



TALLINN UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Tallinn University of Technology

Department of Mechatronics

Chair of Mechatronics Systems

MAHM02

MHK70LT

Leevi Põldaru

**AIR FLOW AND ALTERNATING CURRENT MEASUREMENT
DEVICE BASED ON THREE-AXIS MAGNETOMETER**

MSc thesis

The author applies for
the academic degree
Master of Science in Engineering

Tallinn 2016

SUMMARY

“Air Flow and Alternating Current Measurement Device Based on Three-Axis Magnetometer” thesis topic came from NAS Production OÜ. In less than a year, two energy measurement devices have been developed. Both are based on LIS3MDL three-axis magnetometer. EFD measures the current using magnetic fields around the conducting wire and WFD measures air flow rate using magnet’s position in Venturi differential channel.

For EFD non-invasive current measurement has been tested. Phase lock algorithm using timed sampling has been implemented. The cancelling magnetic fields around the conductors have been simulated and based on the simulations, human procedure and sensor algorithm has been developed to assess the parameters of the cable (cable’s outer diameter, conductor’s distance etc) by just rotating EFD around the cable. The acquired parameters are basis for converting the magnetic field into current (calibration coefficients). The preferred way of acquiring calibration coefficients is by using dedicated calibrator device (which has not been developed yet). The current waveforms of main power tool types have been analyzed and power-optimized measuring algorithms proposed. Non-invasive voltage measurement method based on capacitive coupling is tested, including calibration of phase and synthesis. Integrating energy and calculating parameters like real and reactive power, power factor etc is covered. LIS3MDL magnetometer’s errors are analyzed (noise RMS, zero-offset and gain temperature drift etc) and some are compensated for. The main sources of uncertainties have been analyzed (with sensitivity functions) to the degree of currently available tests. Since the dedicated calibrator for EFD has not been developed yet, the final uncertainty values are yet to be determined. Options to assess some uncertainty components in real time are discussed. Many of the software algorithms are implemented. First EFD test batch has been assembled in NAS Electronics OÜ with the ability to only detect current exceeding constant threshold. Firmware can be OTA (Over The Air) updated to add the measuring feature discussed in this work. The dedicated EFD calibrator needs to be developed, more power tool types profiled and optimized for, uncertainty assessment finalized etc.

For WFD theoretical flow has been calculated based on Bernoulli’s theorem. Magnet’s repelling force has been measured and combined with theoretical flow. Simulations of the two magnets were carried out to find the best position for LIS3MDL sensor. LUT (Lookup Table) algorithm has been tested to link magnetic vector with flow rate at certain pressure. Calibra-

tion and LUT generation is discussed. Possible solution for magnet's oscillation rejection and Earth's magnetic field cancelling are covered. Tests are done to gain understanding on flow correlation with system pressure. The ruling contributors of uncertainty are briefly discussed, also low power magnetic wake-up mechanism. WFD is currently being produced in NAS Electronics with the ability to detect the flow exceeding base threshold. The LUT has to be ported to a new processor architecture (ARM). For WFD to be able to measure air flow rate, the calibration bench needs the LUT generation software to be implemented.

The author is content with the results of the work because most of the proposed methods discussed have been successfully tested and both of the products are very close to performing their intended features. The algorithms described can be further optimized to increase accuracy and reduce power consumption. To start production more automated test and calibration devices need to be built.

KOKKUVÕTE

“Kolmeteljelisel magnetomeetril põhinev õhuvoolu ja vahelduvvoolu mõõteseade” magistritöö teema on pärit NAS Production OÜlt. Vähem kui aasta jooksul on väljaarendatud kaks energiamõõteseadet, mõlemad kasutavad mõõteelemendina LIS3MDL kolmeteljelist magnetomeetrit. EFD mõõdab voolutugevust, kasutades voolujuhtme ümber tekkivat magnetvälja, ning WFD mõõdab õhuvoolu, määrates magneti asukoha Venturi röhukanalis.

EFD voolutugevuse mõõtmise meetodi toimivus tööriista toitekaabli pinnalt leidis katselist kinnitust. Selleks kohandati faasilukustuse algoritmi magnetomeetri lugemi täpseks ajastamiseks. Pärast tühistavate magnetväljade simuleerimist kaabli ümberarendati simulatsiooni põhjal välja sensori isekalibreerimise algoritm ja käsikalibreerimisjuhend inimesele, mis määräks kaabli parameetrid nagu välisdiaameeter ning juhtivate soonte distants, seda kõigest EFD sujuva pööramisega ümber kaabli. Saadud parameetrid on vajalikud kalibreerimistegurite leidmiseks, mis võimaldavad magnevälja teisendada voolutugevuseks. Eelistatud viis kalibreerimistegurite määramiseks on siiski kasutada spetsiaalset kalibreerimisseadet, mis pole veel väljaarendatud. Võrreldi peamiste elektriliste käsitööriistade voolutugevuse graafikuid ning pakuti välja erinevaid voolusäastule optimeeritud mõõtmisalgoritmme. Katsetati ka juhtme pinnalt pinge mõõtmist mahtuvusliku sidestuse kaudu, sealhulgas faasi kalibreerimist. Energia- ja arvutuslike parameetrite nagu aktiiv- ja reaktiivvõimsuse ning võimsusteguri leidmine on käsitletud. LIS3MDL magnetomeetri mõõteviga analüüsiti (müra ruutkeskmine, nulllugemi nihke ja võimenduse sõltuvus temperatuurist) ning mõnede vigade parandeid rakendati. Määramatuse põhjuseid koos tundlikkusfunktsionidega uuriti hetkel saadaolevate testide ulatuses. Kuna eraldi kalibreerijat ei ole EFD jaoks veel väljaarendatud, on lõplik mõõtemääramatus veel teadmata. Arutletud on ka võimaluse üle hinnata mõõtemääramatuse mõningaid komponente reaalajas.

Esimene EFD seadme katsesseeria on NAS Electronics OÜs kokku pandud ning selle praegune püsivara võimaldab tuvastada ainult voolu lävendi ületamist. Püsivara uuendamine on võimalik juhtmevabalt, selle abil saab seadmetele lisada käesolevas töös kirjeldatud mõõtmisvõimekuse. Siiski tuleb veel väljaarendada spetsiaalne kalibreerimisseade, määräta rohkem elektriliste tööriistade vooluprofiilid ning need optimeerida, hinnata uuesti mõõtemääramatus.

WFD seadme jaoks arvutati teoreetiline õhuvool Bernoulli teoreemi põhjal. Magneti vastujoud määratati katseliselt ning see kombineeriti teoreetilise õhuvooluga. Kahe magneti

simuatsioonide abil hinnati magnetsensori LIS3MDL asendit magnetite suhtes. Magnetvälja vektori ja õhuvoolu teisenduseks kindla rõhu juures kasutati vastavustabelit (LUT - Lookup Table). Kalibreerimisprotsessi infost vastavustabeli genereerimise jaoks koostati algoritm. Pakutakse välja ka lahendused magneti võbelemisest põhjustatud müra tarkvaraliseks hulgamiseks ning Maa magnetvälja põhjustatud vea kompenseerimiseks. Katseid on tehtud ka süsteemi rõhu ja õhuvoolu omavaheliste seoste mõistmiseks. Lühidalt arutletakse mõõtemääramatuse peapõhjuste üle. Voolutarbe vähendamiseks kasutatakse lisamagnetandurit seadme äratamiseks. NAS Electronicsi praegu toodetav WFD suudab tuvastada ainult õhuvoolu lävendi ületamist. Et WFD suudaks mõõta õhuvoolu, tuleb vastavustabel portida uue protsessori arhitektuurile (ARM). Samuti vajab WFD kalibreerimispink vastavustabeli koostamise tarkvara.

Töö autor on töö tulemustega rahul, kuna enamiku töös välja pakutud lahenduste katsetamine oli edukas ning mõlemad uuritud seadmed on lähedal täielikule funktsionaalsusele. Kirjeldatud algoritme on võimalik veel optimeerida, et suurendada täpsust ja vähendada voolutarvet. Masstootmisse alustamiseks on vaja koostada veel automaatseid teste ning kalibreerimisseadmeid.