



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut
Kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool

MHT70LT

Aado Toomsalu

METALLIDETEKTORI SÜSTEEM HOONE UKSEAVALE
Magistritöö

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2016

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli projekteerida metallidetektori süsteem, mida on võimalik paigaldada tavapärasesse hoone ukseavasse või mõnda teise hoone läbikäiku nii, et süsteemi osad oleks varjatud. Süsteemi saab kasutada metallist esemete hoonesse toomise või hoonest varastamise tõkestamiseks. Esimesena lahendatud tööülesannete hulka kuulusid olemasolevate metallituvastustehnoloogiatega tutvumine, tundliku elemendi projekteerimine ja esialgse prototüübi väljatöötamine. Töö teises järgus tegeleti lõpptoote arendamisega, mille käigus projekteeriti ja ehitati valmis kaks elektroonset moodulit ning hinnati töö tulemusi.

Metallidetektorid kasutavad sõltumata konkreetsest kasutusotstarbest sarnaseid tehnoloogiaid, mis põhinevad elektromagnetilisel induksioonil. Lähtuvalt projekteeritava süsteemi tehnilistest nõuetest ja erinevatest allikatest loeti sobivaimaks impulss-induktsioon tehnoloogia (ingl k *pulse induction*). Antud meetod kasutab tundlikku mähist, mida ergutatakse lühikeste vooluimpulssidega. Metallile olemasolu on võimalik tuvastada mõõtes pärast voolu katkestamist mähise pinget.

Pärast üldist uurimustööd metallidetektorite alal töötati välja tundlik element, ehk otsimismähis, ja esmane prototüüpelektronika. Tundlik element tehti $7 \times 0,5 \text{ mm}^2$ mitmesoonelisest kaablist, mis moodustab ümber ukseava paikneva seitsme keeruga mähise. Projekteeritud mähis on lihtne paigaldada nii ukseavast alla kui ka seinamaterjali sisse. Edasiste katsetuste jaoks konstrueeriti katsestend, mis imiteerib täismõõdus ukseava mõõtmetega $2100 \times 800 \text{ mm}$.

Esialgne prototüüpelektronika sisaldas endas impulsi generaatorit, analoogelektronikat (võimendi, madalpääsufilter, integraator, A/D-muundur) ja digitaalelektronika elemente, sealhulgas mikrokontrollerit ja andmesideliidest. Prototüübi poolt hangitud metallituvastusandmed loeti arvutisse spetsiaalselt kirjutatud tarkvaraga ja analüüsiti tabelarvutusprogrammiga. Saadud andmete põhjal oli võimalik tuvastada suhteliselt väikeseid esemeid nagu väike kruvikeeraja või uksevõtmete kimp. Suuremad esemed, nagu nuga ja mobiiltelefon, andsid veelgi paremini eristatava signaali.

Toote projekteerimise faas sisaldas kahe elektroonse mooduli, detektormooduli ja juhtmooduli, väljatöötamist. Andmeside kahe mooduli vahel on loodud üle RS-485/RS-422 täisdupleks ühenduse, mille puhul on võimalik kasutada kuni 1200 m pikkust kaablit. Detektormoodul sisaldab üldjoontes samu detaile nagu prototüüpelektronika. Antud moodul, mille ülesandeks on töötlemata metallituvastusandmete hankimine, paigutatakse ukseava vahetusse lähedusse ($\leq 1,5$ m).

Edasine andmete töötlemine toimub juhtmoodulis, mille üks põhiline ülesanne on teavitada kasutajat metalli tuvastamise korral. Selle mooduli asukoht hoones on vabalt valitav, pidades silmas andmesidekaabli maksimaalset pikkust. Juhtmooduli esipaneelil on kasutajaliides kolme juhtnupu ja LCD-ekraaniga, mis võimaldavad süsteemi seadistada. Metallituvastamisest antakse kasutajale teada helisignaali, valgusdiodide ja ekraanile kuvatava suhtelise väärtuse kaudu. Kasutajal on võimalik valida 16 erineva tundlikkuse piirkonna vahel. Seadmele projekteeriti samuti kaks täiendavat loogilist väljundit, relee ja avatud kollektor, mis võimaldavad edastada häiresignaali hoone kesksesse turvasüsteemi.

Juhtmooduli saab ühendada ka personaalarvutiga kasutades USB või kohtvõrgu ühendust. Selle tarvis programmeeriti arvutitarkvara, mis võimaldab esitada metallituvastusandmeid graafiliselt, reaalsajas, ja lugeda tuvastusajalugu, mida salvestatakse jooksvalt juhtmoodulis paiknevasse mälusse. Samuti saab arvuti kaudu muuta süsteemi seadistusi.

Toote lõpptulemuse hindamiseks kasutati katsekehadena tavapäraseid esemeid nagu mobiiltelefon, nuga, võtmekimp, vööpannal jm. Kõiki valitud katsekehasid, ka kõige väiksemaid, suutis süsteem ilma probleemideta tuvastada. Samuti hinnati metallituvastusvõimekust erinevate materjalide korral, kasutades võrdse suurusega lehtmaterjalist katsekehasid. Kõige paremini suutis detektor tuvastada süsinikterast ja roostevaba terast, mille signaalitugevused olid sarnased. Alumiinium andis ligikaudu kaks korda nõrgema signaali, millele järgnes veel pisut nõrgema signaaliga vasest katsekeha. Lähtuvalt katsetest võis metallidetektori konstruktsiooni ja tuvastusvõimekuse lugeda piisavalt heaks.

Projekteerimise käigus valmisid mitmed elektroonikaskaemid, tööjoonised, koostejoonised ja detailide nimekirjad, mis on esitatud lisades. Antud töö kujul sai autor palju olulisi kogemusi

analoogsignaaltöötluse, trükkplaatide projekteerimise ning mikrokontrollerite ja arvutitarkvara programmeerimise vallas.

Edasine töö antud projektiga hõlmab põhiliselt tarkvara tõrkeotsinguid ja täiustamist. Samuti on tarvis kontrollida seadme elektromagnetilist ühilduvust, tehes seda vastavas sertifitseeritud asutuses. Tulevikus võib mõelda ka sellele, kuidas ignoreerida ukse liikumise poolt tekitatud metallituvastussignaali muutust. Praeguse seadme kasutamisel eeldatakse, et uks on fikseeritud avatud asendisse.

SUMMARY

The purpose of the master thesis was to design a metal detector system which can be installed into a regular doorway or other passage of a building, such that the parts of the system are not visible. The system can be used to prevent carrying metal objects into the building or prevent stealing of metal objects from the building. The tasks which were first solved included the study of available metal detection technologies, design of search coil and initial prototype circuit. The second phase of the work included the design of final product where two electronic modules were developed, assembled and evaluated.

Metal detectors, having different purpose or physical shape, exploit similar detection methods which are based on electromagnetic induction. According to technical requirements of the system and several references a pulse induction technology was chosen as the most appropriate for current application. It uses a sensitive coil which is excited with short current pulses. Nearby metal objects can be detected by measuring the coil voltage after the current is switched off.

After general study a sensitive element, also called a search coil, and a first prototype electronic circuit were designed. The search coil was constructed from $7 \times 0,5 \text{ mm}^2$ multi-conductor cable, forming a 7-turn rectangular coil around the doorway. The cable coil can be easily installed into a doorway by placing it under door casing or inside the wall material. For testing purpose a full-sized test stand, imitating a $2100 \times 800 \text{ mm}$ doorway, was constructed.

The initial prototype electronic circuit consisted of a pulse generator, analog electronics (amplifier, low pass filter, integrator, A/D converter) and digital circuits, including microcontroller unit and data communication interface. The metal detection data acquired by the prototype was uploaded to the PC, using specially written software, and further analysed in spreadsheet software. Based on the acquired data it was possible to detect quite small objects like mini screwdriver or bundle of door keys. Larger objects like knife and mobile phone had more significant signal.

The product design phase included development of two electronic modules, the detector module and control module. The data communication between the two electronic modules is

implemented using RS-485/RS-422 full duplex connection which can be used with up to 1200 m long cable. The detector module in general includes the same circuitry as the initial prototype. The module is placed in close distance to the doorway ($\leq 1,5$ m) and its purpose is to acquire raw measurement data.

The main task of the control module is to analyse the acquired data and notify the user in case of detected metal. The location of the control module can be chosen freely, considering the maximum length of the data cable. The front panel of the control module has a user interface with three push-buttons and alphanumeric LCD for configuration purpose. The user is notified by a sound alarm, LEDs and signal strength on the display. Up to 16 sensitivity levels can be selected by the user. Two auxiliary logic outputs, relay and open collector, were also designed which enable to send the alarm signal to the central security system of the building or add additional indicators.

The control module can be connected to a personal computer by USB or local area network connection. A specific software was programmed which can present the metal detection signal graphically in real-time and read detection history which is saved to a memory in the control module. Also the configuration settings of the system can be modified from the PC.

The product was evaluated using several everyday items like mobile phone, knife, bundle of keys, belt buckle and several other items as the test objects. All the selected items were detected successfully without problems. Also the detection performance of four different materials was tested using equal size sheet metal objects. Stainless steel and carbon steel had quite similar and strong signal. Aluminium had a signal about half of the steel pieces. Copper test object gave similar but slightly lower signal than aluminium. The design of the metal detector system was considered successful, having sufficiently good metal detection performance.

During the design process electronic schematics, working drawings, assembly drawings and parts lists were compiled which are presented in appendices. The author got an important experience in the fields of analog signal conditioning, PCB design, programming of microcontrollers and PC software.

Further work of this project mainly includes debugging and improvements of the software. The electromagnetic compatibility also needs to be tested, carried out in a certified laboratory. How to ignore the change in metal detection, caused by door movement, may also be considered in the future. At the moment it is assumed that the door is fixed into open state when detecting metal.