



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

**Sähkömagneettiset pyörimisnopeusanturit auton
pyörässä**
**Automotive electromagnetic rotational wheel speed
sensors**
Eemeli Vainio

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Eemeli Vainio

Sähkömagneettiset pyörimisnopeusanturit auton pyörässä

2016

Kandidaatintyö.

Tarkastaja: TkT Mikko Kuisma.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan millaisia sähkömagneettisia antureita käytetään mittaamaan autojen pyörien pyörimisnopeutta. Työn tavoitteena on selvittää miten magneettiset sensorelementit toimivat antureiden osana auton pyörien pyörimisnopeusantureissa. Työ rajataan kolmen sensorelementin tarkasteluun, mitkä ovat Hall-, GMR- ja AMR – sensorelementit. Sensoreiden tarkastelu tehdään kirjallisuustutkimuksella ja lopuksi esitellään yksi sovellus anturin suojauksen näkökulmasta patenttiesimerkin avulla.

Tuloksiksi saatiin, että sähkömagneettisessa anturisysteemissä on aina roottori ja sitä lukeva tunnistinelementti. Roottorin pyörimisliikkeen aiheuttamaa magneettikentän muutosta sensorissa käytetään pyörimisnopeuden mittaamiseen.

Sensorelementit poikkeavat toisistaan rakenteeltaan sekä toimintatavaltaan. Hall – sensorelementti on mittausherkkyydeltään pienin ja GMR – sensorelementti suurin. AMR – sensorelementti on yleisimmin käytetty. Yhteistä niille on se, että ne tarvitsevat esimagneettinnin toimiakseen.

Anturin suojaamiseen käytetään koteloointia. Koteloinnilla saadaan suojattua anturisysteemi mekaanisilta rasituksilta sekä kemiallisilta rasitteilta ja ulkoisilta sähkömagneettisilta häiriöiltä. Lisäksi hyvällä koteloinnin suunnittelulla voidaan säästää tilaa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Eemeli Vainio

Automotive magnetic rotational wheel speed sensors

2016

Bachelor's Thesis.

Examiner: D.Sc. Mikko Kuisma

This bachelor's thesis purpose is to examine which kind of electromagnetic sensors are being used to measure rotational speed in cars wheels axels. The goal of the examination will be to examine how electromagnetic sensors work as a part of the whole sensor system. The examination will be focused on Hall-, GMR- and AMR – sensors techniques. The bachelor's thesis concentrate on examining used structures and operating principles of the given sensors by a literature study plus there will be presented one application through patent example.

The results were that electromagnetic sensor system consists always on a rotor and a sensor element. The change in a magnetic field caused by rotating rotor is used to measure rotational speed.

Sensor elements vary from structure and functionality. Common part is that they all need bias magnetization to work properly. Hall – sensor is the least sensitive and GMR – sensor is the most sensitive. AMR – sensor is most used in applications.

Casing is used to protect sensor. Sensor system is protected from mechanical strains, chemical strains and electromagnetic noise with casing. With good casing it is also possible to save space.

Sisällysluettelo

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto.....	6
1.1 Työn tavoite ja eteneminen.....	7
2. Sähkömagneettiset anturit	8
2.1 Roottorit.....	9
2.2 Hall – anturin rakenne ja toimintaperiaate	11
2.3 AMR – anturin rakenne ja toimintaperiaate	13
2.4 GMR – anturin rakenne ja toimintaperiaate	17
3. Patenttiesimerkki: Hall – nopeusanturi	21
3.1 Patenttiesimerkin yhteenveto.....	23
4. Yhteenveto.....	24
Lähteet	25

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

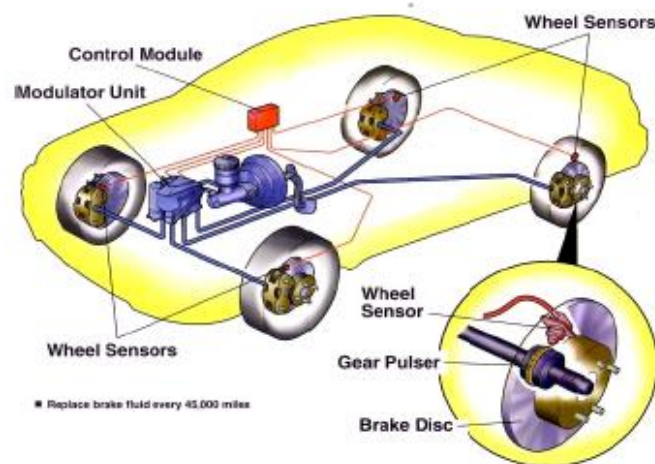
ABS	Anti-lock braking system
AMR	Anisotropic magnetoresistance
CPU	Central processing unit
CAN	Controller area network
GMR	Giant magnetoresistance
Hall	Hall-efekti
InSb	Indium - antimoni
GaAs	Gallium - arsenidi
InAs	Indium – arseeni
Spin valve	GMR – anturin perusrakenne

1. JOHDANTO

Elektroniikka on lisääntynyt autoissa räjähdysmäisesti 1980 – 1990 luvuilta lähtien. Elektroniikan lisääntyessä on sen kehitys kulkenut eteenpäin jättiharppauksin. Moderneissa autoissa elektroniikkaa ohjallaan hienostuneilla CAN - väylä järjestelmillä ja suorittimella eli CPU:lla. Suoritin saa tietonsa väyläjärjestelmiä pitkin auton sensoreista eli antureista, jotka mittaavat lukuisia eri asioita auton käyttäytymisestä sen käydessä.

Auton antureihin kohdistuu suuria ympäristörasitteita kuten lämpötilanvaihteluita ääripäiden välillä, tärinää, kosteutta, likaa ja kemikaaleja. Lisäksi anturit joudutaan usein sijoittamaan lähelle mitattavaa kohdetta ahtaaseen paikkaan, joten anturin koko on myös haaste. Suurin osa antureista on elektronisia johtuen kasvaneista vaatimuksista ja autoteknisten järjestelmien hienostuneisuudesta ja niiden tarpeesta luotettavammille järjestelmille antureissa. (S. A. Hale, 1991)

Antureiden signaalia käytetään monessa auton laitteessa. Esimerkiksi pyörimisnopeusantureiden signaalia käytetään kuvan 1.1 ABS systeemin lisäksi ajonvakautusjärjestelmissä kuten ESC. (Kapsler, Sterling, 2007)



Kuva 1.1 Auton ABS jarrujen nopeusanturi. (Le Khac Binh. et al. 2011)

1.1 Työn tavoite ja eteneminen

Tässä kandidaatintyössä on tavoitteena selvittää millaisia antureita käytetään mittaamaan autojen pyörien akseleiden pyörimisnopeutta. Työ rajataan koskemaan yleisimpiä autoteollisuuden sovellutuksissa esiintyviä sähkömagneettisia antureita eli Hall-, GMR- ja AMR – antureita. Selvitetään mikä on niiden rakenne ja toimintaperiaate ja käydään yksi tapaus pyörimisnopeusanturista patenttiesimerkin avulla läpi. Työ tehdään kirjallisuusselvityksellä ja case – tutkimuksen muodossa tarkastelemalla yhtä sovellusta patenttiesimerkin kautta.

Työ etenee siten, että toisessa kappaleessa pyritään vastaamaan varsinaisiin tutkimuskysymyksiin:

Tutkimuskysymykset:

- Millainen on sähkömagneettisen pyörimisnopeusanturin rakenne?
- Millainen rakenne- ja toimintaperiaate Hall-, AMR- ja GMR - sensorelementeillä on ja miten niitä käytetään pyörimisnopeusanturin osana?
- Miten pyörimisnopeusantureista saadaan lähes täysin mekaaniselta kulumiselta ja ympäristön vaikutuksilta suojattuja?

Kappaleen alussa vastataan ensimmäiseen kysymykseen, ja toiseen sekä kolmanteen kysymykseen paneudutaan syvällisemmin alajakeissa kirjallisuustutkimuksen avulla.

Kolmannessa kappaleessa on esitelty yksi esimerkkitapaus pyörimisnopeusanturista patenttiesimerkin avulla. Anturin toiminta ja sen pääosat käydään läpi case – tutkimuksen muodossa vain kyseisen patentin sovellusta tarkastelemalla. Lopuksi neljännessä kappaleessa esitellään työn tulokset.

2. SÄHKÖMAGNEETTISET ANTURIT

Anturi on mittalaitteen osa, jonka avulla havaitaan mitattavassa kohteessa tapahtuvia fyysisiä tai kemiallisia muutoksia. Havaitut muutokset muutetaan sähköisiksi tai optisiksi signaaleiksi, jotka välitetään varsinaiselle mittalaitteelle. Anturin havaitsemien muutosten analysointi tapahtuu vasta mittalaitteessa. Puhekielessä anturitermillä tarkoitetaan kuitenkin yleensä koko mittalaitetta ja anturitermin lisäksi on käytössä myös muita termejä kuten sensori ja tunnistin. (Bosch, 2007)

Anturin toimintaa kuvaa sen herkkyys, mikä tarkoittaa käytännössä matemaattista mallia, jonka mukaan anturin antama signaali on riippuvainen anturin mittaamasta suureesta. Anturin herkkyys voidaan ilmoittaa siten esimerkiksi Dx/Dy suhteena missä Dx kuvaa anturin antamaa signaalia ja Dy mitattavaa suuretta. Tällainen malli on lineaarinen eli signaali riippuu suoraan mitattavasta suureesta, mutta on olemassa myös muita malleja. (Bosch, 2007)

Resoluutio on toinen tärkeä suure, jolla anturin toimintaa kuvataan. Resoluutiolla kuvataan anturin antaman mittaustiedon tarkkuutta. Anturin resoluutio on yleensä luettavissa varsinaisen mittalaitteen näytöltä. Suuri resoluutio anturissa vastaa parempaa tarkkuutta ja resoluutio tarkoittaa pienintä muutosta, minkä anturi voi havaita. (Bosch, 2007)

Hyvän anturin tunnusmerkkejä ovat, että se on herkkä mitattavalle suurelle mutta ei reagoi helposti muihin haitallisiin suureisiin mitä mittauksessa voi tulla eteen. Lisäksi anturi itsessään ei vaikuta mittaustuloksiin. (Bosch 2007)

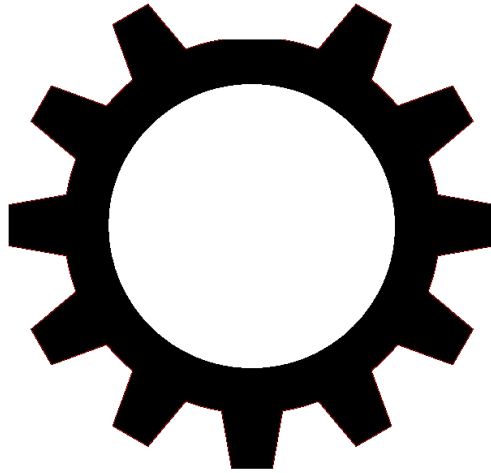
Pyörimisnopeusanturilla mitataan pyörimisnopeutta ja pyörimisliikkeen muutoksia. Anturisysteemi koostuu kahdesta osasta: roottori ja tunnistin. Roottori voi olla napapyörä tai hammaspyörä. Tunnistinelementti tunnistaa roottorin pyörimisliikkeen kun se on kiinnitetty pyörivään akseliin siten, että se pyörii akselin pyörimisliikkeen mukana. Tunnistinelementtinä käytettäviä sähkömagneettisia tunnistimia ovat Hall- tunnistin, sekä GMR ja AMR tunnistimet, mitä käytetään yleisimmin teollisuuden sovellutuksissa. (Popovic, R.S. et al. 2002) Sähkömagneettisissa anturisysteemeissä ei ole mekaanisesti toisiinsa yhteydessä olevia kuluvia osia vaan mittaus tapahtuu magneettikentän välityksellä ilmvälän kautta.

Mekaanista kulumista voi kuitenkin ilmentyä anturisysteemin osissa erikseen. Roottorit ovat erityisen alttiina kulumiselle jos kyseessä on perinteinen hammaspyörämallinen roottori. Lika voi tukkia luettavat hammasvälit ja anturin toiminta voi heikentyä. On myös mahdollista, että roottorista voi kokonaan irrota jokin hammas jolloin anturin toiminta myös vikaantuu. Roottoreina käytetään edelleen perinteistä hammaspyörää mutta vikaantumisen estämiseksi on innovoitu magneettisuuteen perustuvia napapyöriä ja kokonaan renkaan laakereiden tiivisteisiin integroituja roottoreita. (Bosch, 2007)

2.1 Roottorit

Pyörimisnopeusantureiden toimimisen kannalta välttämätön elementti ovat roottorit. Tunnistin tunnistaa pyörimisnopeuden roottorin pyörimisen kautta. Roottori on useimmiten hammaspyörä, joka on kiinnitetty pyörivän akselin ulkokehälle kuten kuvassa 1.1 auton ABS- nopeusanturissa.

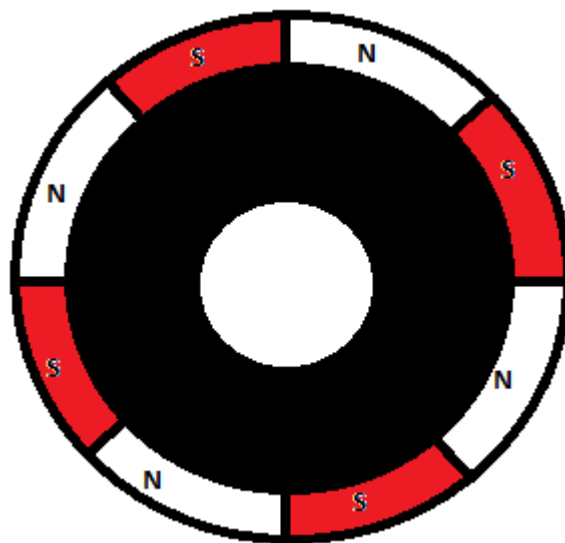
Hammaspyörän hampaiden määrä vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Nopeutta mittaavan anturin hammaspyörässä on vain yksi tunnistettava merkki roottorissa mistä erotetaan kierrokset. Tunnistettava merkki on esimerkiksi yhden hammasvälin puuttuminen. Segmenttianturin roottorissa tunnistettavia merkkejä on kierroksella useita. Segmenttejä voi olla esimerkiksi sylintereitä vastaava määrä, jolloin voidaan vaikuttaa sylinterien toimintaan. Inkrementiaalian turin roottorissa tunnistettavia merkkejä on tiheässä. Inkrementiaalian turilla voidaan määrittää hetkellisiä alhaisia nopeuksia ja se sopii myös pyörähdyskulmien määrittämiseen. (Bosch, 2007)



Kuva 2.1 Hammaspyörä, jossa tunnistettavana merkinä hammasvälin puuttuminen

Antureissa käytetään hammaspyörän sijaan myös napapyörää. Napapyörä on magneettinen roottori. Siinä magneettiset navat vaihtelevat roottorin kehällä. Napapyörän käyttämisen etuna on suuremman ilmavälin mahdollistaminen ja varmempi signaalin tulkitseminen verrattuna hammaspyörään.

Napapyörässä ei ole hammasvälien likaantumisen tai rikkoontumisen riskiä. Napapyörän signaali on luettavissa vaikka se olisi likainenkin sillä lika ei vaikuta sen magneettisiin ominaisuuksiin. Lisäksi siinä ei ole erillisiä hampaita mitkä voisivat rikkoontua vaan se on sileäpintainen ja voidaan integroida osaksi pyörivää akselia mistä nopeus mitataan.



Kuva 2.2 Napapyörä, missä pyörän kehällä vuorottelevat tunnistettavat merkit eli magneettiset navat N ja S.

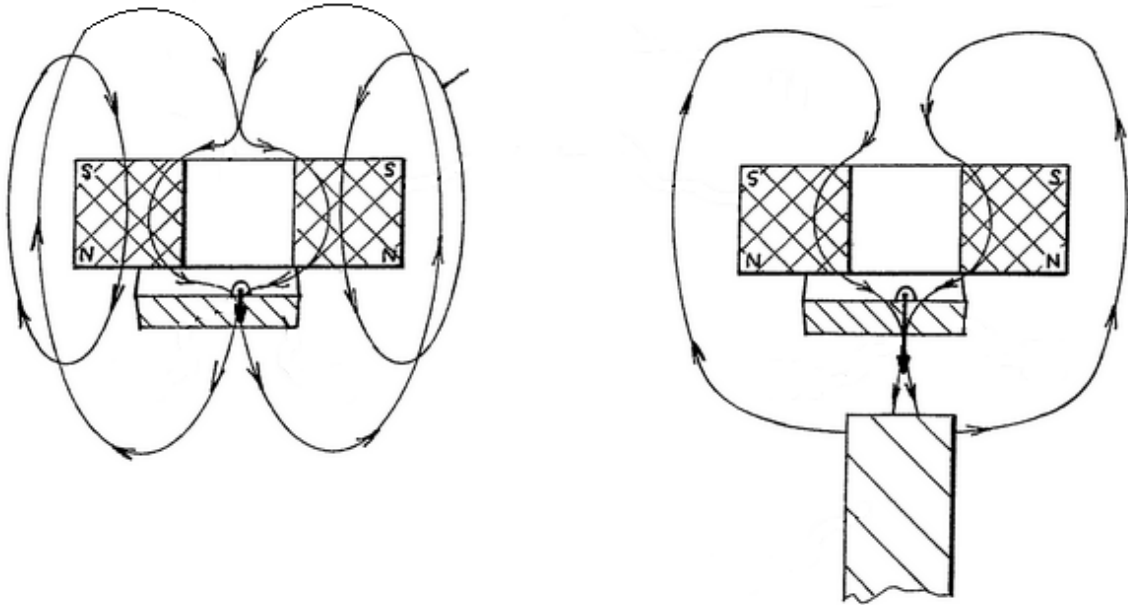
Esimerkiksi uusimmissa ABS-antureissa napapyörä voidaan integroida ajoneuvon pyörän laakeriin tai tiivisterenkaisiin, jolloin se on magneettipulverina. Magneettipulverista valmistettu integroitu napapyörä pienentää entisestään anturisysteemin tilantarvetta. Lisäksi tällaisessa ratkaisussa saadaan pienennettyä riskiä roottorin rikkoutumiseen. (Bosch, 2007)

2.2 Hall – anturin rakenne ja toimintaperiaate

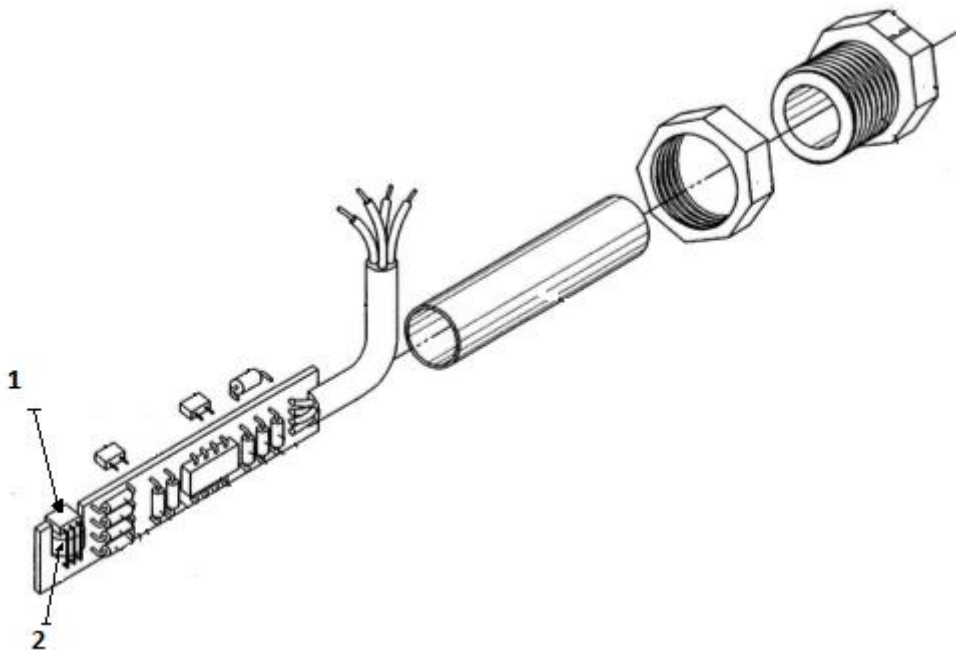
Hall – anturilla mitataan ilmvälin kautta hammaspyörän pyörimistä ja tuotetaan siitä signaali muille laitteille. Anturilla saadaan tuotettua mitattavasta kohteesta tasalaatuista signaalia koko mittausalueella mutta mittausalue ei ole kovin laaja. (United States Patent, oct, 2000) Hall – anturi tarvitsee lisäksi signaalin vahvistuksen mikä rajoittaa lisää käytettävää kaistanleveyttä. Hall – anturin mittausherkkyyks ei ole myöskään suuri eli se ei tunnista pienimpiä mitattavia magneettikentän muutoksia. Käytettävä ilmväli ei siten voi olla kovin suuri. (Popovic, R.S. et al. 2002)

Hall - anturin sensorielementti koostuu ohuesta suorakulmaisesta p-tyypin puolijohdekappaleesta, joka voi olla indium-antimonia (InSb), gallium-arsenidia (GaAs) tai indium-arseenia (InAs). Puolijohdekappale on useimmiten suorakulmion muotoinen, koska varauksenkuljettajat jakautuvat siten tasaisemmin kappaleen laiduille ja saadaan suurempi mitattava jännite-ero anturilevyn laiduille. Jännite-eron synnyttämiseksi on tärkeää että ulkopuolisen magneettikentän tulee olla kohtisuorassa puolijohteen virrankulkusuuntaan nähden. (Storr, 2015)

Hall – anturin sensorielementti tarvitsee toimiakseen esimagnetoinnin. Esimagnetointi magneetti on renkaan muotoinen ja se on kiinni sensorielementin takana jotta saadaan oikean muotoinen magneettikenttä sensorielementin läpi. Kuvassa 2.3 näkyy halkaisukuvana kuinka magneettikenttä muuttuu kun anturi on ulkoisessa magneettikentässä. (United States Patent, 2014)

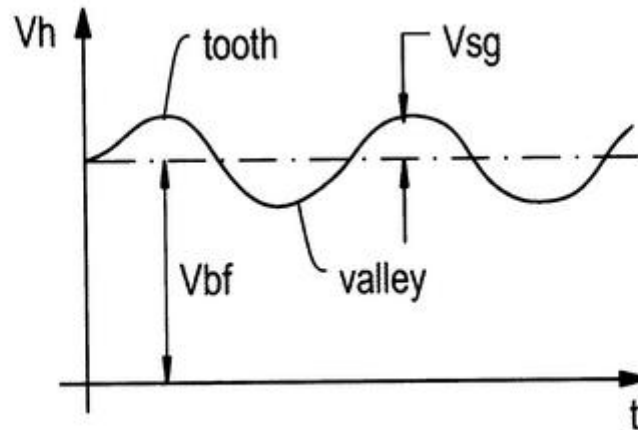


Kuva 2.3 Vasemmalla Hall – anturin lähellä ei ole ulkoista magneettikenttää joten esimagnetointimagneetti muodostaa oheisen magneettipiirin. Oikealla anturiin vaikuttaa ulkoinen magneettikenttä joten anturin läpi kulkeva magneettikenttä muuttuu. (Kuva muokattu, United States Patent, 2014)



Kuva 2.4 Hall - anturin räjäytyskuva, missä sensorelementti 1 ja esimagnetointi magneetti 2 osoitettu nuolilla. Lisäksi anturin muuta elektroniikkaa sekä kotelo ja liitin. (Kuva muokattu, United States Patent, oct, 2000)

Kuvan 2.4 Hall – anturi mittaa akselin pyörimisnopeutta hammaspyörän avulla. Hall – anturi ja hammaspyörä ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, jolloin hammaspyörän pyöriessä sen hampaat ja hammasraot ohittavat anturin sensorelementin ja esimagnetoinnin aikaansaama magneettikenttä anturin läpi muuttuu kuten kuvassa 2.3 Hammaspyörän hampaat ja raot saavat aikaan vuoronperään vaihtuvan magneettikentän minkä seurauksena ulostuleva signaali näkyy kuvassa 2.5 (United States Patent, oct, 2000)

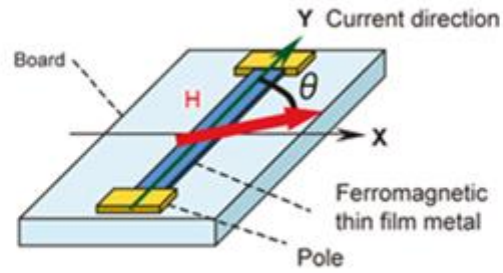


Kuva 2.5 Hall – anturin antama signaali. (Kuva muokattu, United States Patent, 2004)

2.3 AMR – anturin rakenne ja toimintaperiaate

Eniten käytettyjä magneetoresistiivisyyteen perustuvia antureita ovat AMR – anturit. AMR – antureilla on suuri mittausherkkyyys ja kaistanleveys. (Popovic, R.S. et al. 2002) Suuren mittausherkkyyden ansiosta anturi tuottaa hyvän signaalin, mikä on vakaa anturin omalla lämpötila- ja jännitealueella. Sen ansiosta anturin mittauselementin ja hammaspyörän välillä voi käyttää suurempaa ilmaväliä kuin Hall – anturissa. (United States Patent, 2009)

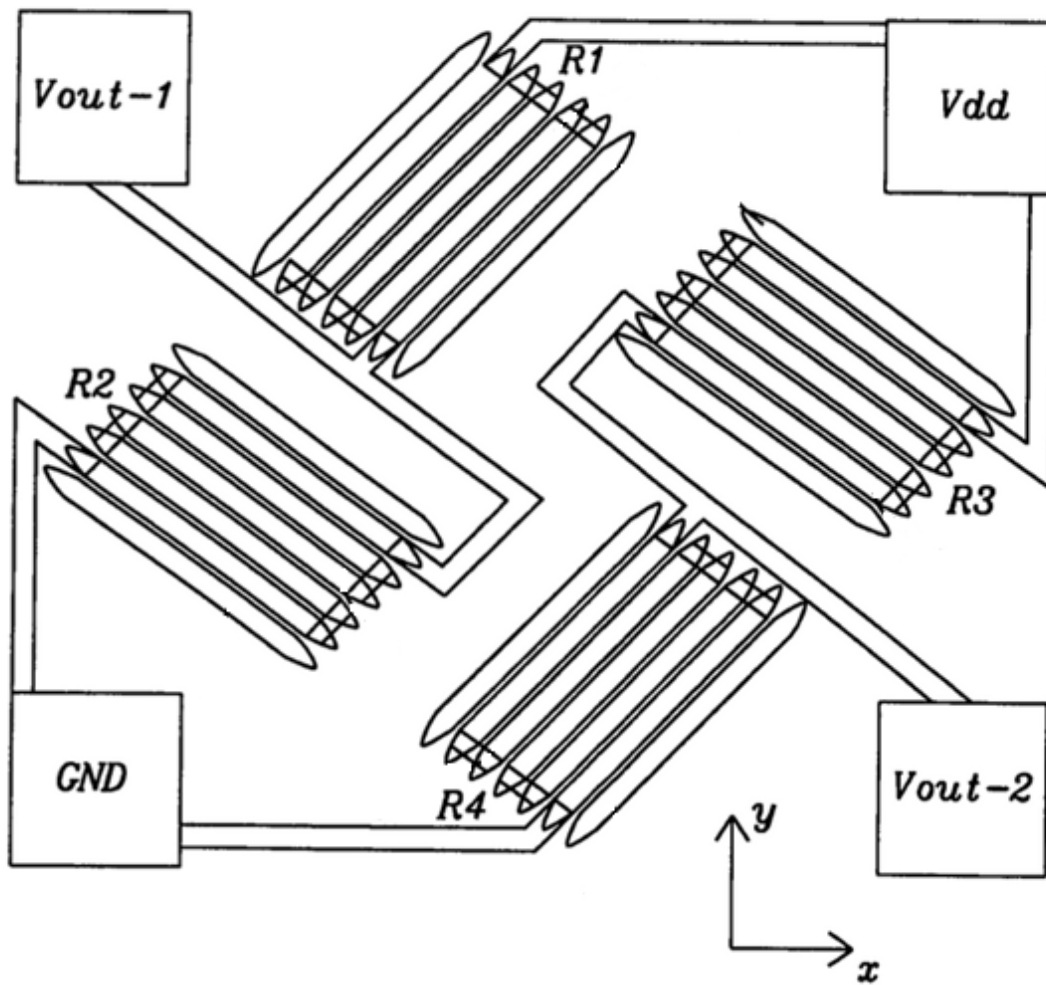
AMR – anturin sensorelementti koostuu ohuesta lasi- tai piialustasta, jonka päällä on ferromagneettisesta metalliseoksesta tehty ohutkalvovastus. Ohutkalvovastuksen metalliseos on useimmiten nikkeliä ja rautaa. (Kohden Co. Ltd 2011) Sensorelementin rakenneperiaate on kuvassa 2.6.



Kuva 2.6 AMR – anturin rakennekuva. Pii tai lasialustalla oleva ohutkalvovastus jonka päissä on magneetit. (Kohden Co. Ltd 2011)

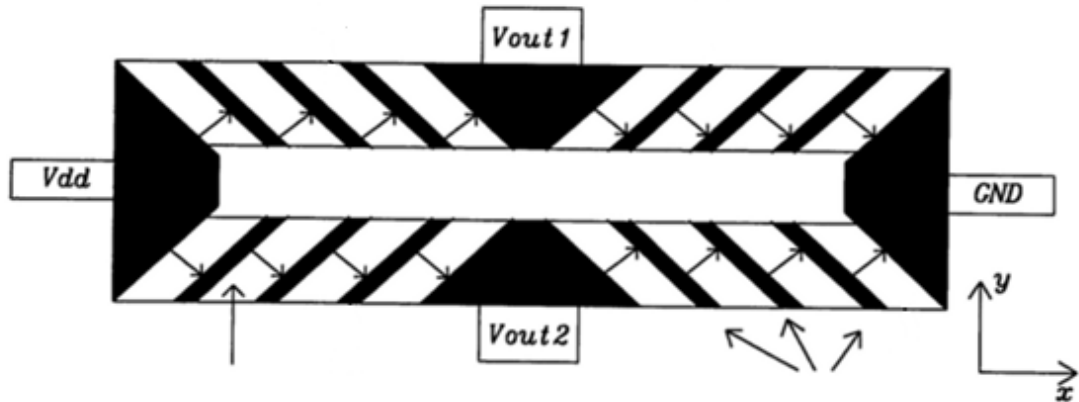
Ohutkalvovastuksen resistanssi muuttuu ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta. Kun anturiin kohdistetaan ulkoinen magneettikenttä se aiheuttaa ohutkalvovastuksen resistanssiin muutoksen magneettikentän voiman ja suunnan funktiona. Kun ulkoinen magneettikenttä on täysin kohtisuorassa ohutkalvovastuksessa kulkevan virran kanssa, niin resistanssi on silloin pienin. (Kohden Co. Ltd 2011)

Käyttämällä useita sensorelementtejä yhdessä esimagnetointi magneetin kanssa saadaan kokonainen AMR – anturi. Kokonaisen anturin perusrakenne on joko ”Wheatstone bridge” tai ”barber pole”. Kuvassa 2.7 oleva Wheatstone bridge - rakenne muodostuu neljästä sensorelementtiryhmästä. Kaikki sensorelementit ovat identtisiä ja jokainen on 45 asteen kulmassa viereiseen elementtiryhmään nähden. Jokaisessa elementtiryhmässä on useita ohutkalvovastuksia rinnan toisiinsa nähden mutta kytkettynä sarjaan toistensa kanssa. Siten jokainen elementtiryhmä muodostaa yhden ohutkalvovastuksen. Lisäksi jokaisen elementtiryhmän laidalla on yksi ohutkalvovastus mitä ei ole kytketty sarjaan toisten kanssa. Sen tarkoituksena on vähentää häiriöitä anturin signaalissa. (United States Patent, 2009)



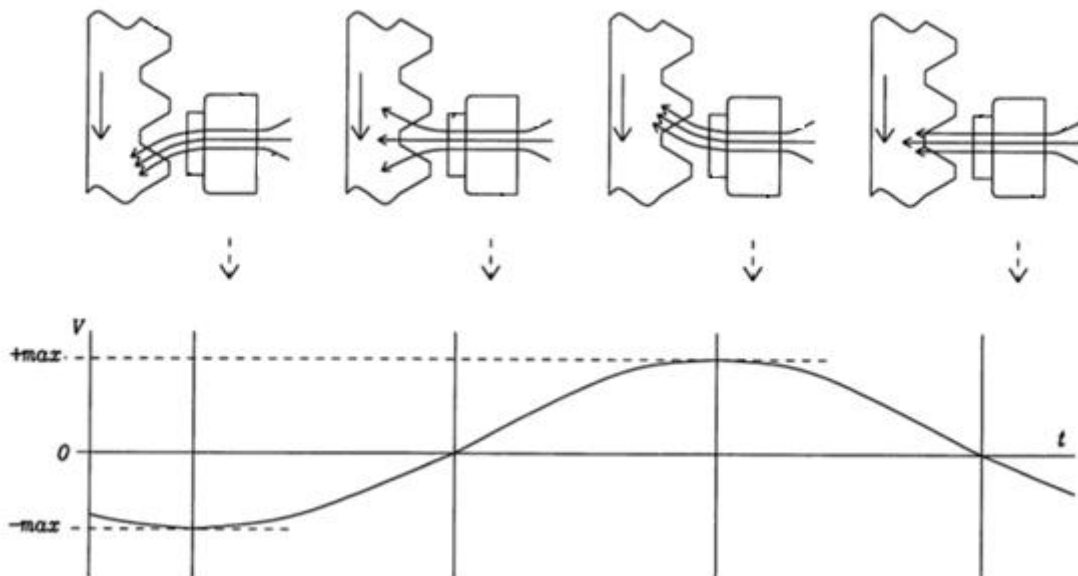
Kuva 2.7 AMR – anturin Wheatstone bridge – rakenne, missä ohutkalvovastukset kytkettyinä sarjaan muodostavat anturin tunnistimen. (United States Patent, 2009)

Barber pole – rakenteessa ohutkalvovastukset ovat kuvan 2.8 mukaisesti rinnakkain. Ohutkalvovastusten välissä on ei – magneettiset, mutta hyvin sähköä johtavat metalliset kalvot. Virran kulkusuunta on x -akselin suunnassa ja mitattava jännite – ero muodostuu kuvassa 2.8 ylä- ja alapuolten välille eli y – akselin suunnassa. (United States Patent, 2009)



Kuva 2.8 AMR – anturin barber pole – rakenne, missä virran kulkusuunta on x – akselin suuntaisesti ja mitattava jännite muodostuu y – akselin suuntaisesti. (Kuva muokattu, United States Patent, 2009)

AMR – anturin toimintaperiaate on samanlainen kuin Hall – anturin. AMR – anturin esimagnetointi magneetin tuottama magneettivuo muuttuu akseliin kiinnitetyn hammaspyörän pyörimisliikkeen mukana ja anturi havaitsee muutokset magneettivuossa. Magneettivuon muutos tuottaa anturin signaalin. Kuvassa 2.9. on havainnollistettu kuinka esimagnetointivuo muuttuu hammaspyörän pyöriessä ja millainen signaali siitä saadaan. (United States Patent, 2009)

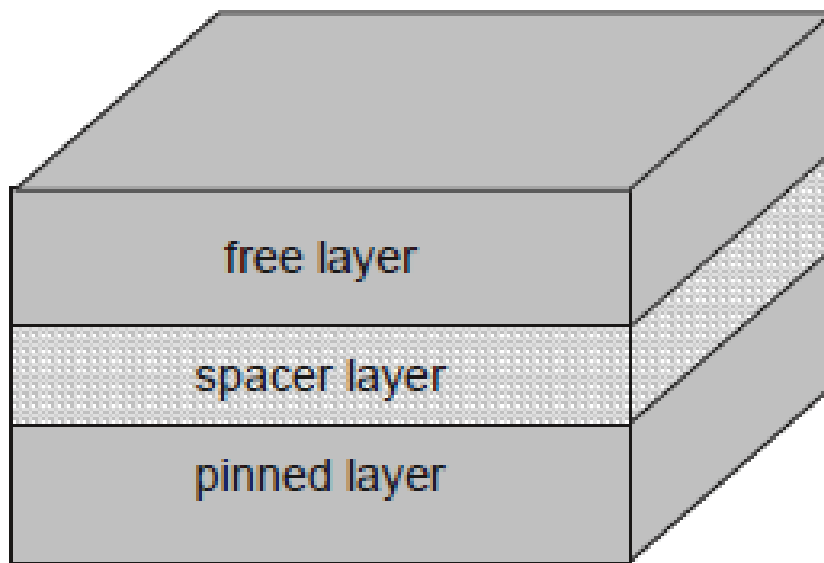


Kuva 2.9 AMR – anturin toimintaperiaate. Hammaspyörän pyöriessä anturin esimagnetoinnin vuo muuttuu ja anturi havaitsee muutoksen tuottaen sinimuotoisen signaalin. (Kuva muokattu, United States Patent, 2009)

2.4 GMR – anturin rakenne ja toimintaperiaate

GMR – antureissa on suurin mittausherkkyyys verrattuna Hall- ja AMR – antureihin. Sen ansiosta GMR – antureissa voi käyttää suurempaa ilmaväliä mittaaselementin ja hammaspyörän välissä kuin Hall- ja AMR – antureissa ilman, että se vaikuttaisi mittaustulokseen. Lisäksi parempi mittausherkkyyys tarkoittaa ylimääräisen taustakohinan vähenemistä, mikä ansiosta mittaussignaalia saadaan tarkempi. Siten pystytään reagoimaan paremmin myös pienimpiin muutoksiin. (Kapsler, Sterling, 2007)

GMR – anturin perusrakenne on niin sanottu ”spin valve” rakenne. Spin valve – rakenne koostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta magneettisesta kerroksesta, jotka on erotettu toisistaan ei – magneettisella kerroksella. (Kapsler, Sterling, 2007) ”Spin valve” perusrakenne on näkyvissä kuvassa 2.10

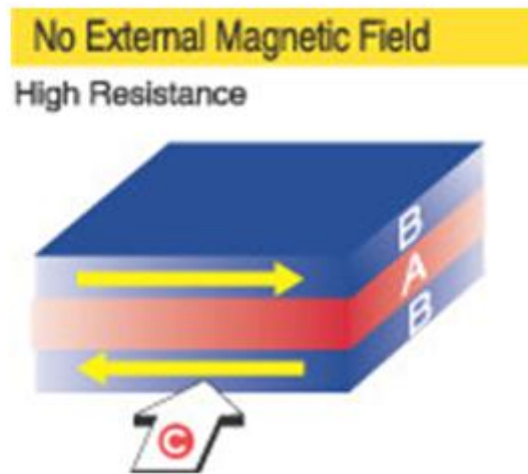


Kuva 2.10 GMR – anturin spin valve perusrakenne missä on kaksi magneettista kerrosta joiden välissä ei – magneettinen kerros. Alempi magneettinen kerros on kiinnitetty ja ylempi on vapaa kerros. (Kuva muokattu, Kapsler, Sterling, 2007)

Spin valve – rakenteessa toinen magneettinen kerros on niin sanottu ”pinned layer” tai ”hard layer”. Tämän kerroksen magnetisoinnin suunta on aina vakio verrattuna välikerrokseen. Ideaalitulanteessa sen magnetisoinnin suunta ei muutu ollenkaan ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta. Toinen magneettinen kerros on niin sanottu ”vapaa kerros” (engl. free layer). Sen magnetisoinnin suuntaa ei ole vakioitu vaan se muuttuu ulkoisen magneettikentän myötä. (Kapsler, Sterling, 2007)

Johtava, ei-magneettinen kerros on useimmiten kuparia. Kupari on yleensä hyvä johde mutta kun sen paksuus on vain muutamia atomeja, sen johtavuus huononee merkittävästi elektronien hajaantuneisuuden vuoksi. Resistanssi vuorovastoin kasvaa merkittävästi, jolloin virta kulkee huonosti tai ei ollenkaan. Kuparin johtavuus on riippuvainen sitä ympäröivien magneettisten kerrosten magnetisointien suuntauksista. Kun magneettiset suuntaukset ovat yhdensuuntaiset, niin kupari muuttuu jälleen hyvin johtavaksi. (NVE, 1998-2008)

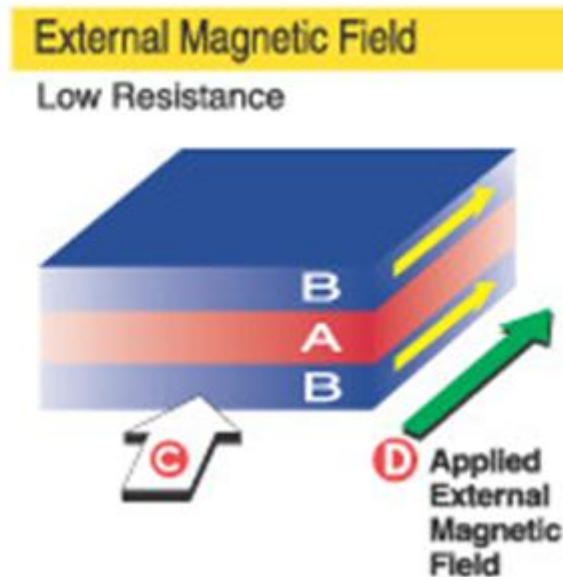
Spin valve – rakenteisen GMR – anturin toiminta riippuu sensorin lähellä vaikuttavasta ulkoisesta magneettikentästä ja kuinka anturin vapaa magneettinen kerros reagoi siihen. Kuvassa 2.11 anturi ei ole ulkoisen magneettikentän vaikutuspiirissä tai ulkoinen magneettikenttä on heikko joten vapaa kerros ja kiinnitetty kerros ovat silloin magnetoituneet vastakkaisuuntaisiksi. Virta ei kulje koska johdekerroksen johtavuus on huono kun magneettisten kerrosten magnetoitumat ovat erisuuntaiset. (NVE, 1998-2008)



Kuva 2.11 Spin valve anturin magneettiset kerrokset (B) ovat magnetoituneet vastakkaisuuntaisiksi jolloin johdemateriaalissa (C) ei kulje virtaa. (NVE, 1998-2008)

Kun ulkoinen magneettikenttä tuodaan lähemmäs anturia ja se on riittävän voimakas niin anturin vapaan kerroksen magnetoituman suunta alkaa kääntyä yhdensuuntaiseksi kiinnitetyn kerroksen kanssa. Samalla johdekerroksen johtavuus paranee merkittävästi ja virta alkaa kulkea kun magneettiset kerrokset ovat magnetoituneet yhdensuuntaisiksi. Kuvassa 2.12 on magneettiset kerrokset (B) yhdensuuntaiset ulkoisen magneettikentän (D) vaikutuksen alla.

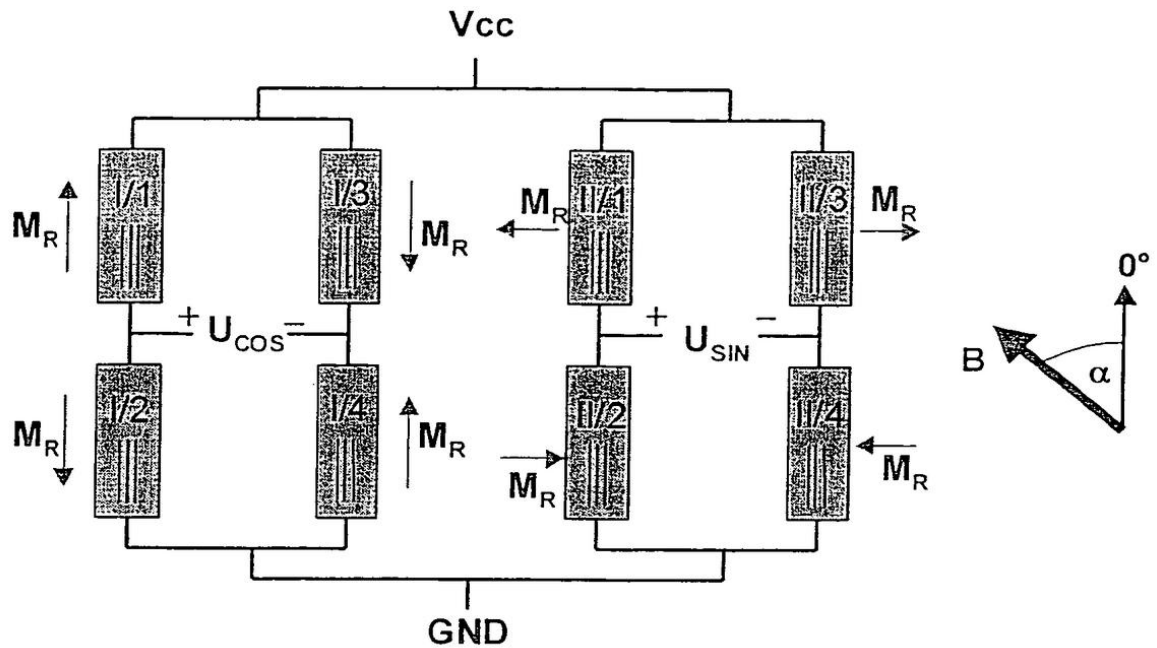
tuksesta ja siten virta (C) pääsee kulkemaan. Kerroskombinaatioita voi olla anturissa useita anturin mittausherkkyyden parantamiseksi. (NVE, 1998-2008)



Kuva 2.12 Spin valve anturin magneettiset kerrokset (B) ovat magnetoituneet yhdensuuntaisiksi jolloin johdemateriaalissa (C) kulkee virta. (NVE, 1998-2008)

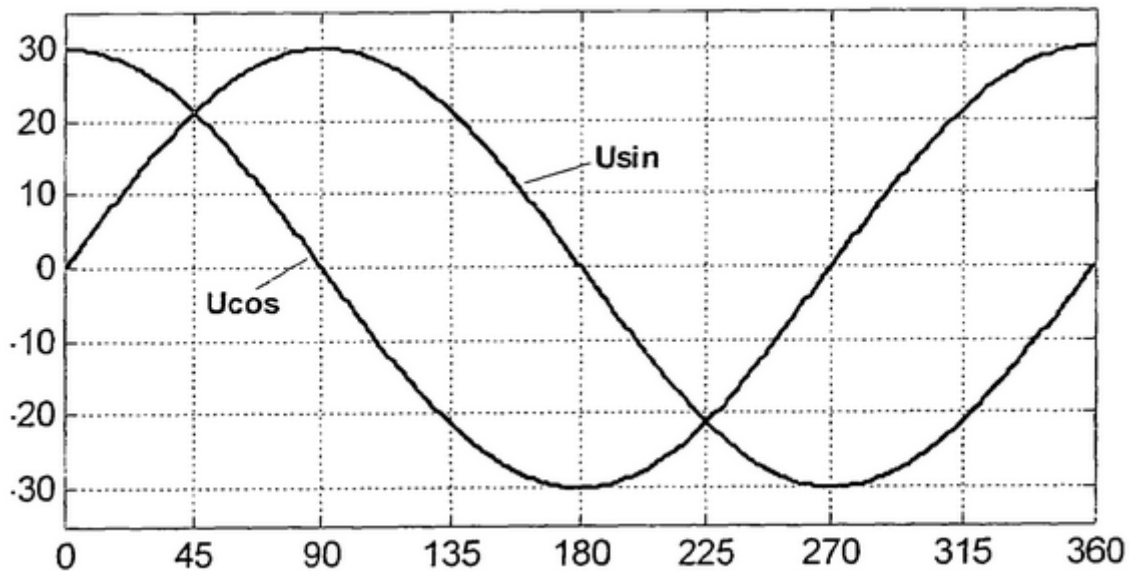
Kytkemällä neljä spin valve - sensorelementtiryhmää yhteen saadaan Wheatstone bridge aivan kuten AMR – anturin tapauksessa. GMR – anturissa on kuitenkin yhden sijaan kaksi Wheatstone bridge – piiriä yhteen kytkettynä. Piirien spin valve – sensorelementtiryhmät on esimagnetoitu pareittain vastakkaisiksi ja piireittäin 90 asteen kulmaan toisiinsa nähden, kuten kuvassa 2.13 näkyy esimagnetisointinuolien M_R suunnasta. Vastakkaisen esimagnetoinnin tarkoitus on minimoida Wheatstone bridge – piirin alttius ulkoisen magneettikentän häiriöille. Lisäksi GMR – anturin Wheatstone bridge – piirien spin valve sensorelementtiryhmät on yhdensuuntaiset toisiinsa nähden. Sillä estetään häiriötä tuotettavassa signaalissa. (United States Patent, 2007)

Ulkoisen magneettikentän B suunta tunnistuselementteihin ja referenssisuuntaan 0° nähden on kuvan 2.13 mukainen. Referenssisuunnan ja ulkoisen magneettikentän suunnan väliin jäävää kulmaa α mitataan ja saadaan signaalit U_{\cos} ja U_{\sin} . (United States Patent, 2007)



Kuva 2.13 GMR – anturin kaksinkertainen Wheatstone bridge kytkentä. Kuvassa on esitettyä myös esimagnetointien suunnat M_R . (United States Patent, 2007)

Kuvassa 2.14 ovat anturin Wheatstone bridge – piirien muodostamat signaalit U_{\sin} ja U_{\cos} . Ne ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden ja niiden välillä on 90 asteen vaihesiirto. Kulman α arvo on kuvassa x – akselilla ja anturin tuottamat signaalit y – akselilla. Signaali on ilmoitettu millivolteina. (United States Patent, 2007)



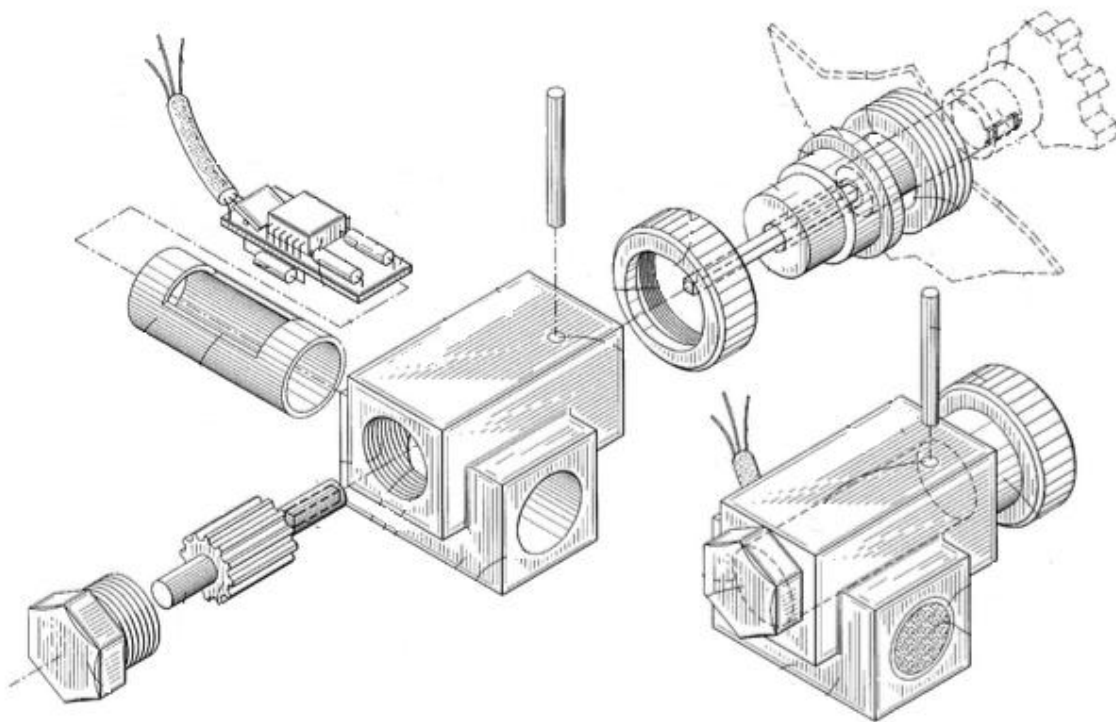
Kuva 2.14 Anturin tuottamat signaalit U_{\sin} ja U_{\cos} . (United States Patent, 2007)

3. PATENTTIESIMERKKI: HALL – NOPEUSANTURI

Tässä patenttiesimerkissä käydään läpi yksi käytännön sovellutus missä käytetään Hall – sensoriteknikkaa sähkömagneettisen anturin tunnistimena. Tarkoituksena on esitellä kuinka tässä tapauksessa anturin mekaaninen suojaus ja häiriösuojaus on toteutettu.

Hall – nopeusanturia käsittelevässä patentissa otetaan kantaa siihen millä keinoilla Hall – anturisysteemin koko on minimoitu säilyttäen samalla sen antaman signaalin vakaus ja vaste pelkästään nopeuden muutoksiin. Lisäksi patentissa selvitetään anturisysteemin toimintaperiaate sekä rakenne. (United States Patent, aug, 2000)

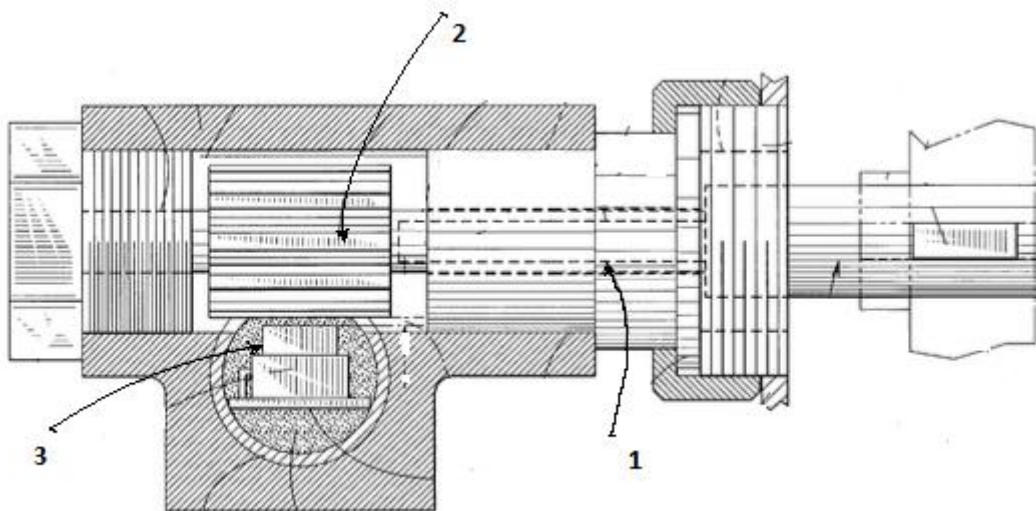
Kuvassa 3.1 on ajoneuvon nopeusanturin räjäytyskuva sekä asennusta vastaava kuva. Räjäytyskuvasta nähdään, että systeemi koostuu neljästä pääosasta: anturin kotelo, akselin kotelo, anturi ja akseli. Tässä mallissa nopeusanturin ja akselin kotelot ovat osittain sisäkkäin, millä pyritään tilaa säästävään ratkaisuun ja anturisysteemin koon minimoimiseen. Sisäkkäisen asennustavan näkee hyvin asennusta vastaavasta kuvasta räjäytyskuvan oikealla puolella.



Kuva 3.1 Räjäytyskuva nopeusanturin rakenteesta käyttöympäristössään (vasemmalla) sekä anturin asennuskuva (oikealla). (Kuva muokattu, United States Patent, aug, 2000)

Akseli, jolta nopeus mitataan, tulee sisäkkäisistä koteloista ylempään ja nopeusanturi asennetaan alempaan koteloon kuten kuvassa 3.1. Nopeusanturin tunnistinelementillä on lisäksi oma kotelointi, johon se kiinnitetään iskun- ja värinänkestävällä gelatiinilla mekaanisen kuluminen minimoimiseksi. (United States Patent, aug, 2000)

Sisäkkäisessä asennustavassa on etuna myös systeemin suljetumpi rakenne verrattuna perinteisen malliseen anturiin missä nopeusanturille ja akselille on erilliset koteloinnit. Täten saadaan systeemin tärkeimmät osat roottori ja anturi lähemmäs toisiaan kuten kuvasta 3.2 nähdään. Kun roottori ja anturin tunnistinelementti ovat lähempänä toisiaan, ei anturi ole niin altis ulkoisille sähkömagneettisille häiriöille. Lisäksi anturin kotelo on alumiinia, mikä estää tehokkaasti sähkömagneettisia häiriöitä. (United States Patent, aug, 2000)



Kuva 3.2 Nopeusanturin sivuleikkaus. (Kuva muokattu, United States Patent, aug, 2000)

Nopeusanturin toimintamekanismi perustuu akselin (kuvassa 3.2 kohta 1) pyörimisliikkeeseen. Akselin alkaessa pyöriä se pyörittää samalla nopeusanturissa olevaa hammaspyörää 2 joka on yhteydessä akseliin. Hammaspyörässä olevat hampaat ja niiden väliset raot ohittavat pyörimisliikkeen seurauksena tunnistuselementin 3 vuoronperään. (United States Patent, aug, 2000)

Hammaspyörän hammas saa joka kerralla ohittaessaan tunnistuselementin, aikaan vahvistuneen magneettikentän Hall – anturissa, mikä aiheuttaa virran kulkemisen Hall – anturin

läpi ja sen seurauksena Hall jännitteen. Hammaspyörässä olevat raot heikentävät anturin läpi kulkevaa magneettikenttää. Siten magneettikentän vaihtelu saadaan muutettua signaaliksi järjestelmään. (United States Patent, aug, 2000)

3.1 Patenttiesimerkin yhteenveto

Tässä esimerkkitapauksessa esitelty yksi tapa ympäristön vaikutuksilta suojautumiseen on kotelointi. Anturin sensorielementti sekä itse anturi ovat hyvin koteloituja mikä vähentää tärinän vaikutusta sekä ulkoisten kemiallisten ärsykkeiden kuten kosteuden, lian ja öljyjen vaikutusta.

Häiriösignaalien vaikutusta voidaan vähentää etenkin koteloinnin materiaalilla. Käyttämällä anturin koteloinnin materiaalina alumiinia saadaan sähkömagneettisia häiriöitä vähennettyä. Lisäksi häiriöihin voidaan vaikuttaa asentamalla sensorielementti ja roottori lähelle toisiaan.

Koteloinnin hyvällä suunnittelulla voidaan myös esimerkin mukaisesti vaikuttaa anturisysteemin kokoon käyttämällä sisäkkäistä koteloitua. Se säästää tilaa muille komponenteille ja sisäkkäinen asennustapa auttaa myös häiriösuojauksessa.

4. YHTEENVETO

Työssä selvitettiin tyypillisten autojen pyörissä käytettävien Hall-, AMR-, GMR – antureiden rakenne ja toimintaperiaatteet. Yleensä sähkömagneettisessa anturisysteemissä on roottori ja sitä lukeva tunnistinelementti. Roottorin pyöriessä sen hampaat tai navat aiheuttavat anturin sensorelementissä magneettivuon muutoksen mitä käytetään pyörimisnopeuden mittaamiseen.

Jokainen sensorelementti on rakenneperiaatteeltaan erilainen: Hall – sensorelementti koostuu ohuesta suorakulmaisesta p-tyyppin puolijohdekappaleesta, AMR - sensorelementti koostuu lasi tai piialustasta ja ohutkalvovastuksesta kun taas GMR – sensorelementti koostuu ”spin valve” rakenteesta. Hall – sensorelementti on mittausherkkyydeltään pienin edellisistä ja GMR – sensorelementti suurin. AMR – sensorelementti on käytetyin. Jokainen sensorelementti tarvitsee oman esimagnetointimagneetin toimiakseen. AMR- ja GMR - antureiden sähkömagneettisten häiriöiden sieto-ominaisuuksia sekä mittaustarkkuutta parannetaan kytkemällä sensorelementtejä Wheatstone bridge kytkennällä yhteen.

Lisäksi työssä käytiin käytännön sovellusesimerkin kautta miten antureiden koteloinnilla ja sijoittamisella saadaan herkkä sensorelementti suojattua ympäristön aiheuttamilta rasitteilta ja mekaaniselta kulumiselta. Metallisella kotelolla saadaan hyvä ulkoisten sähkömagneettisten häiriöiden häiriösuojaus ja lisäksi se ehkäisee hyvin mekaanisia ja kemiallisia rasitteita kuten tärinää, kosteutta ja likaa. Koteloinnin hyvällä suunnittelulla saadaan säästettyä myös tilaa ja saadaan vietyä sensoria ja roottoria lähemmäs toisiaan jolloin mittaustarkkuus ja häiriönsieto myös paranevat.

LÄHTEET

- (Bosch, 2007) Robert Bosch GmbH, 2007. Autojen anturit. ensimmäinen suomenkielinen käännös maaliskuu 2009. s.4 57-67 120-123 ISBN 978-951-9155-24-1
- (Janosek, Ripka, 2008) Janosek M, Ripka P. 2008. Advances in magnetic sensors. IEEE Sensors conference Lecce. s.1-4
- (Kapsler, Sterling, 2007) Kapsler K. Sterling J. 2007. Integrated GMR based wheel speed sensor for automotive applications. IEEE Sensors conference Atlanta, GA. s.848-851
- (Kohden Co. Ltd 2011) Principle of the AMR sensor. Saatavilla:
http://www.hkd.co.jp/english/amr_tec_amr/
- (Le Khac Binh. et al. 2011) Le Khac Binh., Koci P. 2011. The effect of air gap, wheel speed and drive angle on the anti-lock braking system efficiency. IEEE Carpathian Control Conference (ICCC) in Velke Karlovice. s.243-248
- (NVE, 1998-2008) NVE Corporation 1998-2008. How GMR works. Nanotechnology Structure. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.5.2015]. Saatavilla:
<http://www.gmr-sensors.com/gmr-operation.htm>
- (Popovic, R.S. et al. 2002) Popovic R.S., Drljaca P.M., Schott C. 2002. Bridging the gap between AMR, GMR and Hall magnetic sensors. IEEE Microelectronics 23rd International conference. s.55-58

- (S. A. Hale, 1991) S. A. Hale. 1991. Noncontact rotary sensors for automotive use. IEEE Automotive Electronics, 1991, 8th international conference in London. s.203-207
- (Storr, 1999-2015) Storr Wayne. Basic electronics tutorials 1999-2015. The Hall Effect Sensor. Saatavilla <http://www.electronicstutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
- (United States Patent, aug, 2000) United States Patent. 2000. Compact, self contained, hall-effect vehicle speed sensor. Patentnumero: 6,111,401. [verkkodokumentti]. [viitattu 20.10.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US6111401.pdf>
- (United States Patent, 2009) United States Patent. 2009. Highly sensitive AMR bridge for gear tooth sensor. Patentnumero: US 7,592,803 B1. [vekkodokumentti]. [viitattu 27.10.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US7592803.pdf>
- (United States Patent, 2007) United States Patent. 2007. GMR sensor element and its use. Patentnumero: US 7,312,609 B2. [verkkodokumentti]. [viitattu 27.10.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US7312609.pdf>
- (United States Patent, 2014) United States Patent. 2014. Hall effect measuring device. Patentnumero: US 8,624,586 B2. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.11.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US8624586.pdf>

- (United States Patent, oct, 2000) United States Patent. 2000. Side looking hall-effect vehicle speed sensor with an alignment positioning system. Patentnumero: 6,133,72. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.11.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US6133729.pdf>
- (United States Patent, 2004) United States Patent. 2004. Magnetic gear tooth sensor with hall cell detector. Patentnumero: US 6,690,155 B2. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.11.2015]. Saatavilla <https://www.google.fi/patents/US6690155.pdf>