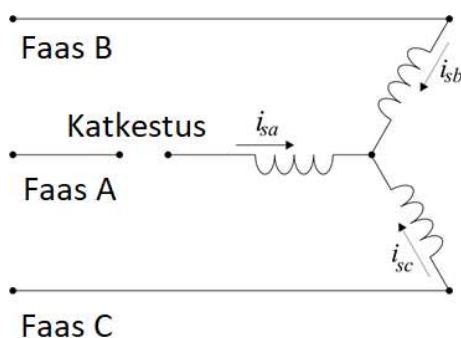
Joonis 4.2 Faasi A keerdudevaheline lühis [1]

Faasidevahelise lühise tuvastamiseks tuleb mõõta faaside vahelisi takistusi. Selleks tuleb eemaldada seadme klemmidelt sillad ning kontrollida, kas erinevate mähiste vahel on ühendusi. Terve seadme puhul ühendust ei ole kuid juhul ühendust ei ole võimalik multimeetriga tuvastada, tasub isolatsiooni kvaliteedis veendumiseks kasutada megaoommeetrit. Joonisel 4.3 on kujutatud kahe faasi vahelist lühist.



Joonis 4.3 Lühis kahe faasi vahel[1]

Ühe faasi tühijooks on tuvastatav, kui faasi otste vahel ühendus puudub. Sellisel juhul antud faasis magnetvälja ei genereerita kuna faasi läbiv vool $i_{sa} = 0$. Ühe faasi tühijooks võib tuleneda ka seadmest väljaspool katkenud faasist, mistõttu on vea asukoha kindlakstegemisel tähtis seadme klemmidelt takistuste mõõtmine. Joonisel 4.4 on kujutatud ühe faasi tühijooksu.



Joonis 4.4 Tühijooks faasis A [1]

Faasi maaühenduse tuvastamiseks mõõdetakse takistust faasi ja masina kesta vahel. Sarnaselt faasidevahelise lühise tuvastamisele ei pruugi isolatsiooni esialgseid rikkeid olla võimalik multimeetriga tuvastada, mistõttu tuleks vajadusel isolatsiooni seisukorra hindamiseks kasutada ka megaoommeetrit.

Katseseadme kirjeldus

Kasutatav katseseadme komplekt kannab nime NTC-06.21.1.C „Three-phase asynchronous electromotor with fault simulator with MPCS“. Komplekti kuulub asünkroonmootor AIR56 koos rikkesimulaatoriga, multimeeter MYSTECH MY62, USB 2.0 AM-BM kaabel ning CD vajaliku kasutusjuhendi ja arvutiprogrammiga. Katseseade on kujutatud joonisel 4.5.

Seade on mõeldud kasutamiseks haridusasutustes laboritöodes staatoririkete tuvastamiseks. Rikete kontrollimine ja esilekutsumine toimub arvutiprogrammi abil. Programm võimaldab rikkeid manuaalselt esile kutsuda, võimaldades nii erinevate rikete sümptomitega tutvuda. Võimalik on ka rikete arvutipoolne esilekutsumine, misjärel on katseseadme kasutaja eesmärgiks rikked tuvastada. Sõltuvalt raksusastmest on sellisel viisil võimalik esile kutsuda kuni kolm eri riket.



Joonis 4.5 Katseseadme mootor

5. Küsimused

- 1) Milline on asünkroonmasina staatori ehituselt?
- 2) Nimetage asünkroonmasina staatoririkkeid ja nende tunnuseid.
- 3) Millised on erinevate asünkroonmasina staatoririkete põhjused?
- 4) Kirjeldage olukordi, kus staatoririket ei ole võimalik klemmidelt takistusi mõõtes tuvastada.

Kasutatud kirjandus

- [1] C. S. Kallesoe ja J. S. Thomsen, „Stator fault modeling in induction motors,“ 05 Juuli 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1649964/authors#authors>. [Kasutatud 01 mai 2019].
- [2] O.V. Thorsen, „A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries,“ september 1995. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ieeexplore.ieee.org/document/464536/authors#authors>. [Kasutatud 01 mai 2019].
- [3] S. Grubic, „A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems,“ 12 detsember 2008. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.470.8855>. [Kasutatud 02 mai 2019].
- [4] G. Lazaridis, „How to check the Windings of a 3-Phase AC motor with an Ohmmeter,“ PCB heaven, 04 jaanuar 2012. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.pcbheaven.com/userpages/check_the_windings_of_a_3phase_ac_motor/. [Kasutatud 01 mai 2019].