

Mikko Mutikainen

**HARJOITUSTYÖOHJEEN JA SÄHKÖKAAVIoidEN LAATIMINEN
AUTOTEKNIIKAN SÄHKÖJÄRJESTELMIEN OPETUKSEEN**

**HARJOITUSTYÖOHJEEN JA SÄHKÖKAAVIoidEN LAATIMINEN
AUTOTEKNIIKAN SÄHKÖJÄRJESTELMIEN OPETUKSEEN**

Mikko Mutikainen
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma, auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Mikko Mutikainen

Opinnäytetyön nimi: Harjoitustyöohjeen ja sähkökaavioiden laatiminen autotekniikan sähköjärjestelmien opetukseen

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistuslukuksi ja -vuosi: kevät 2022

Sivumäärä: 65 + 8 liitettä

Opinnäytetyössä luotiin harjoitustyöohje Oulun ammattikorkeakoulun Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojaksoa varten. Opinnäytetyön tilaajana oli Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan ja luonnonvara-alan yksikkö. Tilaajalla oli tarve uudelle sähköjärjestelmien harjoitustyölle, jossa käytettäisiin opetuskäyttöön hankittua testimoottoria. Lisäksi opinnäytetyössä luotiin sähkökaavio moottorin johtosarjasta ja harjoitustyöohjetta täydentävät mittauskohtaiset osasähkökaaviot.

Sähkökaavioiden luomiseksi selvitettiin moottorin johtosarjan johtimet, liittimet ja komponentit, joiden perusteella toteutettiin tarvittavat sähkökaaviot. Sähkökaavioiden toteutuksessa huomioitiin alalle yleisesti muodostunut sähkökaavioiden ulkoasu, sillä ajoneuvojen sähkökaavioita ei ole standardoitu. Sähkökaavioiden toteutuksessa keskityttiin sähkökaavioiden selkeään luettavuuteen, ja osasähkökaavioissa kiinnitettiin erityishuomiota tulostettavuuteen.

Tutkittavan suorasuuhkutteisen ottomoottorin johtosarjasta oli haaroitettu sähkölaitteiden ja antureiden johtimet mittauksia varten erilliseen tutkimustauluun, josta harjoitustyön jännitemittaukset suoritettaisiin. Haaroitetut kohteet sisälsivät esimerkiksi sytytys- ja polttoainejärjestelmän komponentteja, sähköisen kaasuläpän sekä asento-, paine- ja lämpötila-antureita. Lisäksi harjoitustyöhön sisällytettiin tilaajalta saadun palautteen perusteella pihtivirtamittarilla tutkittavissa olevia laitteita, kuten lataus- ja käynnistysjärjestelmät. Opinnäytetyössä selvitettiin harjoitustyössä tutkittavien komponenttien mahdollistamat mittaukset ja toiminta kirjallisuuslähteitä käyttäen. Harjoitustyöohjeen luomiseksi komponenttien toimintaa tarkasteltiin oskilloskoopilla. Harjoitustyöohjeeseen valikoituneet mittauskohteet määräytyivät oskilloskooppimittauksien ja tilaajalta saadun palautteen mukaan.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin testimoottorin sähköjärjestelmän dokumentoitu kokonaissähkökaavio ja harjoitustyöohje, joka tulotisiin ottamaan käyttöön Oulun ammattikorkeakoulun Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojaksolla. Harjoitustyö mahdollistaa antureiden toimintaan, sähkölaitteiden ohjaukseen ja oskilloskooppimittauksiin perehtymisen. Harjoitustyötä on mahdollista jatkokehittää haaroittamalla uusia johtimia johtosarjasta ja mahdollistamalla OBD-testilaitteen käyttö lambda-anturin toiminnan sekä OBD-testilaitteen käytön havainnollistamiseksi.

Asiasanat: autosähkötekniikka, kytkentäkaaviot, ottomoottorit, bensiinimoottorit

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering, Option of Vehicle and Transportation Engineering

Author: Mikko Mutikainen

Title of thesis: Exercise work and wiring diagrams for the education of automotive electronics

Supervisor: Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: spring 2022

Number of pages: 65 + 8 appendices

The main purpose of this thesis was to create an exercise work for the students of automotive engineering at the Oulu University of Applied Sciences. The course of Automotive Electronics had a need for the exercise work that would utilize a direct injected spark ignition test engine that the Oulu University of Applied Sciences has. Additionally, a wiring diagram to document the wiring harness of the engine and partial wiring diagrams to accompany the exercise work were to be created.

The test engine has a measurement plate to which the wires of multiple components had been split for measurement purposes. The components split to the measurement plate included for example the fuel, spark and electronic throttle systems as well as the temperature, pressure and position sensors. These devices and sensors with the addition of the starting and charging systems were used as a basis for the exercise work. The operating principle of the components was covered in theory based on literature research. Test measurements were done with an oscilloscope to find the applicable measurements and questions for the exercise work.

To create the main wiring diagram, the electrical equipment, connectors and wires of the wiring harness were examined. The main wiring diagram was drawn to be easily readable despite the high number of wires, while the partial wiring diagrams accompanying the exercise work were created to be highly condensed to help improve printability. Simplified symbols were used for the electrical equipment where possible, and an identification code was inserted to identify the devices within the wiring diagram.

As an end result were wiring diagrams and an exercise work that can be used in the education of automotive electronics at the Oulu University of Applied Sciences. The exercise work enables students to apply the theory learned during the course of Automotive Electronics in practice and to get accustomed to the use of an oscilloscope. The exercise work also enables students to learn about the sensors and control of different types of electrical equipment used in automotive applications.

Keywords: automotive electronics, wiring diagrams, spark ignition, direct injection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OPETUSMOOTTORI.....	7
3	SÄHKÖKAAVIO.....	9
3.1	Sähkökaavioiden formaatti	9
3.2	Sähkökaavioiden piirtäminen.....	10
4	HARJOITUSTYÖOHJE	12
4.1	Mittauskohteiden toiminta.....	12
4.1.1	Lämpötila-anturi	13
4.1.2	Imusarjan paineanturi	14
4.1.3	Akselien asentoanturit.....	16
4.1.4	Sähköinen kaasuläppä.....	20
4.1.5	Lambda-anturi.....	21
4.1.6	Käynnistysakku	25
4.1.7	Latausgeneraattori	26
4.1.8	Käynnistinmoottori	28
4.1.9	Sytytysjärjestelmä	28
4.1.10	Polttoainejärjestelmä.....	31
4.2	Oskilloskooppimittaukset.....	37
4.2.1	Lämpötila-anturit	38
4.2.2	Sähköinen kaasuläppä.....	40
4.2.3	Käynnistinmoottori	42
4.2.4	Latausgeneraattori	44
4.2.5	Imusarjan paineanturi	46
4.2.6	Akselien asentoanturit.....	47
4.2.7	Polttoainejärjestelmä.....	48
4.2.8	Sytytysjärjestelmä	56
4.3	Harjoitustyöohjeen sisältö.....	58
5	POHDINTA	59
	LÄHTEET.....	63
	LIITTEET	66

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tuotetaan harjoitustyöohje ja sähkökaavio Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön. Harjoitustyöohje on tarkoitettu käyttöön Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojaksolla. Opintojaksolla on tarve uudelle harjoitustyölle, joka käyttää tarkoitusta varten hankittua moottoria ja mahdollistaa opintojaksolla opetetun teorian havainnoinnin käytännössä.

Moottorille on aikaisemmin valmistettu siirrettävyyden ja testikäytön mahdollistava kehikko, johtosarja ja asennettu MoTeC-moottorinohjain. Toteutettava sähkökaavio on olennainen moottorin johtosarjan dokumentoimiseksi tulevia korjaus- ja muutostoimenpiteitä varten.

Toteutettavan harjoitustyön tavoitteena on tutustuttaa harjoitustyön suorittaja sähköjärjestelmiin ja niiden mittauksiin. Mitattavissa oleviin komponentteihin perehdytään kirjallisuuslähteitä käyttäen ja suorittamalla oskilloskooppimittauksia, joiden pohjalta valitaan harjoitustyön mittauskohteet. Uusi harjoitustyö on ajankohtainen opettaessaan nykyaikaista moottoria käyttäen erityyppisiä sähkölaitteita, antureita, sähköjärjestelmien ohjaustapoja ja oskilloskoopin käyttöä.

2 OPETUSMOOTTORI

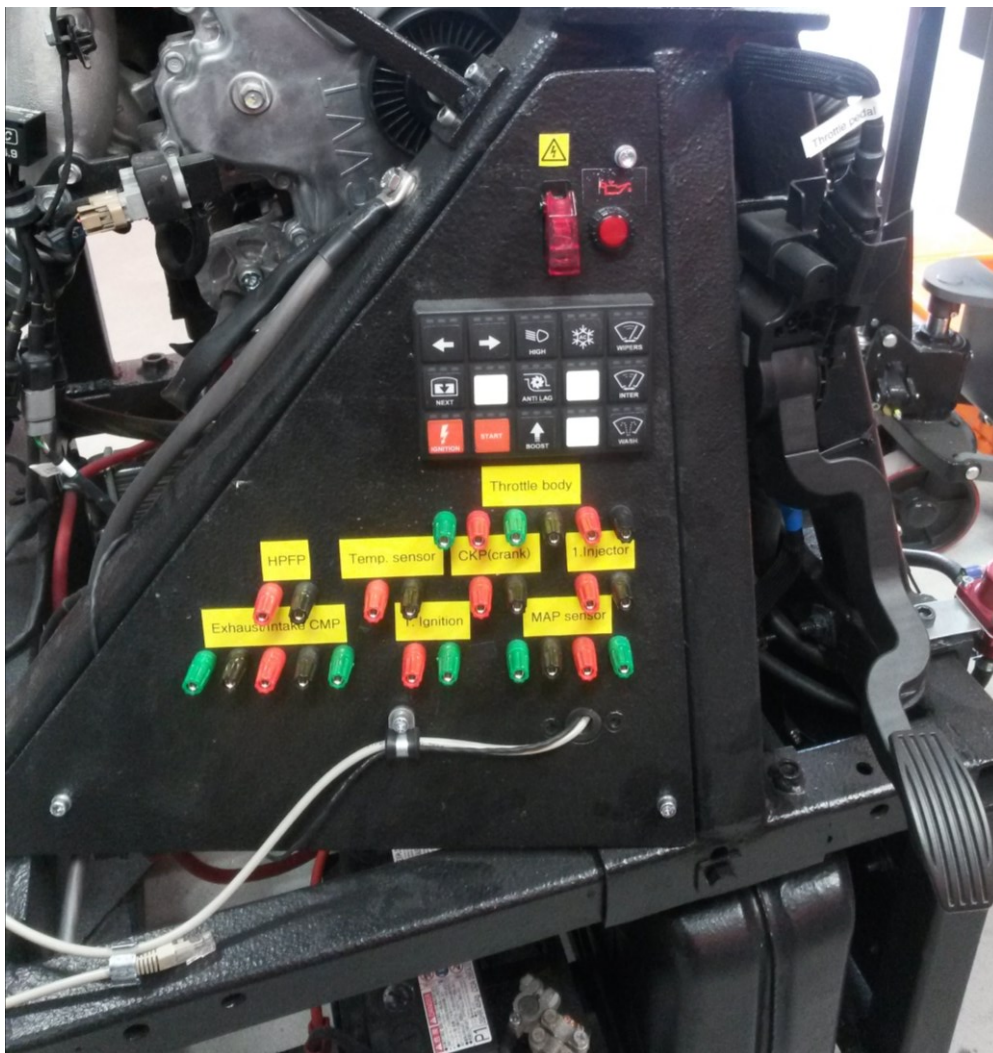
Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojakson harjoitustöiden mittauskohteena on Hyundai G4FJ -moottori. Moottori on 1,6-litrainen turboahdettu suorasuihkutteinen ottomoottori, jota on käytetty vuodesta 2011 lähtien useissa Kia- ja Hyundai-merkkisissä autoissa (1).

Moottoria varten on valmistettu kuvion 1 mukainen kehikko, johon moottori on kokonaisuudessaan kompaktisti sijoitettu. Kehikko mahdollistaa moottorin helpon siirrettävyyden ja koekäytön. Koekäyttöä varten moottorinohjaimeksi on asennettu MoTeC M142 ja sähköpääkeskukseksi MoTeC PDM30.



KUVIO 1. Hyundai G4FJ -moottori kehikossa

Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojaksolla käsiteltävää teoriaa käyttäen moottorista tutkitaan sen toimilaitteita ja antureita oskilloskoopilla. Mittauksia varten moottorin kehikkoon on sijoitettu kuviossa 2 esitetty tutkimustaulu, johon on sijoitettu liittimet mittausten helpottamiseksi. Liittimiin on haaroitettu tutkittavien komponenttien johtimet. Lisäksi tutkimustaulun yhteyteen on asennettu moottorin hallintaan tarvittavat kytkimet ja kaasupoljin moottorin kuormittamiseksi.



KUVIO 2. Opetusmoottorin tutkimustaulu

3 SÄHKÖKAAVIO

Autotekniikan sähköjärjestelmät -kurssilla käsitellään sähkökaavioita, ja sähkökaavioiden lukeminen pyrittiin sen vuoksi sisällyttämään toteutettavaan harjoitustyöhjeeseen. Sähkökaaviot ovat myös tarpeelliset moottoriin aiemmin toteutetun johtosarjan dokumentoimiseksi. Dokumentoinnista on apua johtosarjan mahdollisessa korjauksessa tai muokkauksessa.

3.1 Sähkökaavioiden formaatti

Sähkökaaviot ovat idealisoituja esityksiä symbolein esitetyistä sähkölaitteista ja niiden yhteyksistä toisiinsa. Sähkökaavio voi olla laajuudeltaan koko järjestelmän sisältävä kokonaissähkökaavio tai tiettyyn osa-alueeseen keskittyvä osasähkökaavio. Osasähkökaavio helpottaa tietyn laitteen tai järjestelmän osan tarkastelua. (2, s. 253; 3, s. 1405.)

Ajoneuvojen sähkökaavioita ei ole standardoitu, joten sähkökaavion formaatti voi vaihdella valmistajan ja luontitarkoituksen mukaan. Sähkökaavio voi keskittyä tarjoamaan nopean yleiskuvan järjestelmän liitoksista ja esittää vain välttämättömät asiat, jolloin se toimii yleensä apuna tarkemmalle dokumentaatiolle. Sähkökaavio voi olla myös yksityiskohtainen kuvaus järjestelmästä, jolloin voidaan identifioida tietyn osan funktio ja suorittaa osaan liittyviä korjaustoimenpiteitä. Tällaisessa sähkökaaviossa esitetään selvästi sähköjohtimet ja sähköpiirin toiminta. Sähkökaavio voi olla myös jälkimarkkinoille suunnattu ja keskittyä laitteiden lisäystä tai vaihtoa varten käytettäväksi dokumentaatioksi. (2, s. 253; 3, s. 1405–1410.)

Sähkökaavioissa johtimien värit merkitään yleensä kytkentäkaavioihin tunnuskirjaimin. Johtimien poikkipinta-ala voidaan myös merkitä kytkentäkaavioihin numeroin tai piirtäen erisuuruisia viivanleveyksiä käyttäen. Johtimien värien tunnistaminen on tarpeellista virtapiirin vikaa paikallistettaessa, kun johtimien poikkipinta-alatietoa tarvitaan johtosarjaa korjatessa. (2, s. 253; 4, s. 125.)

Sähkökaavioiden piirtomerkkejä voidaan soveltaa muiden alojen standardeista. Sähkökaavioiden piirtomerkit eivät yleensä huomioi oikeiden laitteiden kokoa tai muotoa. Piirtomerkin tulisi olla helpposti muistettava, ymmärrettävä ja yksinkertainen graafinen esitys. Piirrettävät laitteet esitetään tilassa, jossa laite on ilman ulkoista energiaa tai signaalia. Sähköjohtimien piirron helpottamiseksi

piirtomerkkejä voidaan kääntää 90° askelein tai peilata. Johtimien yhtymäkohdan voi esittää pisteellä korostettuna yhtymäkohdan erottamiseksi johtimien ylityskohdasta, jossa johtimet eivät yhdisty. (3, s. 1398–1399.)

3.2 Sähkökaavioiden piirtäminen

Työssä on toteutettu kokonaissähkökaavio johtosarjan dokumentoimiseksi ja osasähkökaaviot harjoitustyöohjeessa käsiteltävistä mittauskohteista. Osasähkökaavioiden tarkoitus on toimia harjoitustyöohjeen seurana, jonka vuoksi osasähkökaaviot sisältävät vain harjoitustyön tiettyyn mittaukseen välttämättömästi liittyvät komponentit. Osasähkökaavioihin on sijoitettu virtamittauspisteet harjoitustyössä tehtäviä virtamittauksia varten. Osoittamalla virtamittauspisteet sähkökaavioissa voidaan harjoituttaa sähkökaavioiden lukemista ja osoittaa mittauspiste, joka on sopivassa sijainnissa ja sama kaikille harjoitustyön suorittajille.

Sähkökaavioiden piirtämiseksi selvitettiin moottorin ja sen kehikon sisältämät laitteet, johtosarjassa olevat liittimet ja johtimien värit. Johtimien värien kirjaintunnusten osalta seurattiin standardia IEC-60757, jonka mukaiset kirjaintunnukset on esitetty taulukossa 1. Standardia IEC-60757 käytetään sähköasennusten dokumentaatiossa, sähkölaitteissa ja tuotteissa sekä sähkölaitteiden ja tuotteiden merkinnöissä. Väriyhdistelmät muodostetaan standardin mukaan yhdistämällä värien kirjaintunnukset, jolloin ylempänä taulukossa 1 oleva väri tulee ennen alempana olevaa. Väriyhdistelmien kirjaintunnukset kirjoitetaan yhteen ilman välimerkkejä. (5, s. 6–7.)

TAULUKKO 1. IEC-60757 -standardin mukaiset johtimien värit ja niiden kirjaintunnukset (5, s. 7)

Väri	Kirjaintunnus
Musta	BK
Ruskea	BN
Punainen	RD
Oranssi	OG
Vihreä	GN
Keltainen	YE
Sininen	BU
Violetti	VT
Harmaa	GY
Valkoinen	WH
Vaaleanpunainen	PK
Kulta	GD
Turkoosi	TQ
Hopea	SR

Johtimien piirrosväreinä on käytetty johtimen päävärin mukaista väriä sähkökaavioiden selkeyttämiseksi, mikä on tärkeää erityisesti kokonaissähkökaaviossa sen sisältämän suuren johdinmäärän ja johtimien ylityksien vuoksi. Sähkökaavioissa käytetyissä piirrosmerkeissä on mahdollisuuksien mukaan kuvattu laitteen tai anturin toimintaa yksinkertaistetusti. Piirrosmerkkeihin on sisällytetty lyhyt koodi laitteiden tunnistamista varten. Kokonaissähkökaavio on esitetty liitteessä 1.

Osasähkökaavioissa on keskitytty tiivistämään sähkökaavioita, jotta ne olisivat helpommin tulostettavissa ja luettavissa. Tiivistämisen vuoksi osasähkökaavioihin on sisällytetty vain kyseiseen mittauskohtaan välittömästi liittyvät komponentit, liitokset ja johtimet. Mittauskokonaisuuksien osasähkökaaviot on esitetty liitteissä 2–7.

4 HARJOITUSTYÖOHJE

Työohjetta voidaan kutsua monella eri nimellä tilanteen ja tarkoituksen mukaan. Työohjeen tarkoitus on kuitenkin selvittää, kuinka tietty tehtävä suoritetaan ilman tulkinnanvarallisuutta. Jokaisen suorittajan tulee kyetä ymmärtämään ja seuraamaan työohjetta, joten sen tulee olla helppolukuisen. Hyvä työohje on selkeä, ytimekäs, tarkka ja hyödyllinen. (6.)

Jotta työohjeen kohdat voidaan esittää yksinkertaisesti ja ymmärrettävästi, on kirjoittajan ymmärrettävä käsiteltävä asia perinpohjaisesti. Kirjoittajan on hyödyllistä myös asettua lukijan asemaan ja pyrkiä keksimään, mikä auttaisi työohjeen sisäistämisessä. Ennen käyttöönottoa työohjetta tulee testata, jotta voidaan varmistua työohjeen toimivuudesta. (6.)

Opetusmoottoria tutkitaan harjoitustyössä oskilloskooppia käyttäen. Jännitemittaukset suoritetaan tutkimustauluun haaroitetuista liittimistä ja virtamittaukset suoritetaan pihtivirtamittarilla, jonka antama signaali on jännitepohjainen. Oskilloskooppi muuntaa jännitesignaalin näytölle piirrettäväksi virta-arvoksi ennalta määritellyn signaali-virtasuhteen mukaan. Pihtivirtamittari voi esimerkiksi tuottaa 100 mV jännitesignaalin jokaista pihtivirtamittarin kautta kulkevan johtimen johtamaa ampeeria kohden. (7, s. 3.)

4.1 Mittauskohteiden toiminta

Moottorikehikon johtosarjasta tutkimustauluun haaroitetut anturit ja toimilaitteet on esitetty taulukossa 2. Lisäksi selvitettiin mahdollisuus tutkia lambda-anturin sekä lataus- ja käynnistysjärjestelmien toimintaa.

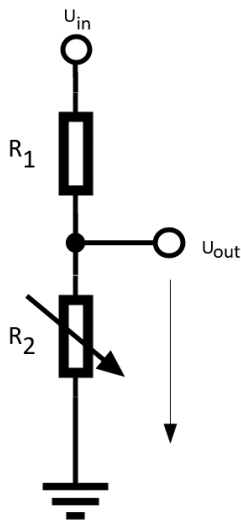
TAULUKKO 2. Tutkimustauluun haaroitetut anturit ja toimilaitteet sekä niiden haaroitetut johtimet

Haaroitettu laite	Haaroitetut johtimet
Moottorin lämpötila-anturi	Anturin positiivinen ja negatiivinen napa
Imusarjan paine- ja lämpötila-anturi	Anturin syöttöjännite, maadoitus, paineanturin signaali ja lämpötila-anturin signaali
Kampiakselin asentoanturi	Anturin positiivinen ja negatiivinen napa
Imunokka-akselin asentoanturi	Anturin syöttöjännite, maadoitus ja signaali
Pakonokka-akselin asentoanturi	Anturin syöttöjännite, maadoitus ja signaali
Sähköinen kaasuläppä	Kaasuläpän asentoanturin syöttöjännite, maadoitus, 1. ja 2. anturin signaalit, sähkömoottorin positiivinen ja negatiivinen napa
1. sytytyspuola	Syöttöjännite, sytytyksenohjaimen ohjaussignaali
1. suutin	Positiivinen ja negatiivinen napa
Polttoaineen korkeapainepumppu	Tuotonsäätösolenoidin positiivinen ja negatiivinen napa

4.1.1 Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturi on yleensä ajoneuvoissa NTC-tyyppinen termistori, jolla on negatiivinen lämpötilakerroin. Anturi voi olla myös PTC-tyyppinen termistori, jolla on positiivinen lämpötilakerroin. Korkeiden lämpötilojen mittauksessa käytetään termoparimittausta termistoreiden sijaan. Termistorit ovat yleisiä polttomoottorin lämpötila-alueella, sillä termistorilla voidaan mitata $-40\dots+850\text{ }^{\circ}\text{C}$:n alueella olevia lämpötiloja noin 200 K:n muutosalueella. Mitattavaa lämpötilan muutosaluetta rajoittaa termistorin resistanssin korkea lämpötilariippuvuus, minkä ansiosta termistori on tarkka yksinkertaisellakin mittauspiirillä. (8, s. 243; 3, s. 1540–1541.)

Termistorin resistanssi muutetaan mitattavaksi jännitteeksi muodostamalla jännitteenjakokytkentä käyttäen tunnettua ensiövastusta R_1 kuviossa 3 esitetyllä tavalla. Jännitteenjakokytkentään syötetään tunnettu jännite, joka on yleensä 5 V. Jännitteenjakokytkennästä mitataan termistorin R_2 yli jäävä jännite, joka muunnetaan moottorinohjaimessa digitaaliseksi arvoksi. Vaihtoehtoisesti voidaan termistoriin syöttää vakiona pysyvä sähkövirta ja mitata termistorin yli jäävä jännite. (8, s. 243; 3, s. 1541.)



KUVIO 3. Jännitejakokytkennän periaatekuva (mukailen 3, s. 1541)

Moottorinohjain laskee termistorin resistanssin mitatusta jännitteestä ja määrittää resistanssiarvoa käyttäen anturin ominaiskuvaajasta anturin lämpötilan. Jännitejakokytkennän toisioresistanssi voidaan laskea kaavalla 1. (3, s. 1541.)

$$R_2 = R_1 * \frac{1}{\frac{U_{in}}{U_{out}} - 1}$$

KAAVA 1

U_{in} = ylösvetovastuksen syöttöjännite (V)

U_{out} = mittausjännite (V)

R_1 = ylösvetovastuksen resistanssi (Ω)

R_2 = termistorin resistanssi (Ω)

4.1.2 Imusarjan paineanturi

Moottorinohjain tarvitsee tiedon moottoriin menevästä ilmamassasta. Ilmamassa on tärkein kuoritusparametri ottomoottorissa palamisprosessin hallitsemiseksi, sillä polttoaineen ja ilman massasuhteet ovat palamisprosessin päätekijät. Mittauksen tulee myös huomioida moottorin kaasunvaihdosta aiheutuva ilmavirtauksen pulssimaisuus. Moottorinohjain voi mitata ilmamassan ilmamassa-anturilla tai laskea ilmamassan käyttäen imusarjan paine- ja lämpötilatietoa sekä moottorin kierrosnopeustietoa ja siten määrittää tarvittavan polttoainemäärän. (9, s. 541–542; 3, s. 1526.)

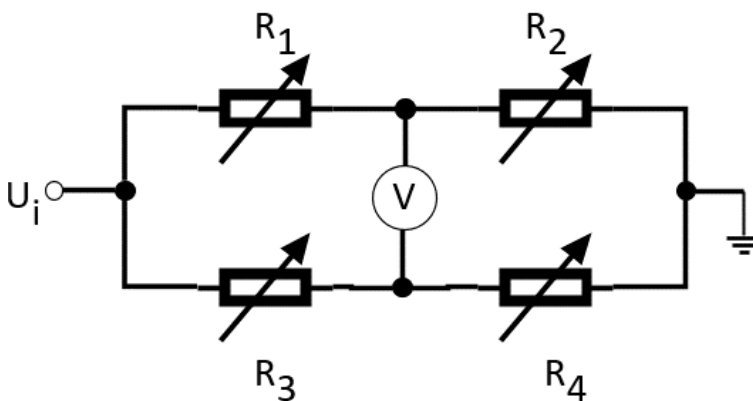
Yleisin imusarjan paineanturityyppi on kalvon pullistumiseen perustuva anturi, jossa mitattava paine ohjataan toiselle puolen joustavaa kalvoa. Vastakkaisella puolella on tyhjiö tai vertailupaine

riippuen anturin tyypistä. Kalvon halkaisija ja paksuus vaihtelevat halutun tarkkuuden ja painealueen mukaan. (3, s. 1536.)

Imusarjan paineanturin toiminta perustuu resistanssin tai kapasitanssin muuttumiseen. Resistiivisessä anturissa mitattava paine kohdistuu kalvoon, johon on liitetty pietsoresistoreita. Kalvoon kohdistuva paine aiheuttaa pietsoresistoreiden muodonmuutoksen, jolloin pietsoresistoreiden vastusarvo muuttuu suhteessa kalvoon vaikuttavaan paineeseen. (9, s. 540; 8, s. 252.)

Resistiivinen anturi sisältää Wheatstonen siltakytkennän, jolla vastusarvot muutetaan moottorinohjaimelle lähetettäväksi jännitesignaalksi. Wheatstonen siltakytkentä tehostaa mitattua jännitearvoa ja tuottaa siten yksittäistä anturielementtiä herkemmän anturin. (8, s. 252–253; 3, s. 1537.)

Kuviossa 4 esitetyssä Wheatstonen siltakytkennässä pietsoresistorit ovat sijoitettu pareittain tavalla, jossa vastukset R_1 ja R_4 puristuvat ja vastukset R_2 ja R_3 venyvät kalvon liikkeessä tiettyyn suuntaan paine-eron seurauksena. Kuviossa 4 esitetystä jännitemittauspisteestä mitattu jännite muuttuu vastusten resistanssimuutoksen mukaan ja on siten verrannollinen kalvoon kohdistuvaan paineeseen. Lisäksi anturi sisältää piirin, jolla mitattu jännite vahvistetaan, linearisoidaan ja lämpötilakompensoidaan. (8, s. 252–253; 3, s. 1537.)



KUVIO 4. Wheatstonen siltakytkentä (mukaillen 3, s. 1537)

Kapasiivisessa paineanturissa paine kohdistuu kondensaattorimaiseen painekennoon. Anturin liikkuvaan painekalvoon on sijoitettu kapasiivinen levy, jolloin painekalvon liikkeessä levyn välimatka toiseen paikallaan olevaan kapasiiviseen levyyn muuttuu. Muutos levypintojen välimatka muuttaa kapasitanssia. Myös kapasiivinen anturi sisältää integroidun piirin, joka muuntaa kapasitanssiarvon jännitesignaalksi. (9, s. 540.)

Ilmusarjan paine- ja lämpötilamittauksen sijasta ilmassa voitaisiin määrittää mittaamalla se ilmassa-anturilla, joita on useita erityyppisiä. Aikaisemmat ilmassa-anturit käyttävät sähkövirralla lämmitettyä elementtiä. Anturityypissä elementin ohitse kulkeva ilmavirta jäädyttää elementtiä, mikä muuttaa elementin resistanssia ja edelleen muuttaa anturielementin lävitse kulkevaa sähkövirtaa. Nykyaikaiset ilmassa-anturit käyttävät lämpötila-antureita, joilla ilman lämpötila mitataan kahdelta puolen lämmitysvastusta, jolloin lämpötila-antureiden lämpötilaero kuvaa ilman massavirtaa etummaisemman anturin jäähtyessä suhteessa takimmaiseen ilman massavirrasta riippuen. Ilmassa-anturit sisältävät myös erillisen moottoriin menevän ilman lämpötila-anturin, joka sijaitsee ennen lämmityselementtiä. Anturit tuottavat yleensä jännitesignaalin tai digitaalisen taajuuteen perustuvan signaalin. Signaali on verrannollinen anturin lävitse kulkevaan ilmassaan. (3, s. 1526–1529.)

4.1.3 Akselien asentoanturit

Asentoantureita käytetään sekä kampiakselilla että nokka-akselilla. Nokka-akselin pyörintänopeus on puolet kampiakselin pyörintänopeudesta, jolloin nokka-akselin asentoanturi kertoo moottorinohjaimelle sylinterin tahdin. Nokka-akselin asentotieto mahdollistaa oikean sytytyspuolan ja polttoainesuuttimen aktivoinnin, kun kampiakselin asentotieto mahdollistaa aktivoinnin oikean hetken. (3, s. 1521–1522.)

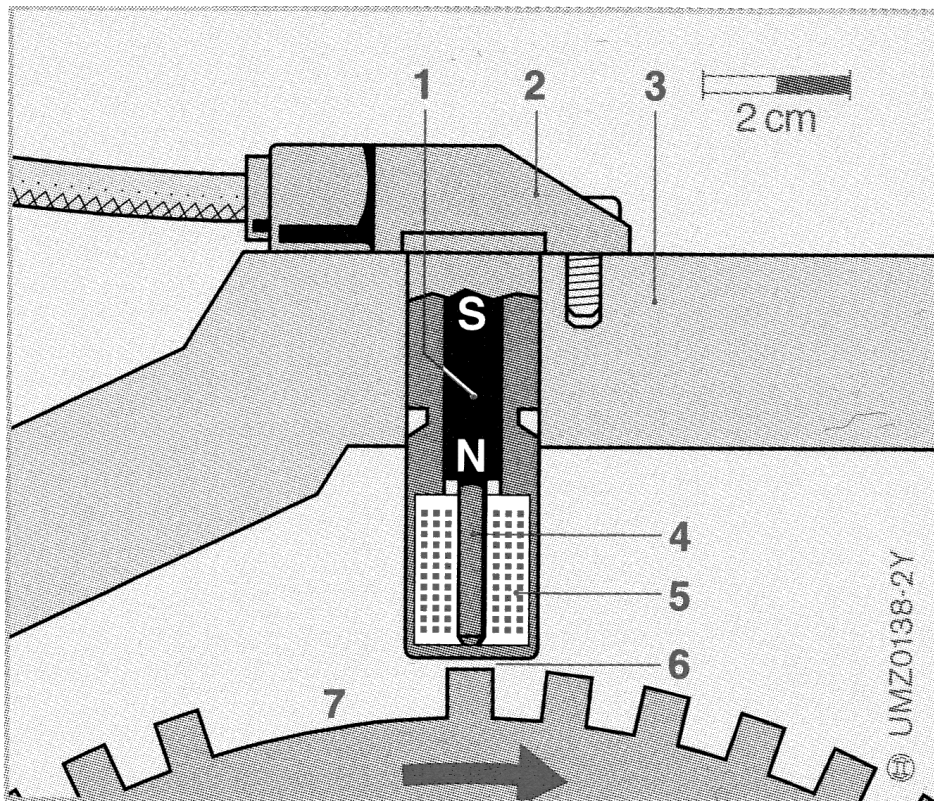
Kampiakselin asennontunnistus toteutetaan tyypillisesti järjestelmällä, joka koostuu kuvion 5 kaltaisesta hammastetusta roottorista ja asentoanturista. Roottori on tyypillisesti magneettisesti passiivinen. Roottorissa on kohta, jossa hammastuksesta puuttuu yksi tai useampi hammas, mistä moottorinohjain tunnistaa akselin sijaitsevan tietyssä kulmassa. (3, s. 1518–1521.)



KUVIO 5. Kampiakselilla käytettävä hammastettu roottori (10)

Asentoanturi voi olla induktiivinen anturi tai magnetostaattinen Hall-, AMR- tai GMR-anturi. Yleisimmin käytetään induktiivista tai Hall-ilmiöön perustuvaa anturia. Anturit sisältävät yleensä kestopagneetin, jolla luodaan magneettikenttä, johon pienen ilmavälin etäisyydellä pyörivä roottori vaikuttaa. (3, s. 1518–1519.)

Kuviossa 6 on esitetty induktiivisen anturin rakenne. Anturi sisältää kestopagneetin lisäksi rautasydämen ja sitä ympäröivän induktiokäämin. Kestopagneetti (kuvion 6 numero 1) sijaitsee vastapuolella roottoria (numero 7) ja luo roottoriin saakka ylettyvän magneettikentän sydämen (numero 4) ja käämin (numero 5) lävitse. (8, s. 244.)

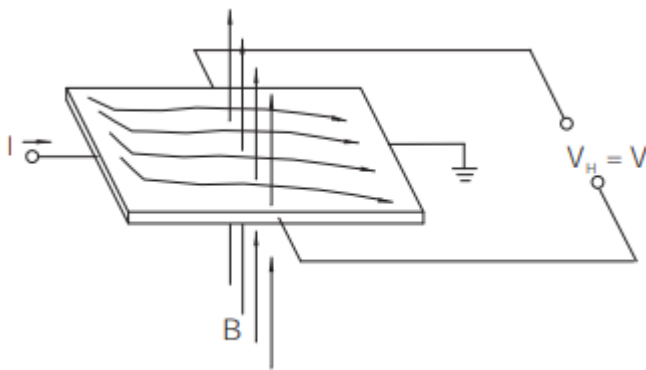


KUVIO 6. Induktiivisen anturin rakenne: 1) kestmagneetti, 2) anturin kotelo, 3) kiinnikelevy, 4) sydän, 5) käämi, 6) ilmarako ja 7) hammastettu roottori (8, s. 244)

Roottorin hammastus aiheuttaa roottorin ja anturin käämin välimatkan vaihtelun. Roottorin hampaan kohdalla käämin lävitse vaikuttava magneettivuon kasvaa magneettivuon keskittyessä hampaan vaikutuksesta, kun vastaavasti roottorin hampaiden välissä oleva suurempi ilmarako aiheuttaa käämiin vaikuttavan magneettivuon pienenemisen. Tämä magneettivuon muutos roottorin pyöriessä indusoi sinimuotoisen jännitteen anturin käämiin Faradayn induktiolain mukaisesti. Indusoitu jännite on riittävän suuri, jotta induktiivinen anturi ei vaadi sisällytettyä elektroniikkaa signaalin vahvistamiseksi tai muokkaamiseksi. Induktiivisen anturin signaalin amplitudi on verrannollinen magneettivuon muutosnopeuteen ja siten roottorin kierrosnopeuteen, minkä vuoksi anturi ei sovellu alhaisten kierrosnopeuksien mittaamiseen. (8, s. 244; 11, s. 262; 3, s. 1518.)

Hall-, AMR- ja GMR-anturit toimivat magnetostaattisen periaatteen mukaisesti eli niiden amplitudi ei ole riippuvainen magneettivuon muutosnopeudesta. Anturit soveltuvat tämän vuoksi hyvin myös alhaisiin kierrosnopeuksiin. Yleisimmin käytössä oleva anturityyppi magnetostaattisista antureista on Hall-anturi, joka perustuu Hall-ilmiöön. (3, s. 1518–1519.)

Hall-anturissa kestopagneetin edessä on kuvion 7 mukainen levymäinen johdin, jonka läpi johdetaan vakiona pysyvä virta. Johdin on valmistettu yleensä puolijohteesta, koska Hall-jännite on huomattavasti korkeampi puolijohteissa kuin metalleissa. Hall-elementin lävistävä magneettivuo muuttuu roottorin hampaan vaikutuksesta. Magneettivuo muuttaa varauksenkuljettajien kulkusuuntaa Lorentzin voiman vuoksi. Virran kulkusuunnan muutos voidaan havaita mittaamalla jännite kohtisuoraan virran syöttösuuntaan nähden. Mitattava jännite on verrannollinen magneettivuon tiheyden sähkövarauksen sähköisen voiman tasapainottaessa magneettisen voiman, jolloin Hall-jännite vastaa hammastetun roottorin hampaan progressiota. (12, s. 127–129; 11, s. 240; 3, s. 1518.)



KUVIO 7. Hall-elementin periaate (13, s. 4)

Hall-anturi sisältää elektroniikkapiirin, joka muokkaa ja vahvistaa mitattua Hall-jännitettä moottorinohjaimelle lähetettäväksi signaaliksi. Digitaalinen anturi sisältää lisäksi Schmitt-liipaisimen, jolla signaali muutetaan digitaaliseksi. Schmitt-liipaisin muuntaa sisääntulevan analogisen aaltomuodon signaaliksi, jolla on vain kaksi mahdollista arvoa. Schmitt-liipaisin sisältää hystereesiä, mikä tarkoittaa lähtösignaalin tilanmuutoksen tapahtuvan eri suuntaan erisuuruuisella tulosignaalin arvolla, jolloin vältetään häiriösignaaleilta rajatilanteissa. (8, s. 246; 14, s. 139–141; 11, s. 240–241.)

AMR- ja GMR-anturit eli magneetoresistiiviset anturit ovat harvinaisempia kierrosnopeuden mittaamisessa magneetoresistiivisen ilmiön lämpötilaherkkyden vuoksi. Magneetoresistiivisen anturin toiminta perustuu resistanssin muutokseen anturin lävistävän magneettikentän suunnan mukaan, minkä vuoksi magneetoresistiivisiä elementtejä käytetään yleensä kulma-anturina esimerkiksi ajoneuvojen ohjausakseleissa. (8, s. 245; 11, s. 248; 3, s. 1514–1517.)

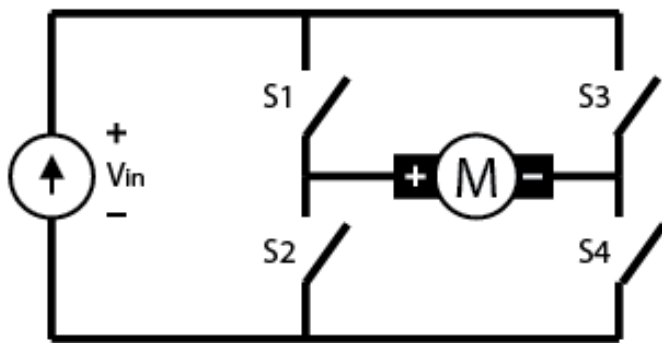
4.1.4 Sähköinen kaasuläppä

Ottomootorin vääntömomenttia säädetään rajoittamalla sylinteritäytöstä. Yleensä säätö toteutetaan kaasuläppällä, joka voi olla mekaanisesti liitetty kaasupolkimeen tai moottorinohjauksen sähköisesti ohjaama. Sähköinen kaasuläppä voidaan säätää tarkasti haluttuun asentoon riippumatta kaasupolkimen asennosta. (8, s. 40; 3, s. 629.)

Sähköinen kaasuläppä mahdollistaa useiden eri toimintojen tuottamisen verrattuna mekaaniseen kaasuläppään. Sähköinen kaasuläppä voidaan esimerkiksi liittää osaksi vakionopeudensäädintä ja luistonestojärjestelmää. Sähköisellä kaasuläppällä voidaan myös toteuttaa erilaisia ajotiloja. Kaasuläppän ohjaus voi esimerkiksi painottaa urheilullista moottorin toimintaa, rajoittaa moottorin tehoa tai pyrkiä säästämään polttoainetta. (9, s. 547–548; 15, s. 98.)

Tyypillinen sähköinen kaasuläppä sisältää kaksi kulma-anturia, tasavirtamoottorin, vaihteiston, palautusjousen ja läppäventtiilin. Tasavirtamoottori muuttaa läppäventtiilin kulmaa vaihteiston välityksellä. Läppäventtiilin akseliin on sijoitettu kaksi kulma-anturia, jotka palauttavat erisuuruisen signaalin samalla akselin kulmalla. (8, s. 41, 43; 15, s. 99–100.)

Moottorinohjaimessa on kuvion 8 kaltainen H-silta, joka mahdollistaa sähkömoottorin säätämisen kumpaankin suuntaan. H-sillan kytkimet S1 ja S4 tai S2 ja S3 aktivoituvat pareittain. Virrankulutuksen ja virtapiikkien alentamiseksi moottorinohjain ohjaa H-siltaa pulssinleveysmodulaatiolla. Pulssinleveysmodulaatio on digitaalinen pulssi, jonka päälläoloajan suhdetta jaksonaikaan voidaan muuttaa. Pulssinleveysmodulaatio katkoo nopeasti moottorin jännitettä, jolloin moottorin saamaa tehoa voidaan säätää muuttamalla pulssinleveysmodulaation päälläoloajan suhdetta. Pulssinleveysmodulaatiota käytetään yleisesti sähkömoottorien ohjaamiseen. (14, s. 209–211; 15, s. 99.)



KUVIO 8. H-sillan periaate (16)

Kaasuläppään on integroitu kaasuläpän asentoa mittaava anturi, jolla varmistetaan kaasuläpän oikea asento. Sähköinen kaasuläppä luokitellaan turvallisuusjärjestelmäksi, minkä vuoksi asentoantureita on kaksi mahdollisen vikaantumisen havaitsemiseksi. Asentoanturien signaalit ovat erillisiä, jotta yhden anturin vikaantuessa toinen edelleen tuottaa oikean arvon ja antureiden signaaliväylien välillä tapahtunut oikosulku havaittaisiin. (8, s. 43; 11, s. 15; 15, s. 99; 3, s. 629–630.)

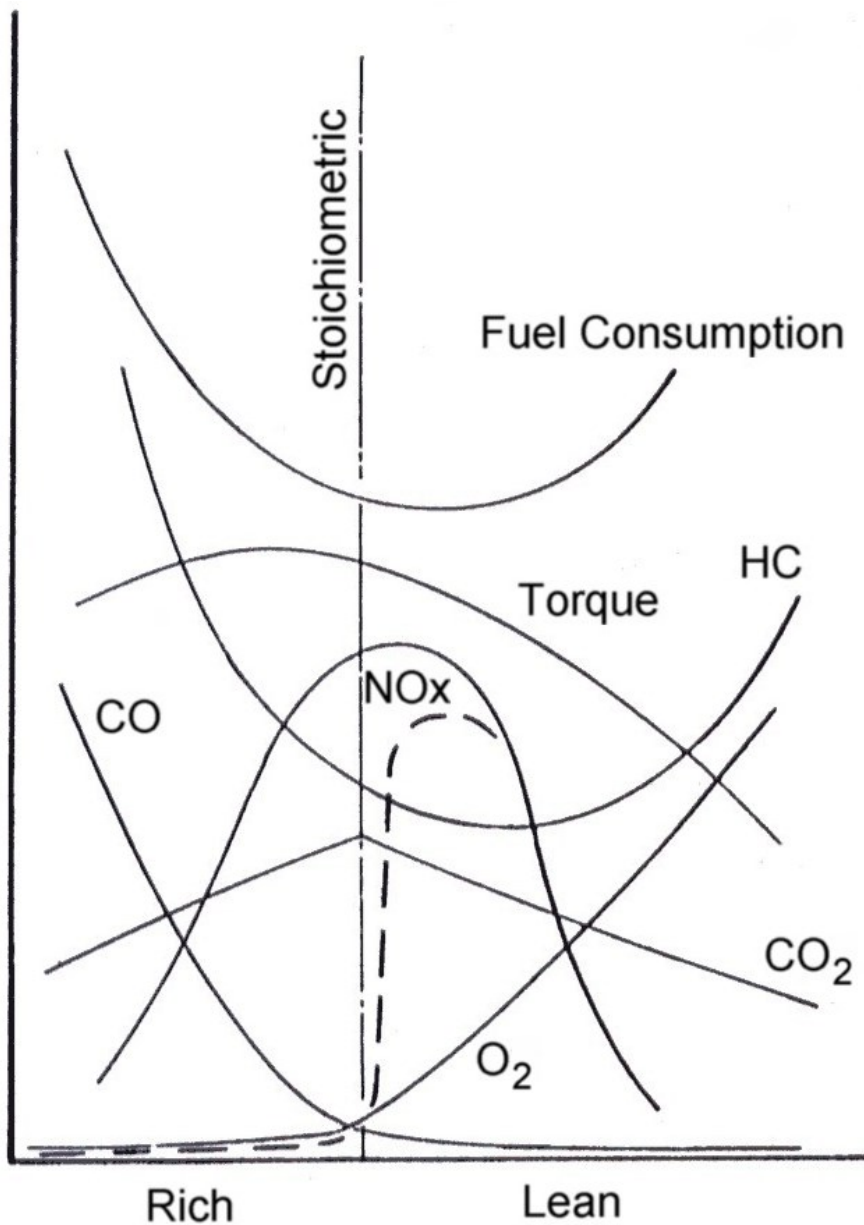
Kaasuläpän asentoanturi voi olla tyypiltään potentiometri tai magnetismiin perustuva anturi. Potentiometrin toiminta perustuu liuskaan resistiivistä materiaalia, jota pitkin akselin mukana liikkuva johdin liikkuu, mikä muuttaa anturin resistanssia. Potentiometrin sijaan yleisesti käytetään magnetostaattisia antureita, jolloin vältytään mekaanisen hankauksen aiheuttamalta kulumiselta. Yleensä anturi on tyypiltään analoginen Hall-anturi. (9, s. 547; 15, s. 99–100.)

Hall-anturiin perustuvia toteutuksia on useita erilaisia. Useimmiten akseliin on liitetty kestopagneetti, jonka kiertyminen muuttaa magneettikentän suuntaa, jolloin kohtisuorassa Hall-elementtiin vaikuttava magneettivuoto muuttuu. Hall-elementin tuottama Hall-jännite on tällöin verrannollinen akselin kulmaan. Saatu Hall-jännite vahvistetaan jännitesignaaliksi. (11, s. 243–244; 3, s. 1511–1513.)

4.1.5 Lambda-anturi

Opetusmoottorissa on laajakaistainen lambda-anturi, jonka nimi tulee ilmakertoimen merkistä λ . Ilmakerroin ilmaisee senhetkisen ilmamäärän suhteessa teoreettiseen ilmamäärään, joka vaadittaisiin polttoaineen täydelliseen palamiseen. Lambda-anturin toiminta perustuu pakokaasujen jään-

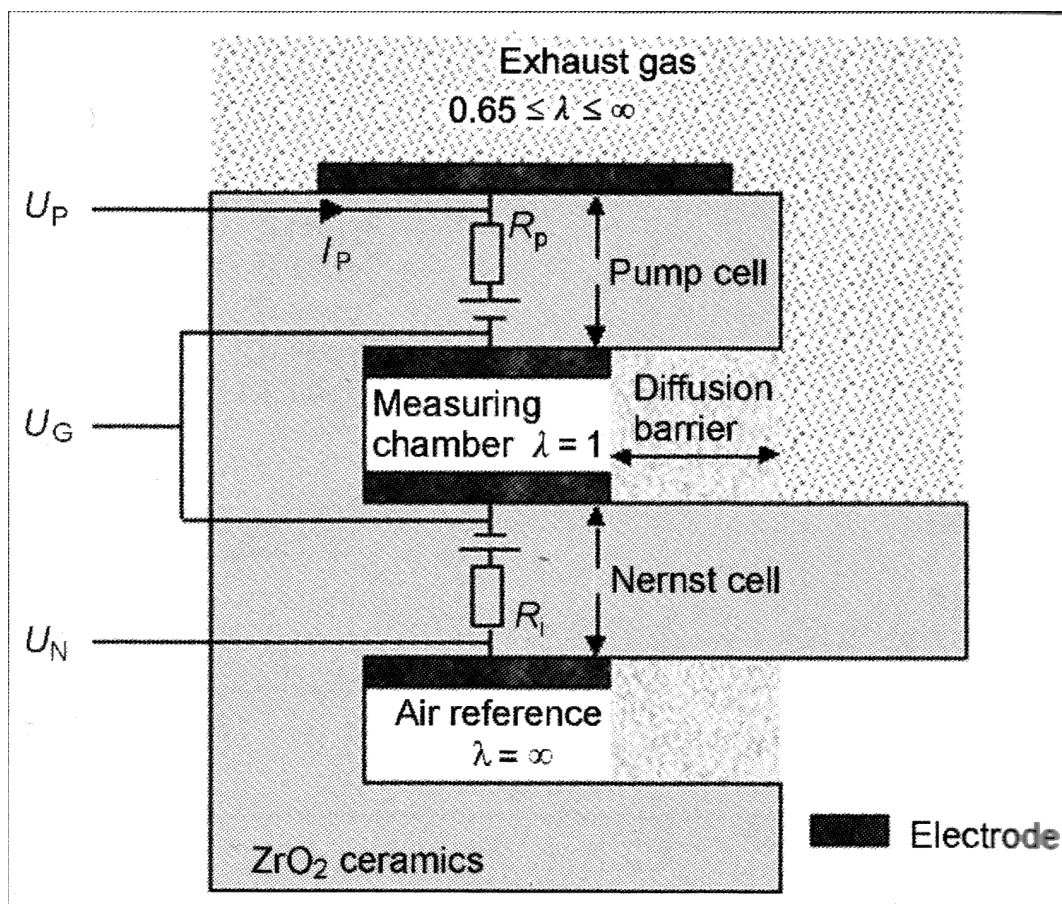
nöshapen tunnistamiseen. Anturi sijoitetaan pakoputkeen, jossa anturi altistuu kaikkien sylintereiden pakokaasuille. Polttomoottorin palotapahtuma ei ole täydellinen, minkä vuoksi pakokaasuissa on jäännöshapetta ja muita sivutuotteita. Jäännöshappi on palamatonta happea, jonka määrä vaihtelee seossuhteen mukaan kuviossa 9 esitetyllä tavalla. Kuviossa 9 oikealla stoikiometristä seosta esittävästä pystyviivasta on laihan seoksen alue, jossa jäännöshapen määrä nousee selvästi. Vasemmalla stoikiometristä seosta esittävästä pystyviivasta on rikkaan seoksen alue, jossa jäännöshapen määrä putoaa lähes olemattomiin. (9, s. 538, 574–575; 8, s. 260; 3, s. 163, 1546.)



KUVIO 9. Ottomoottorin seossuhteen vaikutus päästökomponentteihin (17)

Kapeakaistainen lambda-anturi toimii vain noin ilmakertoimella 1 eli stoikiometrisellä alueella, kun laajakaistaisen lambda-anturin toiminta-alue on ilmakertoimesta 0,6 puhtaaseen ilmaan. Lambda-anturista saatu signaali on verrannollinen ilma-polttoaineseossuhteeseen, jolloin signaalin avulla voidaan säätää polttomoottorin ilma-polttoaineseosta haluttuun suuntaan. Katalysaattorin jälkeen asennetulla lambda-anturilla voidaan puolestaan tarkkailla katalysaattorin toimintaa. (9, s. 538; 8, s. 256, 260; 3, s. 1546.)

Laajakaistainen lambda-anturi koostuu zirkonium-dioksidikeraamisesta elementistä, joka sisältää kuvion 10 mukaisesti sijoitetun Nernst-mittauskennon ja pumppauskennon. Mittaus- ja pumppauskenno on päällystetty kummaltakin puoleltaan huokoisella platinaelektrodilla. Kuviossa 10 on esitetty kennojen väliin jäävä mittausrako, joka on yhteydessä mitattavaan pakokaasuun huokoisen diffuusioesteen kautta. Diffuusioeste rajoittaa happimolekyylien virtaamista mittausrakoon tai siitä pois. (8, s. 260; 3, s. 163, 1546.)

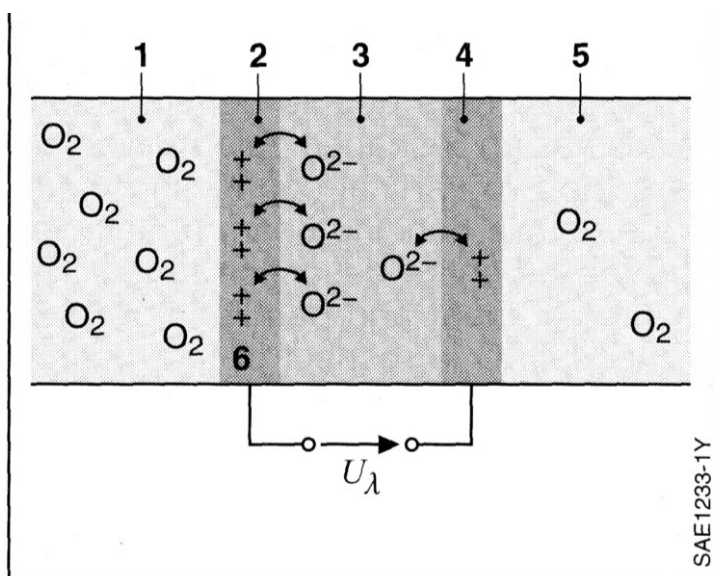


KUVIO 10. Laajakaistaisen lambda-anturin rakenne (9, s. 538)

Kennojen toiminta perustuu korkeassa lämpötilassa happi-ioneita johtavaan keraamiin. Zirkoniumdioksidikeraaminen elementti johtaa happi-ioneita, mikäli elementin lämpötila on vähintään 350 °C. Riittävän nopea toiminta saavutetaan noin 600 °C:n lämpötilassa. (9, s. 538; 8, s. 256; 3, s. 163, 1546.)

Nernst-mittauskenno on yhdistetty ulkopuoliseen vertailuilmään ja toinen puoli mittausrakoon. Nernst-mittauskenno luo jännitteen, joka ilmaisee mittausraossa olevan kaasun happipitoisuuden suhteessa vertailuilmään. Lambda-anturin ohjauselektronikka säättää pumppauskennoa saavuttaakseen stoikiometristä seosta kuvaavan Nernst-mittauskenno jännitteen. (8, s. 260–261; 3, s. 1546–1551.)

Nernst-mittauskenno luoma jännite pohjautuu sähkökemialliseen prosessiin, jossa zirkoniumdioksidikeraami toimii elektrolyytinä kuvion 11 mukaisesti. Happi-ioneiden liike elektrolyytissä on riippuvainen elektrodipintojen (kuvion 11 numerot 2 ja 4) hapen osapaine-erosta. Alhaisella hapen osapaineella happi-ioneita irtoaa enemmän kuin yhdistyy. Irtoavat happi-ionit korvautuvat elektrolyytissä (numero 3) etenevillä happi-ioneilla. Elektrodipinnoilla vallitsevan erisuuruisen hapen osapaineen aiheuttaman erisuuruisen varaustilan vaikutuksesta ilmenevä sähkökenttä vastustaa elektrolyytissä eteneviä happi-ioneita. Tasapainotilanne kehittyy Nernst-jännitteeksi kutsutulla tasolla. (3, s. 158, 163, 1546.)



KUVIO 11. Nernst-kenno periaate: 1) vertailuilmä, 2) anodi, 3) kiinteä elektrolyytti, 4) katodi, 5) pakokaasu ja 6) anodin jäännösvaraus (3, s. 1546)

Pumppauskenno siirtää happi-ioneita keraaminsa läpi sähkökemiallisesti pumppaamiseksi kutsutussa prosessissa mittausrakoon tai siitä pois. Pumppauskenno saa tarvittavan hapen pakokaasujen vedestä tai hiilidioksidista pelkistämällä sen pakokaasujen puoleisella elektrodilla. Lambdanohjain syöttää pumppauskennoon jännitteen, jolla pumppauskennon toimintaa ohjataan. Laihalla seoksella pumppauskenno pumppaa happea pois mittausraosta ja rikkaalla seoksella pumppauskenno pumppaa happea mittausrakoon, jotta saavutettaisiin stoikiometrisen seoksen Nernst-mittauskennon jännite. Stoikiometrisellä seoksella pumppausvirtaa ei ole. Toteutuneen sähkövirran suunta ja voimakkuus mittaamalla voidaan selvittää pakokaasujen ilmakerroin. (8, s. 260–261; 18, s. 442–443; 3, s. 1546–1551.)

Lambda-anturi vaatii ohjauselektroniikkaa luodakseen signaalin ja säätääkseen lambda-anturin lämpötilaa. Anturiin integroitu lämmitin lämmittää anturin nopeasti operointilämpötilaan, joka on alueella 650...900 °C. Vain operointilämpötilassa anturi voi tuottaa käyttökelpoisen signaalin, sillä happi-ionit eivät kulkeudu keraamissa matalissa lämpötiloissa. Lämmitys myös vähentää pakokaasujen lämpötilan vaikutusta anturisignaaliin, sillä zirkoniumdioksidin happi-ionijohtavuus on riippuvainen lämpötilasta. Lämpötilan on oltava mahdollisimman vakio, minkä vuoksi lämpötilaa säädetään mittaamalla Nernst-mittauskennon lämpötilariippuvainen vastusarvo ja säätämällä anturin lämmitysvastusta pulssinleveysmodulaatiolla. Ohjauselektroniikka myös tuottaa pumppauskennon virran mukaisen signaalin moottorinohjaimelle yleensä CAN-väyläviestinä tai analogisena ulostulojännitteenä, jonka moottorinohjain mittaa. (9, s. 538; 8, s. 261; 3, s. 1551.)

4.1.6 Käynnistysakku

Polttomoottorin käynnistämiseen tarvittava energia säilötään akkuun. Akku toimii lisäksi latausgeneraattorin apuna hetkellisissä sähkölaitteiden energiatarpeissa ja generaattorin tuottaman energian tasoittajana. Akkukehityksestä huolimatta yleisimmät käynnistysakut ovat lyijyakkuja sen halvan hinnan vuoksi. Lyijyakku edelleen riittää suorittamaan käynnistysakun tehtävän, vaikka lyijyakulla onkin suhteellisen alhainen kestävyys ja suuri massa. Lyijyakun kennot koostuvat lyijy- ja lyijydioksidielektrodeista sekä laimennetusta rikkihaposta, joka toimii elektrolyyttinesteenä. Käynnistysakussa on tyypillisesti kuusi sarjaankytkettyä kennoa, jolloin saavutetaan 12 V:n nimellisjännite. (2, s. 281; 11, s. 400–401, 408; 19, s. 183.)

Käynnistysakut luokitellaan tyypillisesti fyysisen koon, napaliitinten, nimellisjännitteen, kapasiteetin ja käynnistysvirran mukaan. Käynnistysakun koko määräytyy polttomootorin tarvitseman käynnistystehon mukaan. Akun sähkötehon on oltava riittävän suuri käynnistämään kylmän moottorin riittävän suureen nopeuteen jännitteen laskematta alle käymiseen tarvittavien komponenttien vähimmäisjännitteen. Lämpötilan laskiessa käynnistystehon tarve kasvaa ja akun suorituskyky heikkenee, joten kylmäkäynnistys on kriittisin tilanne akulle. (2, s. 281–282; 3, s. 1315.)

Kun akkua puretaan tietyllä virralla, akun napajännite alenee. Napajännitteen aleneminen aiheutuu akun sisäisestä resistanssista ja useista muista pienemmistä tekijöistä. Kennojen kautta kulkevan sähkövirran kasvaessa sisäisen resistanssin yli jäävä jännite kasvaa. Sisäinen resistanssi koostuu elektrodien ja elektrolyytin välisestä resistanssista, elektrodien resistanssista ja elektrolyytin resistanssista. Kennon elektrodimäärän kasvaessa kennon sisäinen resistanssi alenee. Vastaavasti resistanssi kasvaa akun varaustilan alentuessa ja kylmissä lämpötiloissa elektrolyytinesteeseen viskositeetin kasvaessa, jolloin myös kemiallisen prosessin toiminta heikkenee. (11, s. 419–420.)

Akun purkuvirta vaikuttaa merkittävästi akusta saatavaan kapasiteettiin. Alhainen akun purkuvirta mahdollistaa syvälle elektrodiin ja elektrolyyttiin ulottuvan sähkökemiallisen prosessin. Korkealla purkuvirralla sähkökemiallinen prosessi tapahtuu sen sijaan elektrodien pinnalla, mikä alentaa kennon toiminnallista pinta-alaa ja siten akusta saatavaa kapasiteettia. (11, s. 420.)

Kennolla on tietty latausjännite, jonka yläpuolella elektrolyytinesteestä muodostuu kaasuja. Yleisenä lyijyakun rajana pidetään 2,4–2,45 V:n kennojännitettä eli kuuden sarjaankytketyn kennon akussa 14,4–14,7 V:n napajännitettä riippuen lämpötilasta. Tämän vuoksi latausgeneraattorin jännitteensäätimen tulisi säätää latausjännitettä lämpötilan mukaan. Lämpötilan kohotessa latausjännitettä on alennettava elektrolyytinesteeseen haihtumisen ja kennon korroosion rajoittamiseksi. (11, s. 419–420.)

4.1.7 Latausgeneraattori

Polttomootoriajoneuvojen käytön aikana tarvittavan sähköenergian tuottaa latausgeneraattori, joka muuntaa polttomootorin tuottamaa liike-energiaa sähköenergiaksi. Latausgeneraattori myös

lataa käynnistysakkua sähkölaitteiden käyttämän energian tuottamisen lisäksi, minkä vuoksi generaattorin on tuotettava riittävän suuri sähköteho. Latausjärjestelmä koostuu kolmivaiheisesta vaihtovirtageneraattorista, tasasuuntaajasta ja jännitteensäätimestä. (4, s. 343; 3, s. 1354.)

Generaattorissa on pyörivän magneettikentän aikaansaava akseliin kiinnitetty pyörivä roottori, joka indusoi paikallaan sijaitsevaan staattorikäämiin jännitteen magneettikentän vaihtelun vuoksi. Indusoitu jännite kasvaa pyörintänopeuden kasvaessa ja käämin läpi vaikuttavan magneettivuon kasvaessa. Roottorin magneettikenttä tuotetaan sähkömagneetilla, jonka läpi magnetointivirta kulkee. Roottorin magneetin käämityksen kierroslukumäärä ja magnetointivirran suuruus määräävät magneettikentän voimakkuuden. Säättämällä magnetointivirtaa voidaan täten säätää magneettikentän voimakkuutta ja siten indusoitua jännitettä. Magnetointia kutsutaan ulkoiseksi, kun magnetointivirta tulee generaattorin ulkopuolelta ja sisäiseksi, kun magnetointivirta tulee generaattorista. (3, s.1354–1355.)

Generaattorin indusoima vaihtovirta täytyy tasasuunnata. Jokaisessa kolmivaihegeneraattorin vaiheessa on tämän vuoksi kaksi diodia. Yksi diodi tasasuuntaa positiivisen puoliaallon ja toinen negatiivisen. Tällaista tasasuuntausta kutsutaan kokoaaltoasuuntaukseksi. Tasasuuntausdiodit estävät myös generaattoria purkamasta akkua sen staattorikäämityksen läpi generaattorin ollessa pysähdyksissä. Generaattorin tuottama sähkövirta on sykkivää tasasuunnatun vaihtovirran vuoksi. (3, s. 1356–1357.)

Generaattorin tuottama jännite on riippuvainen generaattorin pyörintänopeudesta ja sähkölaitteiden kuormituksesta. Jännitteen pitämiseksi halutulla tasolla vaaditaan jännitteensäädin, joka pitää jännitteen vakiona pyörintänopeuden tai kuormituksen muuttuessa. Jännitteensäädin säätää roottorin magneettikentän voimakkuutta saavuttaakseen tavoitellun latausjännitteen. Generaattorin jännitteen ollessa alle tavoitellun tason jännitteensäädin johtaa magnetointivirran roottorille. Jännitteen ylittäessä tavoitellun tason jännitteensäädin katkaisee magnetointivirran, jolloin roottorin magnetointi heikkenee, mikä alentaa generaattorin tuottamaa jännitettä. Latausjännitteen tippuessa alle tavoitetason jännitteensäädin magnetoi roottorin taas uudelleen kasvattaakseen generaattorin tuottamaa jännitettä. Roottorikäämityksen itseinduktion vuoksi roottorin rinnalle on kytketty diodi, joka estää jännitteensäätimen kytketymisestä aiheutuvan jännitepiikin ilmenemisen. (3, s. 1359.)

4.1.8 Käynnistinmoottori

Käynnistinmoottori koostuu tasavirtamoottorista, mahdollisesta vaihteistosta, solenoidista ja hammasvälityksestä. Käynnistinmoottorin on tuotettava riittävän suuri vääntömomentti polttomoottorin kitkan, massainertian, kaasunvaihdon ja puristuksen aiheuttamien vastuksien ylittämiseksi sekä saavutettava riittävän suuri pyörintänopeus polttomoottorin käynnistämiseksi. Vaadittava käynnistysteho on suurimmillaan kylmäkäynnistyksessä polttomoottorin vaatiman korkeamman käynnistysmomentin ja -nopeuden vuoksi, jolloin myös käynnistysakun sisäinen resistanssi kasvaa. Käynnistinmoottori on polttomoottoriajoneuvoissa suurin akun kuormittaja. (11, s. 401; 3, s. 1368–1369.)

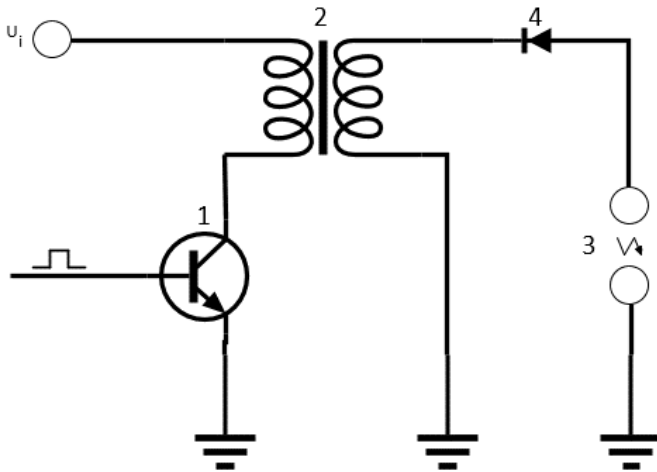
Käynnistinmoottorin solenoidi kytkee sähkömoottorin virtapiirin ja siirtää käynnistinmoottorin hammaspyörän polttomoottorin hammaskehälle. Solenoidissa on käämi, jossa johtuva sähkövirta luo magneettikentän, joka liikuttaa käämin sydäntä magneettisella voimalla. Käämin sydän on liitetty haarukkaan, joka siirtää käynnistinmoottorin hammaspyörää ja sulkee käynnistinmoottoria käyttävän koskettimen. (3, s. 1371–1372.)

Käynnistinmoottorin solenoidin käämi on jaettu lämmönhallinnan vuoksi veto- ja pitokäämiin, jotka ovat kytketty rinnan. Vetokäämi on maadoitettu moottorin lävitse, kun pitokäämi on maadoitettu suoraan maahan. Kytkennän ansiosta käynnistinmoottorin virtapiirin sulkeutuessa vetokäämi ei enää johda, mikä alentaa solenoidin lämpökuormitusta. Vetokäämin tuottama pitokäämiä korkeampi magneettinen voima on tarpeen solenoidin kytkemiseksi. Pitokäämin magneettinen voima kuitenkin riittää pitämään solenoidin kytkettyneenä. Solenoidin ohjausvirtapiirin auetessa solenoidin jousi irrottaa hammaspyörät toisistaan ja aukaisee käynnistinmoottorin virtapiirin. (3, s. 1371–1372.)

4.1.9 Sytytysjärjestelmä

Opetusmoottori on varustettu sylinterikohtaisilla sytytyspuolilla eli erillispuolilla. Järjestelmä on pääasiallinen järjestelmätyyppi nykyaikaisissa ottomoottoreissa. Erillispuolajärjestelmässä jokaisella moottorin sylinterillä on oma sytytyspuola, joka on tyypillisesti sijoitettu sytytystulpan välittömään läheisyyteen. Erillispuolajärjestelmä vaatii toimiakseen nokka-akselin asentoanturin. (8, s. 177–179.)

Kuviossa 12 on esitetty erillispuolajärjestelmän periaate. Erillispuolajärjestelmässä sytytysohjain (kuvion 12 numero 1) kytkee sytytyspuolan (numero 2) ensiökäämiä, mikä aiheuttaa jännitteen indusoitumisen toisiokäämiin ja siten kipinän muodostumisen sytytystulpassa (numero 3). Korkeajännitediodi toisiokäämin virtapiirissä estää ensiökäämin virtapiirin sulkeutuessa indusoituvaa jännitettä tuottamasta kipinää. (8, s. 172–173.)



KUVIO 12. Erillispuolajärjestelmän rakenne: 1) sytytysohjain, 2) sytytyspuola, 3) sytytystulppa ja 4) korkeajännitediodi (mukaillen 18, s. 448)

Sytytyspuola muuttaa ajoneuvon järjestelmän jännitteen korkeaan jännitteeseen, joka riittää sytytyskipinän tuottamiseen. Sytytyspuola koostuu sydäimestä ja kahdesta käämistä. Ensiökäämi koostuu paksusta johtimesta, joka on liitetty ajoneuvon jännitelähteeseen ja sytytysohjaimen kautta maadoitukseen. Toisiokäämi koostuu ohuesta johtimesta, joka on liitetty maadoitukseen ja sytytystulppaan. Ensiö- ja toisiokäämin kierrosten suhde toisiinsa on yleensä noin 1:50–1:150. Johtimien kierrosluvun suhde vaikuttaa mahdolliseen toisiojännitteeseen ja kipinävirtaan. (8, s. 170, 172–173, 176.)

Sytytyspuolan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sytytyspuola varastoi ensiökäämin läpi kulkevan virran aikaansaaman magneettisen energian, kun ensiökäämin virtapiiri on suljettu. Varastoitavaan energiamäärään vaikuttaa sähkövirran suuruus, sähköjärjestelmän jännite, ensiökäämin johdinkierrosten lukumäärä ja käämin sydämen materiaali. Varastoitua energiaa säädetään sytytyspuolan latausajalla eli ajalla, jolloin ensiökäämin virtapiiri on suljettu. Varastoidulla energialla on ratkaiseva vaikutus ilma-polttoaineseoksen liekkirintamaan, mikä on olennaista moottorin suorituskyvyn ja päästöjen kannalta. (8, s. 164, 170; 11, s. 174; 3, s. 677.)

Sytytyspuolaan varastoitunut energia vapautuu induktion avulla, kun ensiökäämin virtapiiri aukaistaan sytytyshetkellä. Induktio luo ensiökäämiin itseinduktiojännitteen ja toisiokäämiin huomattavasti korkeamman keskinäisinduktiojännitteen, joka ilmenee sytytystulpan kipinästä sytytystulpan kärkivälin läpilyöntilujuuden ylittyessä. (8, s. 173; 3, s. 677–678.)

Sytytyspuolan sähkövirran kasvua eli magneettikentän luontia hidastaa käämin ominaisuus vastustaa virran muutoksia. Magneettikentän muutos indusoi käämiin jännitteen, joka on vastakkaisuuntainen alkuperäiseen jännitteeseen nähden siten vastustaen sähkövirran muutosta Lenzin lain mukaan. Sähkövirta pyrkii saavuttamaan enimmäisarvonsa, joka on riippuvainen käämin johtimen resistanssista. Ennen sähkövirran enimmäisarvon saavuttamista sytytyspuolan magneettikenttä satureituu, jolloin sytytyspuolan sisäiset häviöt kasvavat. Satureutumisen ehkäisemiseksi on järkevää pitää sytytyspuolan operointialue satureutumistason alapuolella, mikä toteutetaan säätämällä sytytyspuolan latausaikaa. (8, s. 173–174; 11, s. 174.)

Sytytysohjain kytkee sytytyspuolan ensiökäämin virtapiiriä puolijohdekomponentilla, kuten BJT- tai IGBT-transistorilla. Komponenttien pieneneminen on edistänyt integroitujen sytytyspääteasteiden kehittämistä, mikä on mahdollistanut pääteasteen sijoittamisen sytytyspuolaan. (8, s. 168, 182; 3, s. 678.)

Suljettaessa sytytyspuolan ensiövirtapiiri toisiokäämiin indusoituu noin 1–2 kV:n kytkentäjännitteeksi kutsuttu jännite. Jännite jää alhaiseksi, koska sähkövirran kasvu on alhainen verrattuna sytytyshetken virtamuutokseen. Erillispuolat sisältävät diodin, joka estää kytkentäjännitettä muodostamasta kipinää. Diodi estää ensiökäämin virtapiirin sulkeutumisesta aiheutuvan indusoituneen jännitteen mutta ei aukeamisesta aiheutuvaa, koska magneettikentän muutoksen suunta ja siten myös indusoituneen jännitteen polariteetti on erisuuntainen suhteessa sytytyshetkellä indusoituvaan jännitteeseen. (8, s. 173, 175.)

Sytytyshetkeä tulee noudattaa tarkoin tiettyssä ennalta määrättyssä pisteessä, minkä vuoksi moottorinohjain laskee asentotunnistimien avulla moottorin asentoa jatkuvasti. Sytytyshetki määräytyy asentotunnistimen signaalin ja moottorinohjaimen sisäisen ajastimen avulla. Moottorinohjain määrittää ensin asentotunnistimen hampaan, jolle sytytyshetki ja sytytyspuolan lataus ajoittuvat. Tämän jälkeen moottorinohjaimen sisäinen ajastin määrittää tarkan hetken moottorin kierrosnopeuden mukaan. (11, s. 206–207.)

4.1.10 Polttoainejärjestelmä

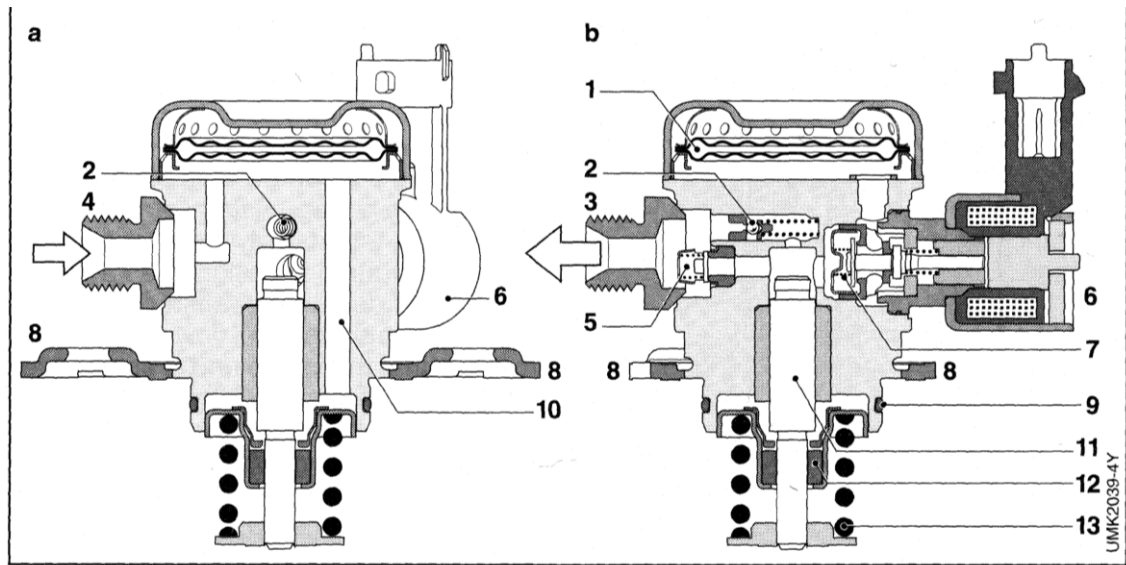
Suorasuihkutuksessa suutin suihkuttaa polttoaineen suoraan sylinteriin, mikä vaatii korkean paineen lyhyen suihkutusajan ja seoksenmuodostuksen vuoksi. Polttoainejärjestelmä voidaan jakaa matalapaineiseen ja korkeapaineeseen piiriin. Matalapainepiiriin kuuluu polttoainesuodatin ja polttoaineen siirtopumppu. Korkeapainepiiriin kuuluu korkeapainepumpun ja suuttimien lisäksi suutintukki, paineanturi ja paineenrajoitusventtiili. Matalapaineisen siirtopumpun tarkoitus on syöttää polttoainetta noin 3–6 bar paineisena korkeapainepumpulle. Korkeapainepumpun korkean lämpötilan vuoksi esipaineistettu polttoaine on tärkeää höyrykuplien välttämiseksi. (8, s. 86; 3, s. 637.)

Korkeapainejärjestelmät jakautuvat jatkuvatuotoksiseen ja kysyntäsäännöstelltyyn tyyppiin. Jatkuvatuotoksessa järjestelmässä korkeapainepumpun tuottoa ei säädetä. Suutintukin painetta rajoitetaan erillisellä paineenrajoitusventtiilillä, joka purkaa ylimääräisen polttoaineen matalapainepiiriin. Jatkuvatuotoksessa järjestelmässä polttoainepumpun tuotto ylittää polttoainetarpeen, mikä heikentää järjestelmän hyötysuhdetta. Kysyntäsäännöstellty järjestelmä on nykyään yleisimmin käytössä. Kysyntäsäännöstelltyssä järjestelmässä suutintukin painetta säädetään korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilillä, jolla säädetään korkeapainepumpun paineistaman polttoaineen määrää. Moottorinohjain mittaa toteutunutta painetta suutintukissa sijaitsevalla paineanturilla. (3, s. 638–639.)

Korkeapainepumppu on jatkuvatuotosjärjestelmissä tyypillisesti kolmemäntäinen radiaalimäntäpumppu. Epäkeskoinen nokka käyttää kolmea erillistä mäntää, jotka pumppaavat polttoainetta 120° kulmaerolla tuottaakseen tasaisen polttoaineentuoton. Kysyntäsäännöstelltyssä järjestelmässä käytetään tyypillisesti yksimäntäistä pumppua, joka sisältää tuotonsäätöventtiilin ja matalapainelinjaan sijoitetun painevaimentimen. Nokka-akselissa on yleensä kahdesta neljään nokkaa, jotka käyttävät korkeapainepumppua. (8, s. 93–97.)

Kuviossa 13 on esitetty 2. sukupolven kysyntäsäännöstellty korkeapainepumppu. Kuviossa on esitetty vasemmalla matalapaineosio (kohta a) ja oikealla korkeapaineosio (kohta b). Painevaimennin (kuvion 13 numero 1) tasoittaa matalapainepuolelle tulevia painesysäyksiä. Korkeapainepumppu sisältää paineenrajoitusventtiilin (numero 2). Sisääntuloventtiili (numero 7) päästää polttoaineen pumppuun imuvaiheen aikana. Polttoaine paineistetaan männällä (numero 11), ja tuotetun polttoaineen määrää rajoitetaan tuotonsäätöventtiilillä (numero 6). Ulosmenoventtiili (numero 5) päästää

paineistetun polttoaineen lähtöliittimen (numero 3) kautta polttoaineen jakotukkiin. (8, s. 94–96; 3, s. 646.)



KUVIO 13. 2. sukupolven kysyntäsäännöstellyn mallin yksimäntäinen korkeapainepumppu: 1) painevaimennin, 2) paineenrajoitusventtiili, 3) polttoaineen lähtöliitin, 4) polttoaineen tuloliitin, 5) ulosmenoventtiili, 6) määränsäätöventtiili, 7) sisääntuloventtiili, 8) kiinnityslaippa, 9) O-rengas, 10) liitos painevaimentimeen, 11) mäntä, 12) männän tiiviste ja 13) männän palautusjousi (3, s. 646)

Korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiili on sähköisesti ohjattu solenoidiventtiili, joka rajoittaa pumppattavaa polttoainemäärää pysymällä avoinna tarvittavan ajan pumpun puristusvaiheen aikana. Tällöin ylimääräinen polttoaine pääsee poistumaan takaisin matalapainepuolelle. Matalapainelinjassa sijaitseva painevaimennin tasoittaa takaisinvirtauksen aiheuttamaa sykäystä. Painevaimentimessa on kalvo, joka erottaa polttoainelinjan ja kalvoa painavan jousen. Moottorinohjaimen tulee määrittää ennalta tarvittava ohjausventtiilin aukipitoaika tarvittavan polttoainetuoton ja -paineen saavuttamiseksi. (8, s. 95–99; 3, s. 648.)

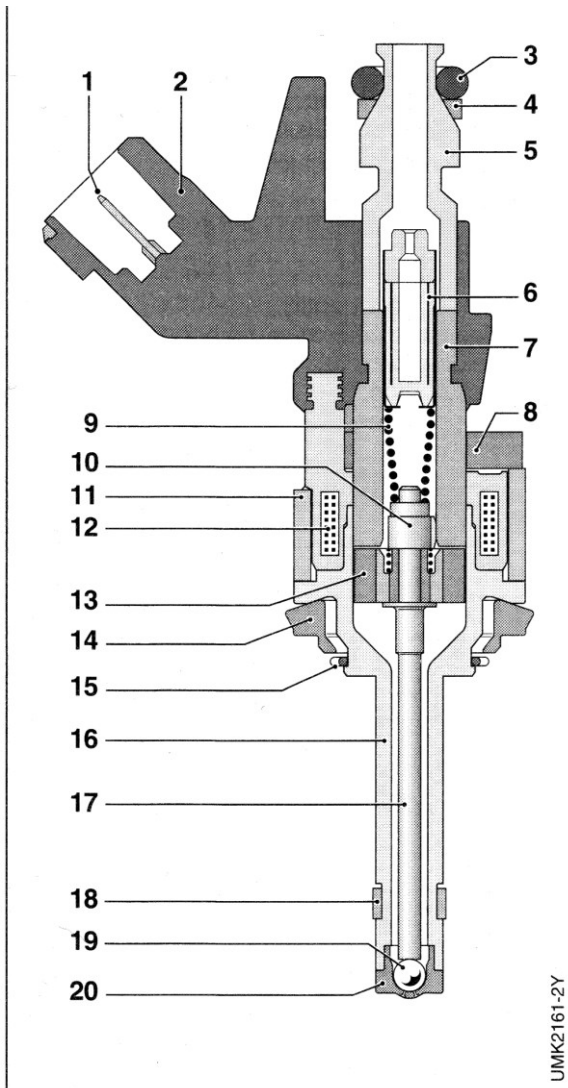
Kysyntäsäännöstellä korkeapainepumppua on kahta eri mallia, jotka eroavat sisäisten venttiileiden toiminnaltaan. Vanhemmissa pumppumalleissa imuvaiheessa pumppu imee polttoainetta sisääntulon vastaventtiilin kautta. Toinen vastaventtiili sijaitsee korkeapainelinjassa ulosmenoventtiilinä. Vastaventtiilien tarkoitus on estää polttoaineen virtaaminen väärään suuntaan pumpun toiminnan aikana. Puristusvaiheessa tuotonsäätöventtiili on suljettu, kunnes riittävä polttoainemäärä on pumputtu. Jäljelle jäävä polttoainemäärä palautuu matalapainelinjaan tuotonsäätöventtiilin alueella puristusvaiheen loppuvaiheessa. Uudemmissa pumppumalleissa sisääntulon vastaventtiiliä

ei ole, vaan pumpun täyttö tapahtuu tuotonsäätöventtiilin kautta. Tuotonsäätöventtiili pysyy puristusvaiheen aluksi avoinna ja ylimääräinen polttoainemäärä palautuu takaisin matalapainepiiriin. Ennalta lasketussa vaiheessa tuotonsäätöventtiili suljetaan, ja jäljellä oleva polttoainemäärä paineistetaan korkeapainelinjaan korkeapainelinjan vastaventtiilin kautta. (8, s. 94–99.)

Polttoaineen jakotukki sisältää paineanturin ja jakaa polttoaineen suuttimille. Jakotukkiin varastoidaan ruiskutukseen tarvittava määrä paineistettua polttoainetta. Polttoaineen jakotukki toimii myös korkeapainepumpun toiminnasta aiheutuvien painesykäyksien vaimentajana. (8, s. 100.)

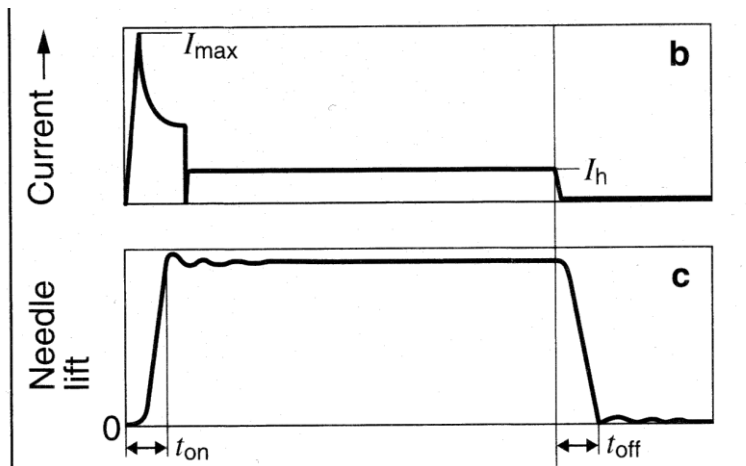
Korkeapainepumpun tuottaman korkean paineen vuoksi polttoainesuuttimen aukaisuun tarvittava voima on huomattavan suuri. Lyhyen suihkutusaajan vuoksi polttoainesuuttimen on myös auettava ja sulkeuduttava nopeasti. Polttoainesuutin voi olla tyypiltään magneettisuutin tai pietsosuutin. (9, s. 386; 3, s. 662.)

Kuviossa 14 on esitetty magneetikäyttöinen korkeapainesuutin, joka koostuu polttoainesuodattimesta, jousesta, solenoidista, venttiilin holkista, suutinneulasta ja sen istukasta. Kun suuttimen virtapiiri suljetaan, solenoidi magnetoituu sähkövirran johtuessa solenoidin kelan (kuvion 14 numero 12) lävitse, jolloin solenoidi nostaa suutinneulan (numero 17) istukastaan (numero 20) vasten polttoainepainetta ja suuttimen sulkevaa joustia (numero 9). Tällöin suutinaukko aukeaa ja polttoaine virtaa suutintukista alhaisemman paineen omaavaan sylinteriin. Suihkutuksen lopussa virtapiiri aukeastaan, jolloin magneetikentän heikentyessä jousivoima palauttaa neulaventtiilin takaisin istukkaan, mikä katkaisee polttoaineen virtauksen. (8, s. 128; 3, s. 665.)



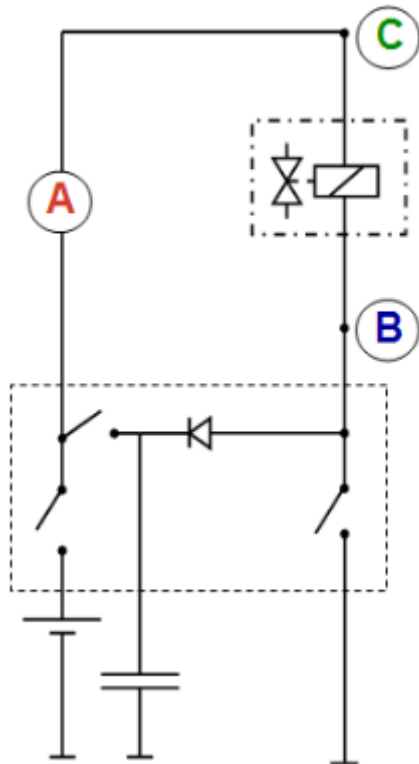
KUVIO 14. Magneettisuuttimen rakenne (3, s. 665)

Magneettisuuttimen neulaventtiili aukeaa kohti suutintukin korkeaa painetta. Riittävän aukaisunopeuden ja magneettisen voiman saavuttamiseksi käytetään korkeaa aukaisujännitettä, jotta suuttimen käämin läpi kulkeva virta saataisiin nostettua riittävän korkealle riittävän nopeasti. Avauksessa käytettävä jännite on yleensä 60–90 V ja aukaisuvirta noin 13 A. Suutinventtiilin auettua ajoneuvon käyttöjännite ja noin 3 A:n virta riittävät pitämään venttiilin auki. Magneettisuuttimelle tyypillinen virtakuvaaja on esitetty kuviossa 15, jossa on esitetty aukaisuvirran piikki (I_{\max}) ja huomattavasti alhaisempi aukipitovirta (I_h). (8, s. 129; 20, s. 47.)



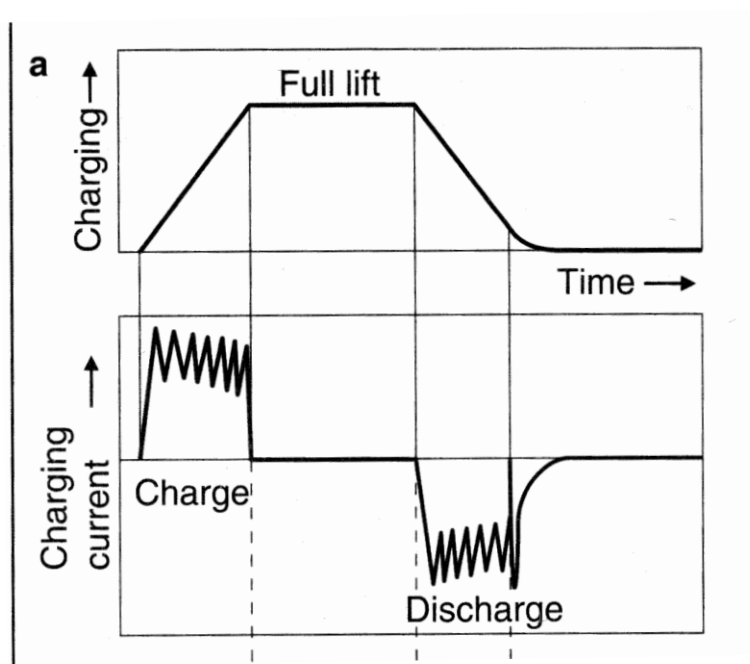
KUVIO 15. Magneettisuuttimen virta yllä ja suutinneulan aukeama alla ajan funktiona (3, s. 666)

Venttiilin aukaisuun tarvittavan jännitteen luomiseksi moottorinohjain sisältää piirin, joka luo riittävän korkean jännitteen. Jännitteen luomisessa voidaan käyttää kuvion 16 mukaista kytkentää, joka hyödyntää solenoidin itseinduktiota. Virranrajoitusvaiheessa ja suuttimen sulkeutuessa solenoidin käämiin varastoitunut energia varautuu diodin läpi kondensaattoriin, josta saadaan korkea jännite suuttimen aukaisua varten. (20, s. 48–55.)



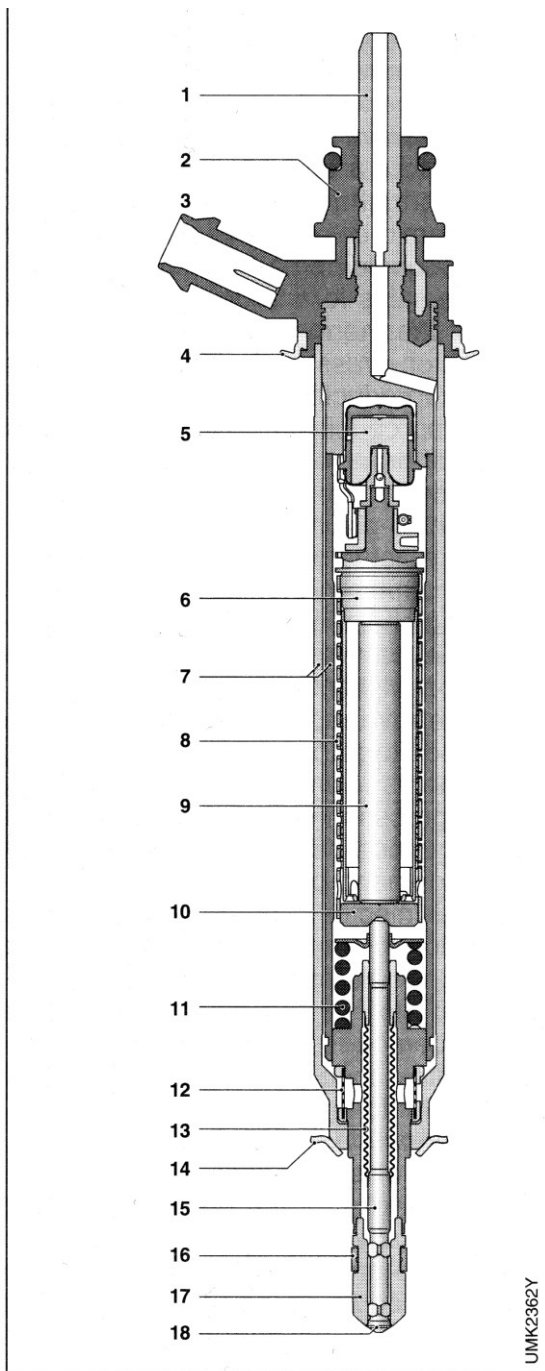
KUVIO 16. Suutinta käyttävä kytkentä (20, s. 48)

Pietsosuuttimen toiminta perustuu pietsoähköiseen ilmiöön. Pietsosuuttimen käyttöjännite on tyypillisesti noin 200 V. Pietsosuutinta ohjataan pietsoaktuaattorille ominaisella latausprosessilla ja vastaavanlaisella purkuprosessilla moottorinohjaimen integroidun jännitteennostopiirin avulla. Tyypillinen pietsoosuuttimen virtakuvaaja on esitetty kuviossa 17. Pietsosuuttimella ei ole magneettisuuttimelle tyypillistä aukipitovirtaa sillä pietsoosuuttimen kuorma on kapasitiivista. Pietsosuuttimen aukeamaa, ruiskutuksen pituutta sekä aukeaman ja sulkeutumisen nopeutta voidaan säätää suihkutuskohteisesti. Nopeutensa ansiosta pietsoosuuttimella voidaan tehdä useita peräkkäisiä suihkutuksia. (3, s. 668–669.)



KUVIO 17. Pietsosuuttimen varaus- ja virtakuvaaja ajan funktiona (3, s. 669)

Pietsosuutin sisältää kuviossa 18 esitetyn ulospäin aukeavan neulaventtiilin (kuvion 18 numero 15), jota jännitetään sulkevalla jousella (numero 11) pietsoosuuttimen kotelointia vasten. Pietsosuuttimen aktuaattori (numero 9) työntää neulaventtiiliä. Aktuaattori koostuu sadoista pietsoakeraamisista aktuaattorikerroksista ja jousesta (numero 8), jolla aktuaattori esijännitetään. Kun pietsoaktuaattorin virtapiiri suljetaan, pietsoaktuaattori laajenee ja tuottaa suuren työntövoiman työntäen venttiilineulaa, mikä aukaisee suutinpäätä (numero 18). (3, s. 667–668.)



KUVIO 18. Pietsosuuttimen rakenne (3, s. 667)

4.2 Oskilloskooppimittaukset

Opetusmoottorista suoritettiin oskilloskooppimittaukset harjoitustyöhöhen tarkentamiseksi, jotta voitiin luoda toimiva työohje sekä määrittää hyödylliset ja toteutettavissa olevat mittaukset. Testimittaus suoritettiin PicoScope 4423 -oskilloskoopilla, joka on tietokoneeseen USB-liitännällä liitet-

tävä oskilloskooppi. PicoScope-oskilloskooppia käytetään PicoScope-ohjelmiston avulla. Testimitauksessa käytettiin PicoScope 6 Automotive -ohjelmistoa. PicoScope 4423 -oskilloskoopissa on neljä kanavaa, mikä tarkoittaa oskilloskoopin voivan mitata yhtäaikaisesti korkeintaan neljää erillistä signaalia. Useampi kanava mahdollistaa useiden eri signaaleiden helpon yhdistämisen, mikä voi helpottaa kokonaiskuvan synnyttämistä eri laitteiden tai antureiden yhteistoiminnasta.

PicoScope 4423 -oskilloskooppi kykenee mittaamaan ± 100 V jännitteen ja sisältää sisäisen jännitesuojauksen. Jännitealue on riittävä magneettisuuttimille. Pietsosuuttimien tai sytytyspuolan ensiökäämin negatiivisen navan mittaus vaatisi signaalivaimentimen tai korkeamman jännitealueen mahdollistavan koettimen käytön.

Virtamittaukset suoritettiin käyttäen oskilloskooppiin liitettävää pihtivirtamittaria. Mittauksissa käytettiin PicoScope TA018 ja TA019 pihtivirtamittareita. Pihtivirtamittarissa on käämi, jonka sisältä asetetaan kulkemaan mitattava johdin. Tällöin johdinta ei tarvitse katkaista sähkövirran mittaamiseksi. Käämin sisäpuolella kulkeva sähkövirta indusoi jännitteen pihtivirtamittarin käämiin sähkövirran luodessa ympärilleen magneettikentän. Indusoituva jännite on verrannollinen pihtivirtamittarin käämin sisällä kulkevaan nettovirtaan. (2, s. 19.)

4.2.1 Lämpötila-anturit

MoTeC M142 -moottorinohjain muodostaa jännitteenjakokytkennän mitataksaan lämpötila-anturin resistanssin (21, s. 16). Lämpötila-anturimittauksissa suoritettiin jännitemittaus tutkimustaulun liittimistä, jolloin saatiin määritettyä jännite ylösvetovastuksen ja termistorin välistä. Ylösvetovastus ja syöttöjännite tunnetaan, joten mitatuista jännitearvoista voitiin laskea lämpöanturin resistanssi kaavalla 1.

Imusarjan paineanturiin integroitu ilmanlämpöanturi mitattiin ennen ja jälkeen muiden mittausten mahdollisen muutoksen havainnollistamiseksi. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 3. Tuloksista voidaan havaita lämpötila-anturin lievä muutos moottorin lämmitessä. Anturi on tyypiltään NTC-termistori, koska moottorin ja sen ympäristön lämmitessä anturin resistanssi ja siten jännitteenjakokytkennästä mitattu jännite alenivat.

TAULUKKO 3. Ilmanlämpöanturin jännitejakokytkennän jännite ja laskettu resistanssi

	Kylmä moottori	Lämmin moottori
Mitattu jännite	3,44 V	2,76 V
Laskettu resistanssi	2205,1 Ω	1232,1 Ω

Moottorin lämpötila-anturin jännite ja resistanssi mitattiin ennen ja jälkeen muiden mittausten. Anturin resistanssi mitattiin, jotta saatiin selvitettyä jännitejakokytkennän lähtötietojen tarkkuus. Resistanssimittauksen ajaksi anturin johtimet irrotettiin, jotta voitiin varmistaa luotettava resistanssimittaus. Resistanssimittaus suoritettiin muista mittauksista poiketen Fluke 179 -yleismittarilla. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 4.

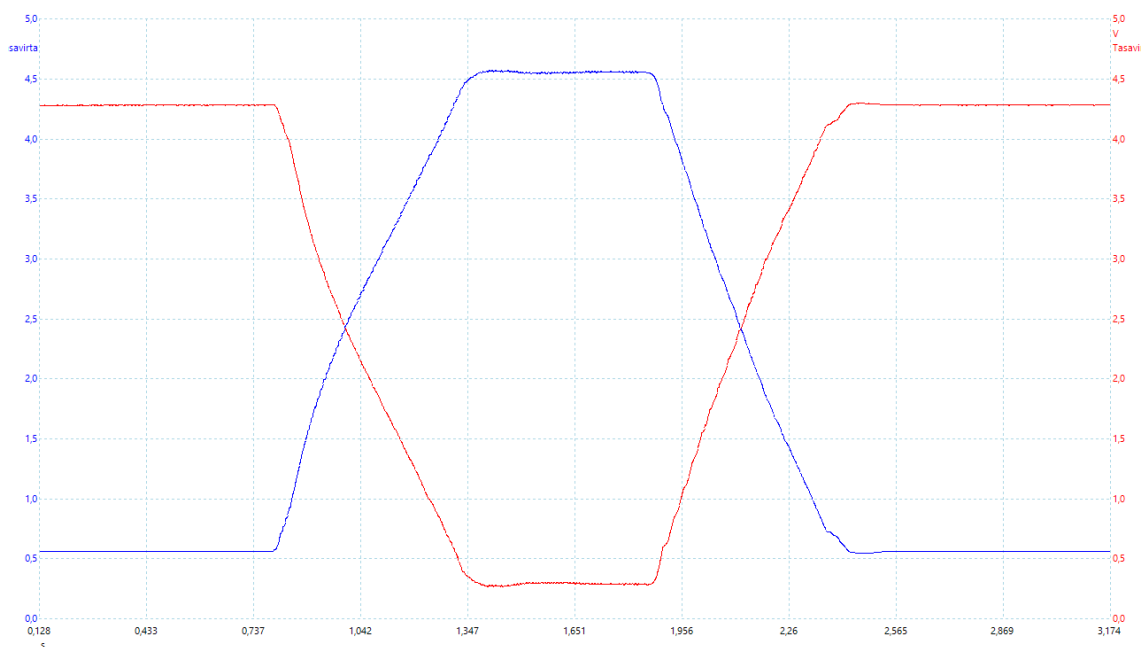
TAULUKKO 4. Moottorin lämpötila-anturin mitattu resistanssi, jännitejakokytkennän jännite ja laskettu resistanssi

	Kylmä moottori	Lämmin moottori
Mitattu resistanssi	2625 Ω	233 Ω
Mitattu jännite	3,56 V	0,91 V
Laskettu resistanssi	2472,2 Ω	222,5 Ω

Mitattu ja laskettu resistanssi erosivat hieman. Mittaustulosten ero oli riittävän pieni, jotta mittaus-tapaa voidaan käyttää harjoitustyössä. Mittaustulosten eroon voi vaikuttaa syöttöjännite ja ensiö-vastuksen toleranssi. Vastuksen toleranssi kuvaa kuinka paljon vastuksen todellinen resistanssi voi poiketa ilmoitetusta (22). Vastusten toleranssit voivat vaihdella noin 1–20 % alueella (22). Myös ensiövastuksen lämpötila vaikuttaa sen resistanssiin vastuksen lämpötilakertoimen mukaan (23, s. 165). Syöttöjännitteen kohotessa laskennallinen resistanssi alenee kaavan 1 mukaisesti. MoTeC M142 -moottorinohjaimen ensiövastuksen lämpötilakerroin tai toleranssi ei ole tiedossa. Lämpötila-anturin syöttöjännite ei ole mitattavissa anturin ollessa kytkettynä, minkä vuoksi mittaushetken syöt-töjännitettä ei ollut mahdollista mitata.

4.2.2 Sähköinen kaasuläppä

Opetusmoottorista mitattiin kaasuläpän asentoantureiden signaalit sekä kaasuläpän moottorin jännite ja virta. Kuviossa 19 esitetystä oskilloskooppikuvasta voidaan havaita asentoantureiden tuottavan vastakkaisen signaalin jännitealueen ollessa 0,3–4,6 V. Kun jännitealue ei ulotu syöttöjännitteen ja maadoituksen rajoittamiin ääripäihin, voidaan signaalista erottaa mahdollinen oikosulku maahan tai syöttöjännitteeseen (3, s. 913). Asentoanturit tuottavat toisistaan poikkeavan signaalin myös antureiden mahdollisen keskinäisen signaalin oikosulun havaitsemiseksi (8, s. 43). Kaasuläpän signaalista ei voida havaita käytetyn anturin tyyppiä, koska anturit tuottavat tyypistä riippumatta analogisen jännitesignaalin, joka on verrannollinen kaasuläpän aukeamaan.

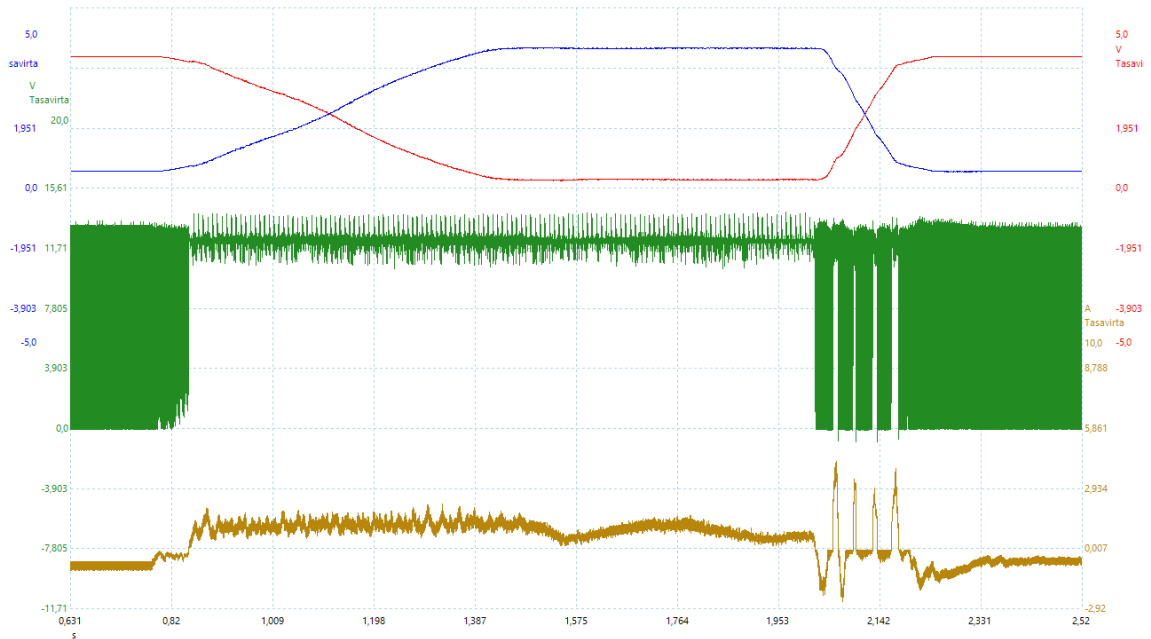


KUVIO 19. Kaasuläpän asentoanturit tuottavat vastakkaisuuntaisen signaalin

Kaasuläpän asentoantureiden signaalien kuvaajasta voidaan havaita kaasuläpän seuraavan polkimen kulmaa. Sähköistä kaasuläppää voitaisiin ohjata myös epälineaarisesti tai muutoin säätämällä kaasuläpän toimintaa riippumatta kaasupolkimen asennosta. Kaasupolkimen asentoanturia ei ole haaroitettu tutkimustauluun, minkä vuoksi kaasupolkimen asennon mittausta ei suoritettu.

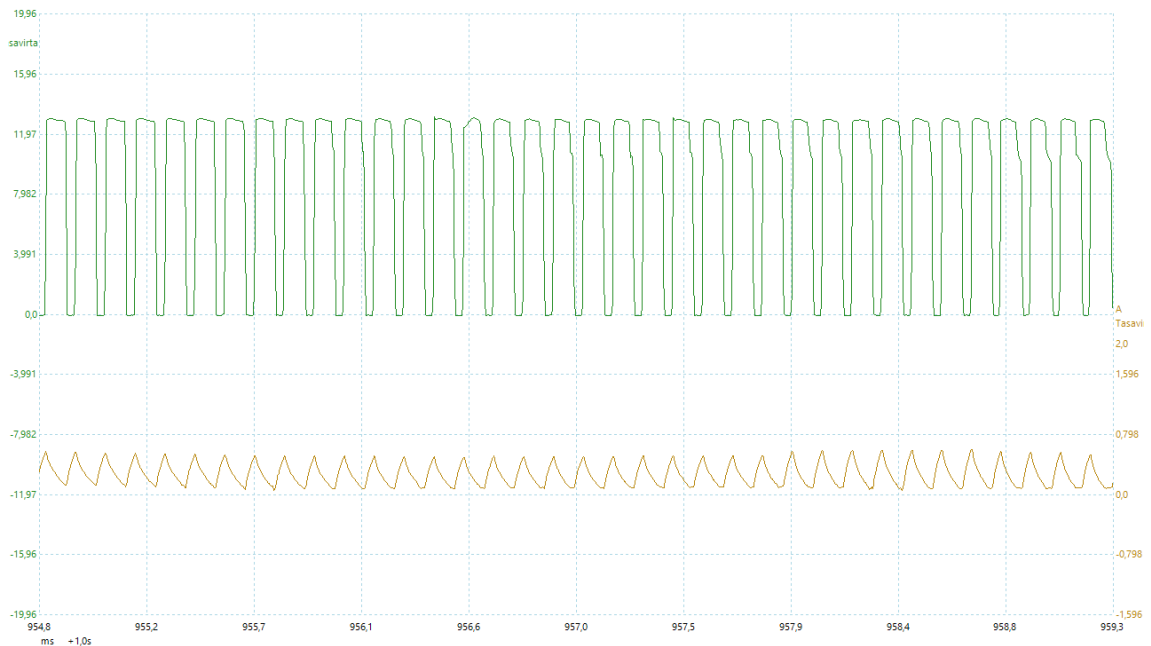
Kuviossa 20 on esitetty kaasuläpän asentoanturit sekä kaasuläpän moottorin jännite ja virta kaasuläppää käytettäessä. Kuviosta voidaan havaita moottorinohjaimen ohjaavan kaasuläppää pulsseinleveysmodulaatiolla. Kaasuläpän ohjauksessa ei havaittu H-sillan toimintaa, jolloin voitiin olettaa

kaasulämpän sulkeutuvan palautusjousen voimasta pulssinleveysmodulaation rajoittaessa moottorin tehoa.



KUVIO 20. Kaasulämpän moottorin jännite vihreällä ja virta ruskealla kaasulämpää käytettäessä

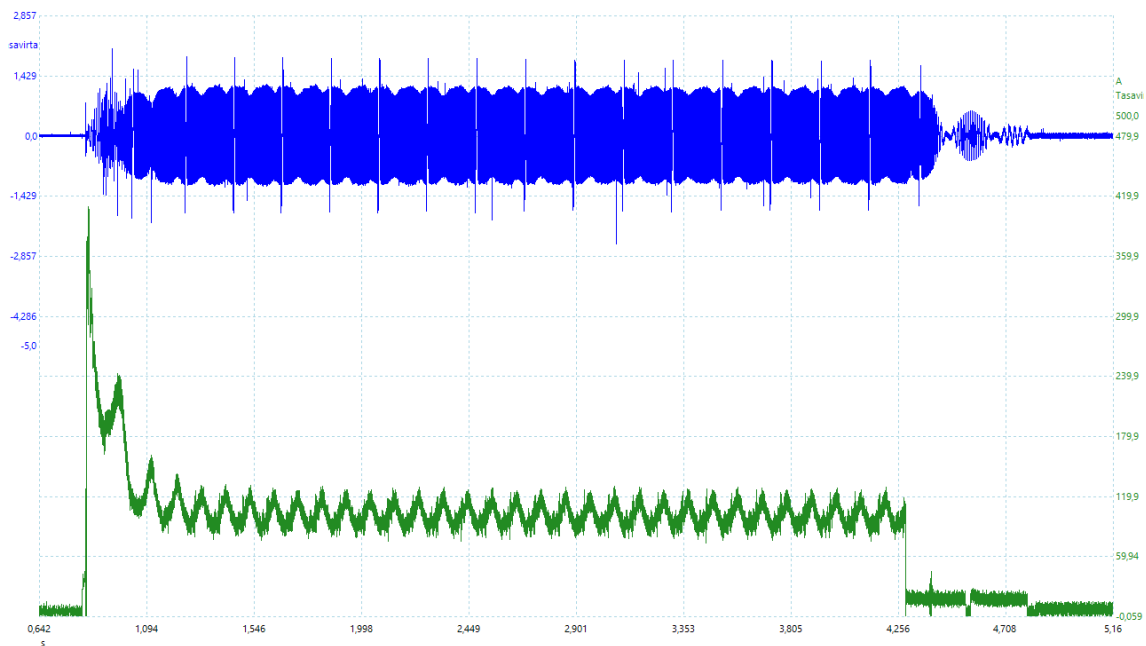
Kuviossa 21 on esitetty tarkka kuvaaja kaasulämpän moottorin jännitteestä ja virrasta. Kuvioista voidaan havaita pulssinleveysmodulaation toiminta ja sen vaikutus sähkövirtaan. Kuviossa esitettyssä tilanteessa pulssinleveysmodulaation taajuus oli 8 kHz ja pulssinleveys 89 %.



KUVIO 21. Pulssinleveysmodulaation vaikutus moottorin jännitteeseen ja virtaan

4.2.3 Käynnistinmoottori

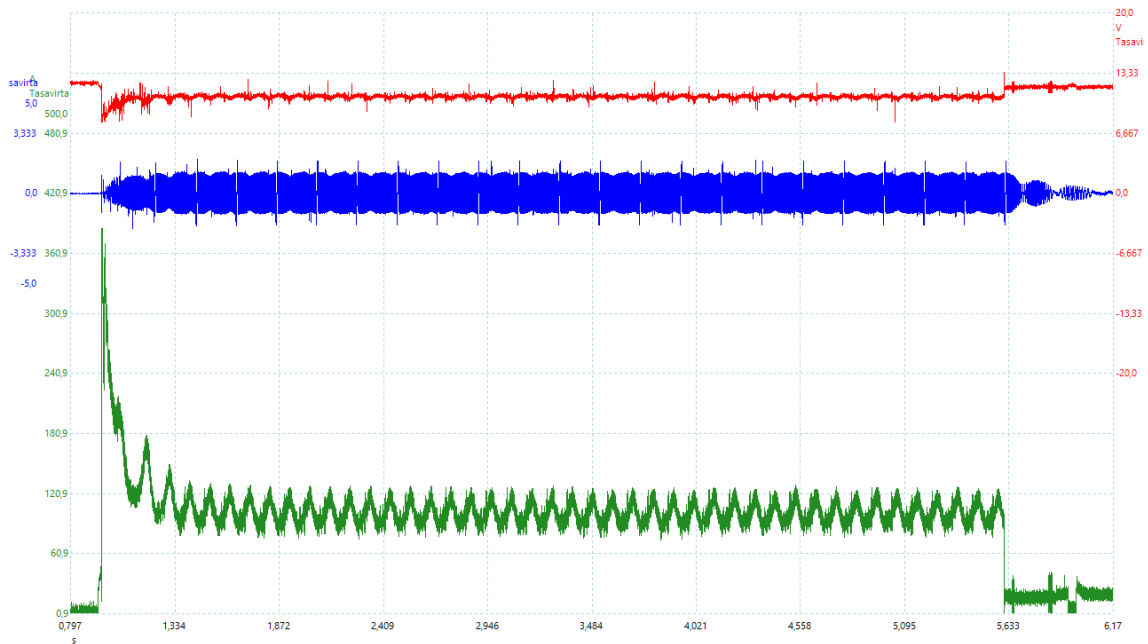
Käynnistinmoottorista mitattiin sähkövirta yhdessä kampiakselin asentoanturin kanssa pyörittäessä polttomoottoria käynnistinmoottorilla. Kuviosta 22 voidaan havaita moottorin pyörittämiseen vaaditun vääntömomentin vaihtelu. Käynnistykseen alussa ilmeni 385 A:n virtapiikki, kun kampiakselin asentoanturin signaali viittasi alhaiseen pyörintänopeuteen sen alhaisella amplitudilla, mikä samalla viittasi kampiakselin asentoanturin olevan induktiivinen anturi. Käynnistinmoottorin ottama sähkövirta on suhteessa käynnistinmoottorin tuottamaan vääntömomenttiin ja suuri piikki kuvastaa polttomoottorin massainertian ja lepokitkan ylittämiseen vaadittua vääntömomenttia kiihdytettäessä polttomoottorin pyörintänopeutta. Käynnistysvirta tasoittui nopeasti tasolle, jossa virta vaihteli 80–130 A:n alueella. Tasaisesti vaihteleva sähkövirta kertoo polttomoottorin ja käynnistinmoottorin toimivan tasaisesti. 50 A:n suuruiset sähkövirran vaihtelut kuvaavat moottorin kaasunvaihdosta ja puristuksesta aiheutuvaa vääntömomentin vaihtelua.



KUVIO 22. Käynnistinmoottorin sähkövirta vihreällä ja kampiakselin pyörintänopeusanturi sinisellä

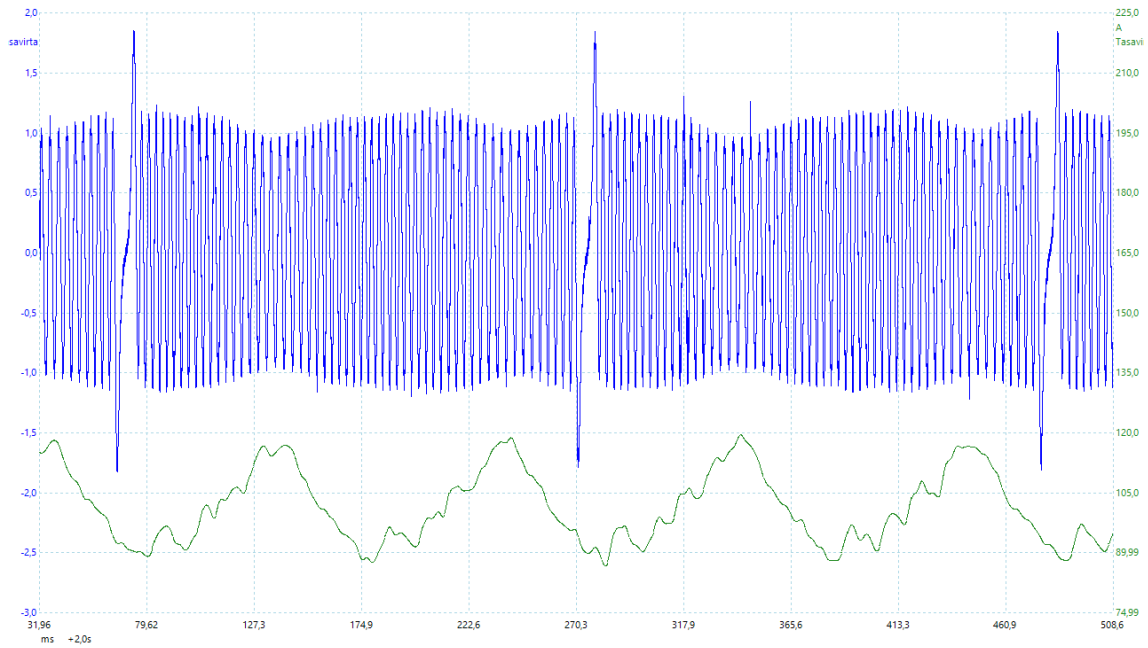
Käynnistinmoottorin tuottaman suuren sähkökuormituksen ansiosta samalla voitiin havainnoida akun napajännitteen käyttäytymistä, mikä kertoo akun kuormituksesta. Kuviossa 23 voidaan havaita akun kuormituksen vaikutus sen napajännitteeseen. Kuviosta voidaan havaita syöttöjännitteen laskevan lepojännitteestään 12,3 V käynnistinmoottorin aktivoituessa 7,9 V:iin ja vaihtelevan käynnistinmoottorin ottaman sähkövirran mukaan 10,4–10,9 V:n vaihteluvälillä käynnistykseen ai-

kana. Akkujännitteen aleneminen kuormitettaessa aiheutuu pääasiassa akun sisäisestä resistanssista (11, s. 419). Kuormitettaessa akkua sen sisäisen resistanssin yli jäävä jännitehäviö on riippuvainen akun purkuvirrasta, joka näkyy napajännitteen alenemisena. Kuormituksen poistuessa akun jännite kohoaa nopeasti 11,8 V:n tasolle. Akkujännitteen jääminen alle lähtötilanteen kertoo akun varauksen alenemisesta. Kuviossa 23 havaittava pieni sähkövirta moottorin ollessa pysähdyksissä koostuu sähkölaitteiden viemästä sähkövirrasta, sillä kaikkien moottorikehikon sähkölaitteiden virta kulkee käynnistinmoottorin johtimen kautta, josta mittaus suoritettiin.



KUVIO 23. Akun jännite punaisella, kampiakselin pyörintänopeus sinisellä ja käynnistinmoottorin ottama sähkövirta vihreällä

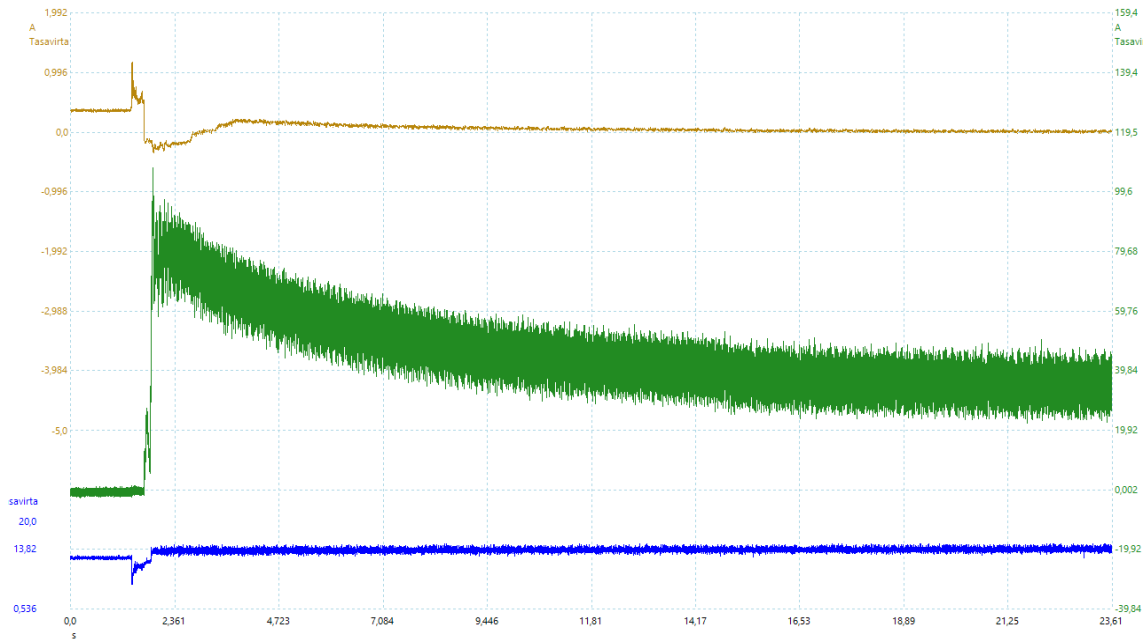
Kuviossa 24 on esitetty kampiakselin asentoanturin signaali ja käynnistinmoottorin sähkövirta lyhyellä aikajaksolla. Kuvioista voidaan havaita, kuinka käynnistinmoottorin ottama sähkövirta eli moottorin pyörittämiseen vaadittu vääntömomentti muuttui kahden kampiakselikierron aikana. Kampiakselin asentoanturin signaalissa voidaan havaita myös amplitudin muutos, mikä kertoo induktiivisella anturilla pyörintänopeuden muutoksesta. Pyörintänopeus alenee ja käynnistinmoottorin ottama virta kasvaa käynnistinmoottorin pyörittäessä polttomoottoria kasvavaa vastusta vasten. Kuvioista 24 voidaan havaita myös pyörintänopeuden ja käynnistinmoottorin ottaman sähkövirran korreloiminen ajallisesti.



KUVIO 24. Käynnistinmoottorin sähkövirta vihreällä ja kampiakselin pyörintänopeusanturin jännite sinisellä tarkasteltuna 500 ms aikajaksolla

4.2.4 Latausgeneraattori

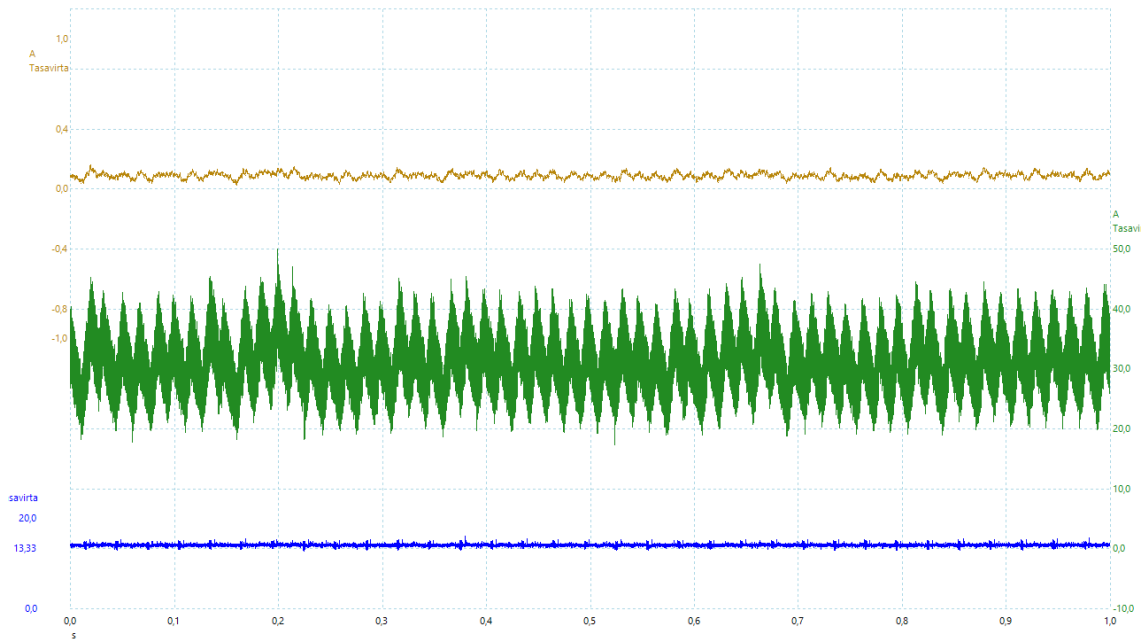
Latausgeneraattorista mitattiin herätevirta, latausvirta ja generaattorin tuottama jännite. Kuviosta 25 voidaan havaita akkujännitteen ja latausvirran käyttäytyminen käynnistettäessä. Akun lepojännite oli 12,0 V. Käynnistinmoottorin kuormitus alensi mitattua jännitettä 7,55 V:iin. Moottorin käynnistyttyä jännite kohosi 13,4 V:iin ja latausvirrassa ilmeni 100 A:n virtapiikki. Latausjännite jatkoi hidasta kohoamista ja saavutti mittauksen lopuksi 13,8 V, kun latausvirta tasoittui nopeasti 20–45 A:n vaihteluvälille. Latausvirran ja -jännitteen käyttäytymisestä voidaan havaita generaattorin suuri tuotto alhaisellakin moottorin pyörimisnopeudella. Latausvirran säätöminen suhteessa akkujännitteeseen ja akkujännitteen pysyminen alle kuusikennoisen lyijyakun kaasuuntumisjännitteen kuvaa jänniteensäätimen toimintaa.



KUVIO 25. Latausgeneraattorin herätevirta ruskealla, latausvirta vihreällä ja akkujännite sinisellä

Kuviossa 25 voidaan havaita myös 0,36 A:n esimagnetointivirta, jonka muutokset korreloivat latausvirran muutosten kanssa. Latausvirran tasoittua magnetointivirta tasoittui 18 mA:iin. Aluksi generaattorille menevä esimagnetointivirta luo magneettikentän generaattorin roottoriin (3, s. 1357). Generaattorin latausjännitettä säädetään säätelemällä roottorin magnetointivirtaa eli herätevirtaa (3, s. 1359). Jänniteensäädin on integroitu generaattoriin, minkä vuoksi ainoastaan generaattorin ulkoinen magnetointivirta voitiin mitata.

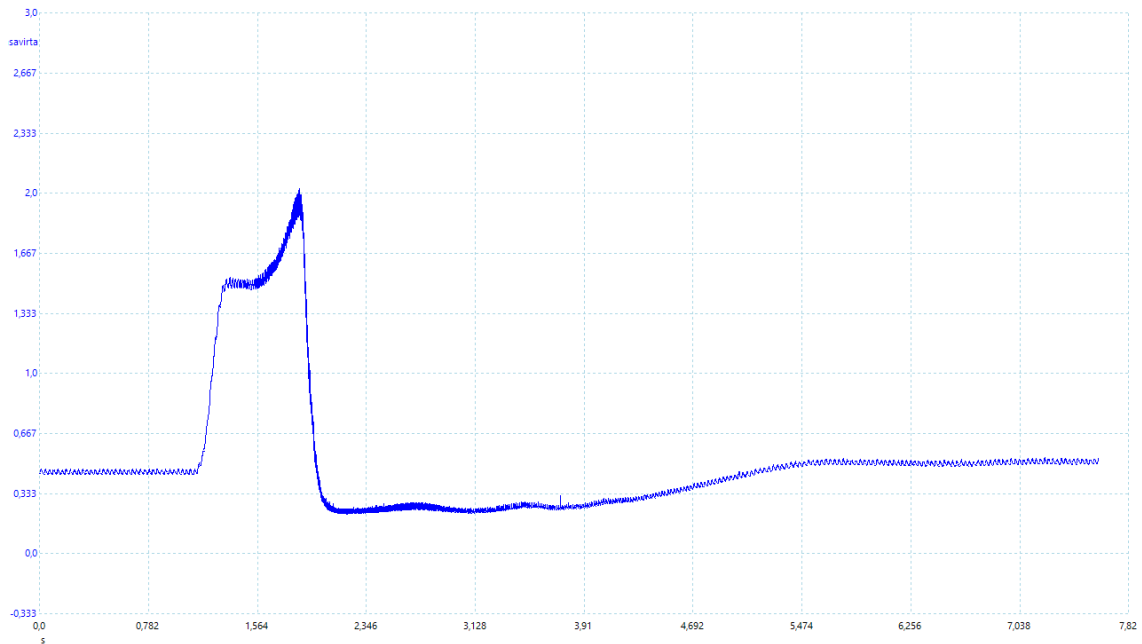
Kuviossa 26 on esitetty latausgeneraattorin toiminta lyhyellä aikajaksolla tarkasteltuna. Moottorin sähkölaitteet ovat liitetty generaattorin kautta akkuun, minkä vuoksi pihtivirtamittari sijoitettiin yhtä kummankin generaattorilta lähtevän johtimen ympärille, jolloin akulta sähkölaitteille menevä sähkövirta kumoaa itsensä pihtivirtamittarissa ja voitiin mitata generaattorin koko tuotto. Kuviossa 26 voidaan havaita latausgeneraattorin tuottaman virran vaihtelut ja siinä näkyvä pulssitus 20–45 A:n vaihteluvälillä. Pulssit aiheutuvat vaihtovirtageneraattorin tuottaman tasasuunnatun vaihtovirran vaiheiden välisestä erosta. Pulsseista voidaan tulkita täten tasasuuntaajan toimintaa. Käynnistysakun tasoittavan vaikutuksen vuoksi jännitteessä ei voida havaita virran kaltaista vaihtelua.



KUVIO 26. Generaattorin herätevirta ruskealla, latausvirta vihreällä ja akkujännite sinisellä

4.2.5 Imusarjan paineanturi

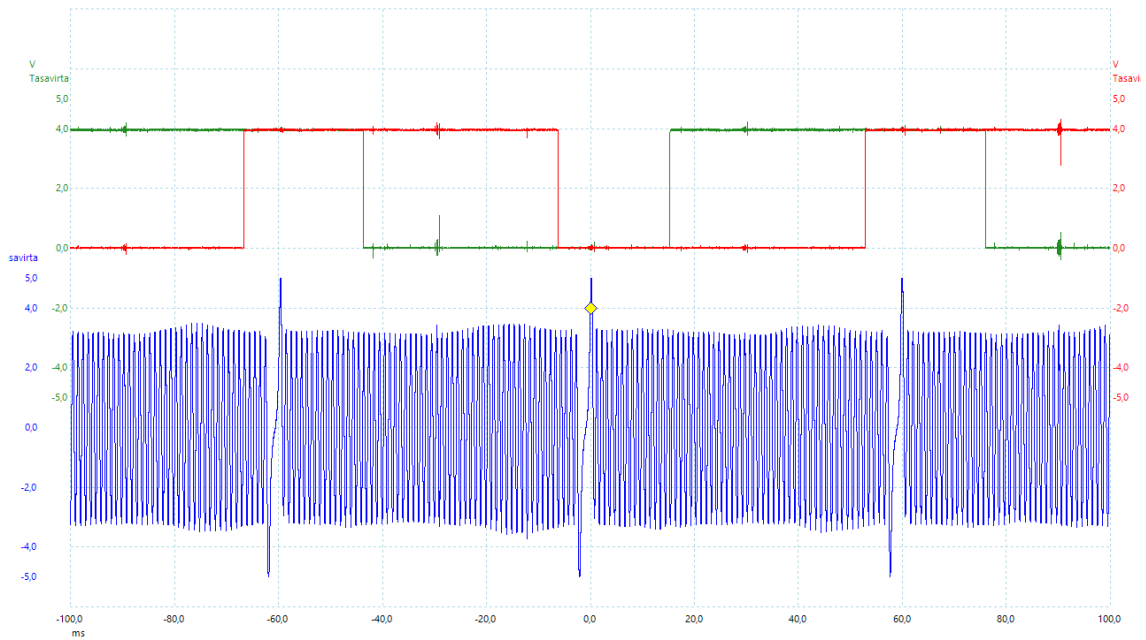
Moottorista mitattiin imusarjan paineanturin signaali, kun moottoria kuormitettiin joutokäynniltä lähtien. Kuviosta 27 voidaan havaita kaasuläpän aukaisua seuraava paineenmuutos signaalijännitteen kasvaessa lähtöarvosta 454 mV huippuarvoon 1,94 V. Imusarjan paineanturin signaalialueen tulee ulottua alipaineesta suurimpaan käytettävään ylipaineeseen. Kuviosta 27 voidaan havaita turboahtimen heräämisen viive, mikäli kaasuläpän aukaisua seuraava hetkellinen tasoittuminen 1,5 V:iin kuvastaa ympäröivää ilmanpainetta kaasuläpän ollessa täysin auki ennen turboahtimen tuottamaa ylipainetta. Kaasuläpän sulkeuduttua signaali alenee joutokäyntiä alhaisemmalle 235 mV:n tasolle, mikä aiheutuu korkealla kierrosnopeudella käyvän moottorin tuottamasta alipaineesta kaasuläpän ollessa suljettuna. Kuvaajan lopussa moottori on palannut joutokäynnille. Kuvaajasta ei voida päätellä paineanturin tyyppiä, koska eriävät anturityypit tuottavat analogisen jännitesignaalin sisäisestä rakenteesta riippumatta. Joutokäynnillä signaalin jännite vaihteli tasaisesti välillä 489–519 mV, josta voidaan havaita moottorin toiminnasta aiheutuvien sylintereiden kaasunvaihdon pulssien vaikutus.



KUVIO 27. Imusarjan paineanturin signaali

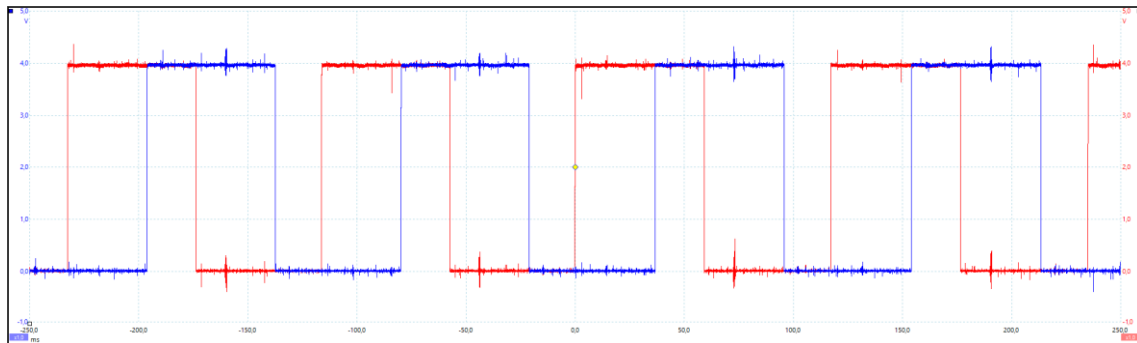
4.2.6 Akselien asentoanturit

Kuviossa 28 on esitetty kampiakselin ja nokka-akselien asentoantureiden signaalit. Kuvioista voidaan havaita kampiakselin anturin tuottavan sinimuotoista signaalia ja nokka-akselien asentoantureiden tuottavan digitaalista signaalia. Kampiakselin asentoanturi on induktiivinen anturi, koska signaali on sinimuotoista ja hammastuksen puuttuva kohta aiheuttaa korkeamman jännitteen. Hammastuksen puuttuvan kohdan aiheuttama kohonnut jännite ilmenee vain induktiivisella anturilla, koska induktiivisen anturin tuottama jännite on verrannollinen magneettivuon muutokseen ja hammasvälin pidentyessä muutos anturiin vaikuttavassa magneettivuossa kasvaa. Nokka-akselien asentoanturit ovat magnetostaattisia sillä mitattu 8,4 Hz:n taajuus olisi liian alhainen induktiiviselle anturille. Induktiivinen anturi tarvitsisi tyypillisesti noin 30 Hz:n taajuudella liikkuvan hammastuksen tuottaakseen merkittävän signaalin (8, s. 244).



KUVIO 28. Kampiakselin (sininen) ja nokka-akseleiden (punainen ja vihreä) asentoantureiden tuottamat signaalit noin kolmen kampiakselikierroksen aikana

Kuviossa 29 on esitetty nokka-akseleiden asentoantureiden signaalit 500 ms aikajaksolla. Kuvioista voidaan havaita asentoantureiden signaalien olevan tyypiltään digitaalisia. Signaalien pulssinleveys oli 50 %. Asentoanturit kertovat moottorinohjaimelle nokka-akseleiden asentotiedon ja milloin sylinteri on työ- tai pakotahdissa.



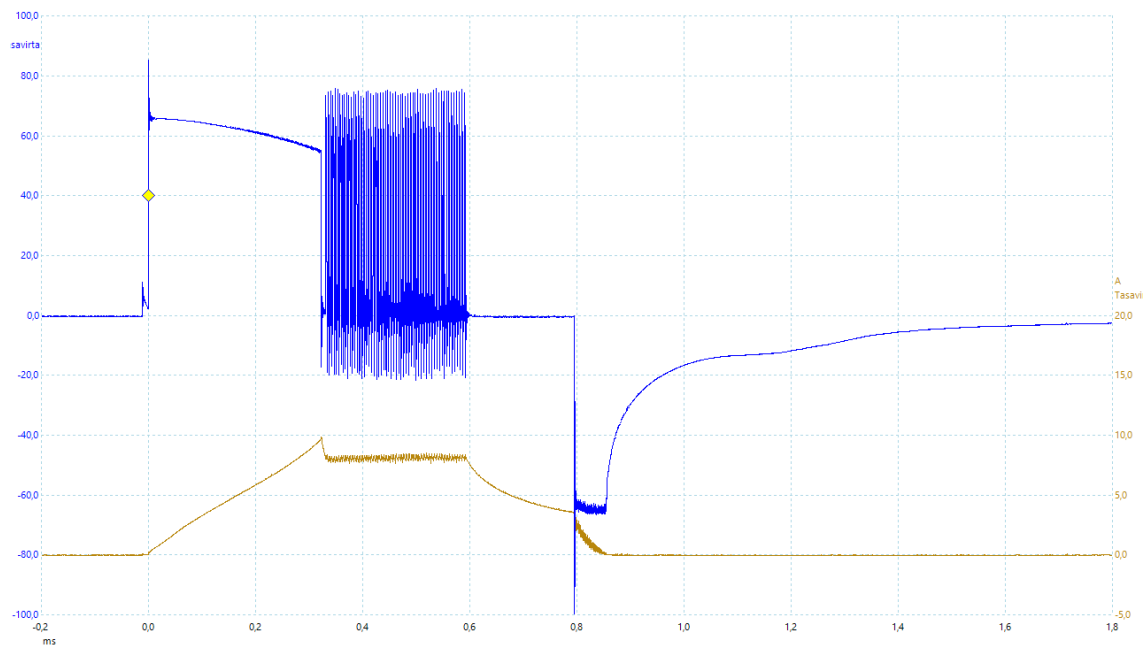
KUVIO 29. Nokka-akseleiden asentoantureiden signaali 500 ms aikajaksolla

4.2.7 Polttoainejärjestelmä

Suorasuihkusuittimesta mitattiin suuttimen napojen jännite, positiivisen navan jännite suhteessa runkoon ja negatiivisen navan jännite suhteessa runkoon suuttimen toiminnan ja ohjauksen havaitsemiseksi. Mittausten tarkoituksena oli selvittää moottorinohjaimen korkeajännitepiirin toimintaa ja

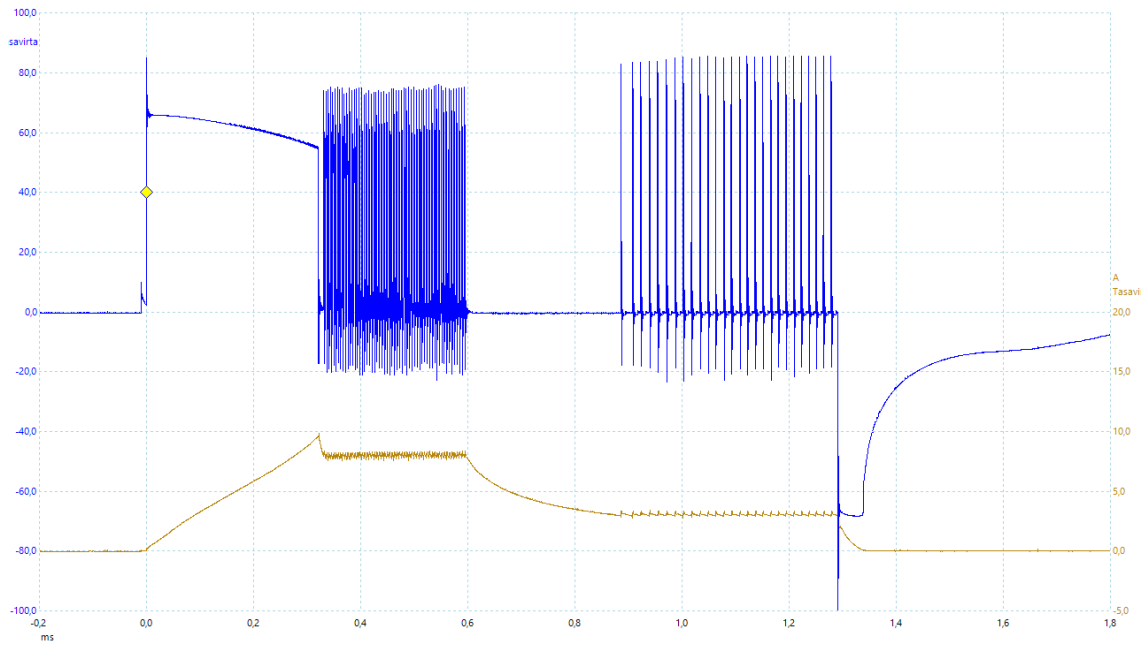
havainnoida suuttimien tunnistamista oskilloskooppikuvaajien perusteella. Mittaukset suoritettiin joutokäynnillä ja kuormitettuna suuttimen toiminnan muutoksen havaitsemiseksi.

Kuviossa 30 on esitetty suorasuihkusuuttimen napojen välinen jännite ja suorasuihkusuuttimen virta joutokäynnillä. Kuvioista voidaan havaita pieni suuttimen esimagnetointiin viittaava jännite, jonka jälkeen ilmeni 84 V:n aukaisujännite. Jännite aleni hitaasti sähkövirran kasvaessa ja kondensaattorin varauksen ehtyessä, kunnes moottorinohjain rajoitti suuttimen virtaa katkoen noin 57 V:n jännitettä. Lopuksi suutin sulkeutui ja tuotti vastakkaissuuntaisen itseinduktiivisen jännitepiikin.



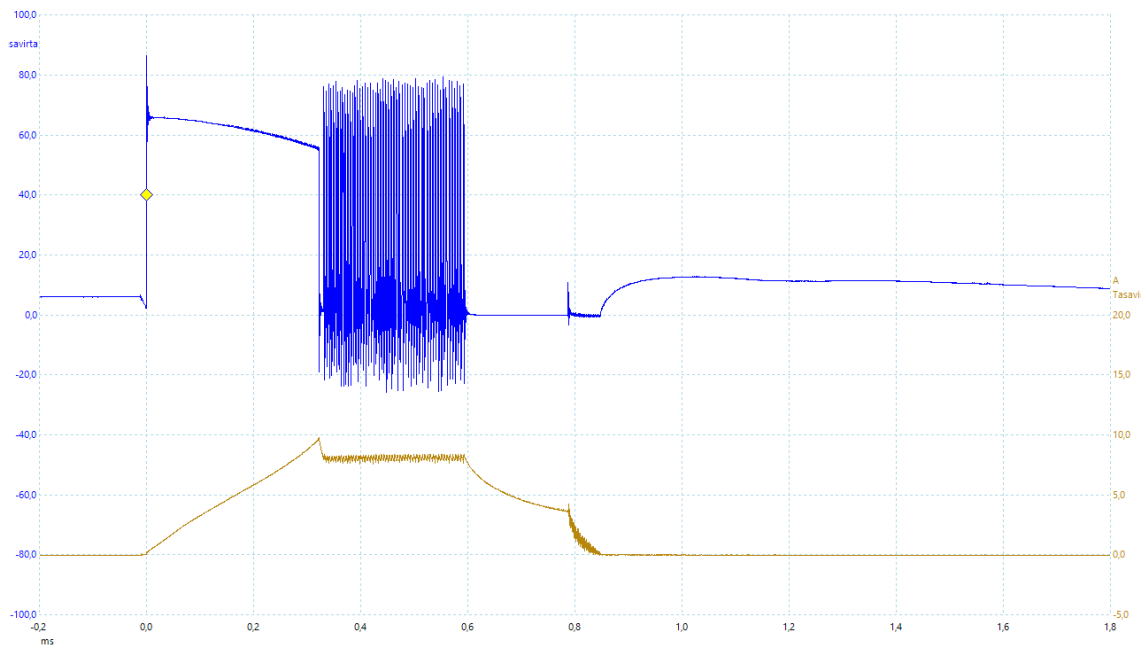
KUVIO 30. Suorasuihkusuuttimen napojen välinen jännite ja suorasuihkusuuttimen virtakuvaaja joutokäynnillä

Kuviossa 31 moottoria kuormitettiin, jolloin suuttimen aukipitoaika piteni merkittävästi. Kuormitustilanteen pitkän aukioajan vuoksi voidaan kuvioista myös havaita matalalla aukipitojännitteellä ilmenevä virranrajoitus ja sen aiheuttamat jännitepiikit. Moottorinohjain suoritti kaksi eri jännitetason virranrajoitusta, joista jälkimmäinen ilmeni ainoastaan kuormituksen tuoman aukioajan pitenemisen seurauksena.



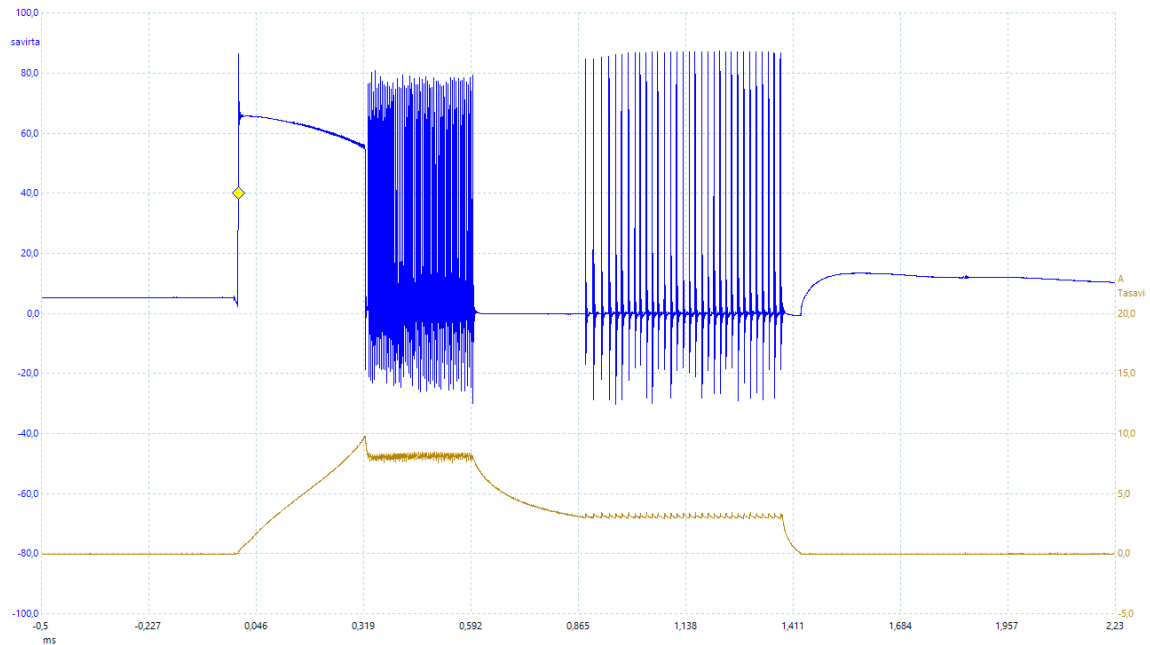
KUVIO 31. Suorasuihkusuuttimen napojen välinen jännite ja suorasuihkusuuttimen virtakuvaaja kuormitettuna

Kuviossa 32 on esitetty suuttimen positiivinen napa suhteessa runkoon. Kuvioista voidaan havaita lievä jännitteenousu suuttimen sulkeuduttua.



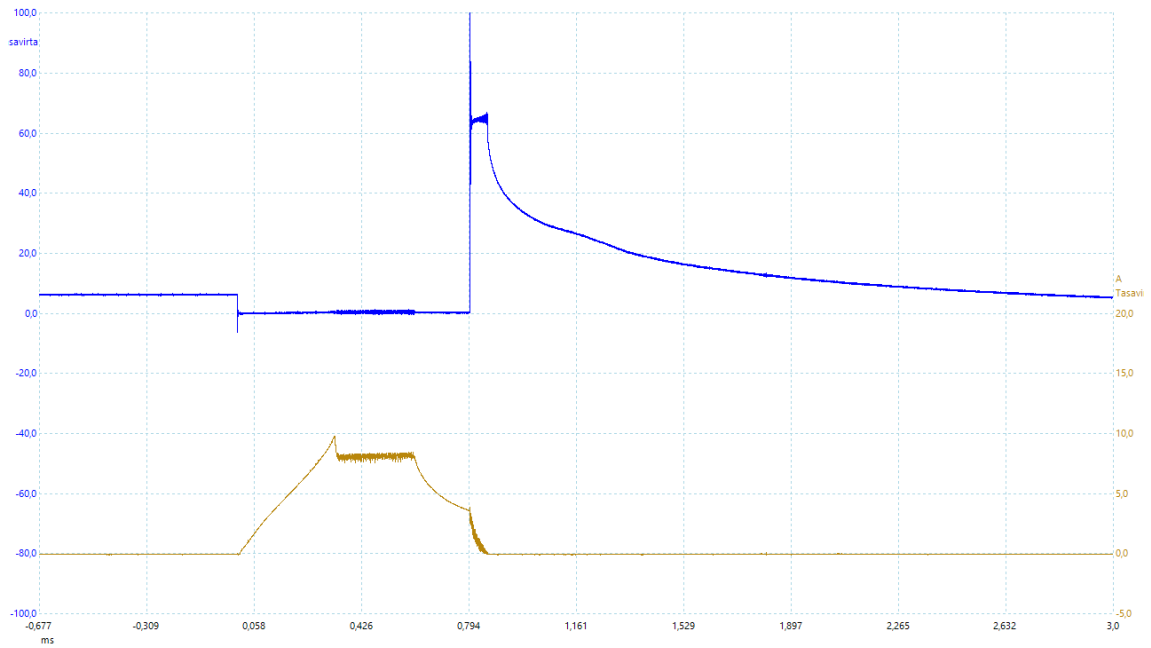
KUVIO 32. Suorasuihkusuuttimen positiivisen navan jännite ja suorasuihkusuuttimen virtakuvaaja joutokäynnillä

Kuviossa 33 on esitetty suuttimen positiivinen napa suhteessa maapisteeseen kuormitettaessa moottoria. Kuvioista voidaan havaita suuttimen virranrajoitusten tuottamat jännitepiikit. Ensimmäinen virranrajoitus oli 8,1 A ja jälkimmäinen virranrajoitus 3,1 A.



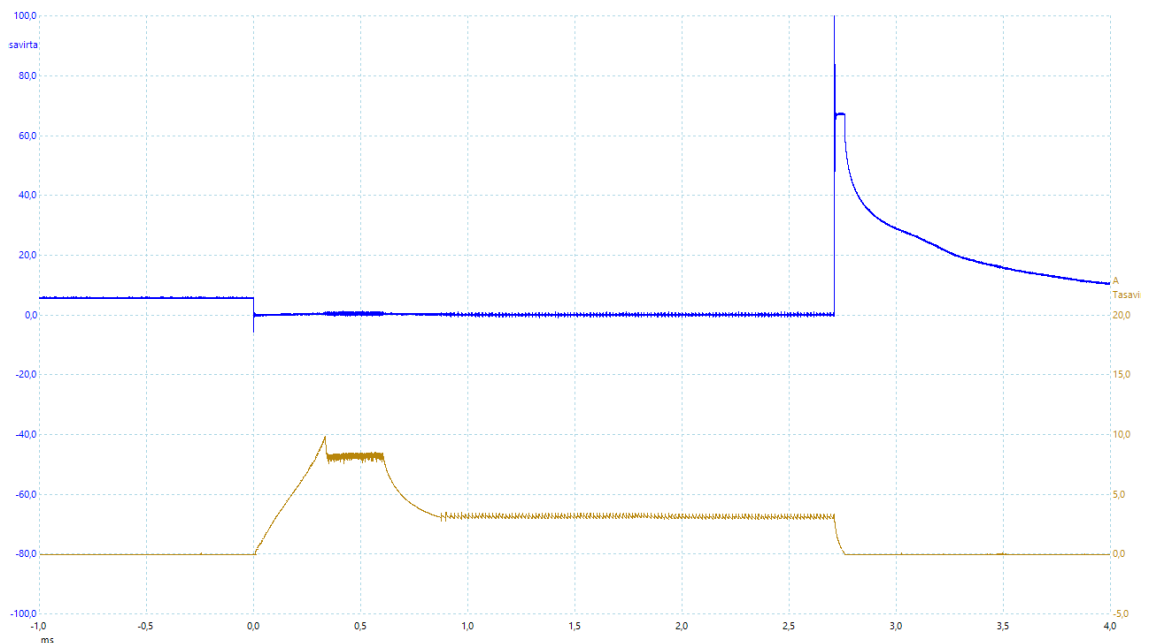
KUVIO 33. Suorasuihkusuittimen positiivisen navan jännite ja suorasuihkusuittimen virtakuvaaja kuormitettuna

Kuviossa 34 on esitetty suuttimen negatiivinen napa suhteessa maapisteeseen joutokäynnillä. Kuvioista voidaan havaita suuttimen sulkeutuessa ilmenevä jännitepiikki, joka saavutti käytetyn oskilloskoopin suurimman mittausalueen. Solenoidiin varastoituneen energian purkautuessa jännite aleni tasoittuen lähtötasolle.



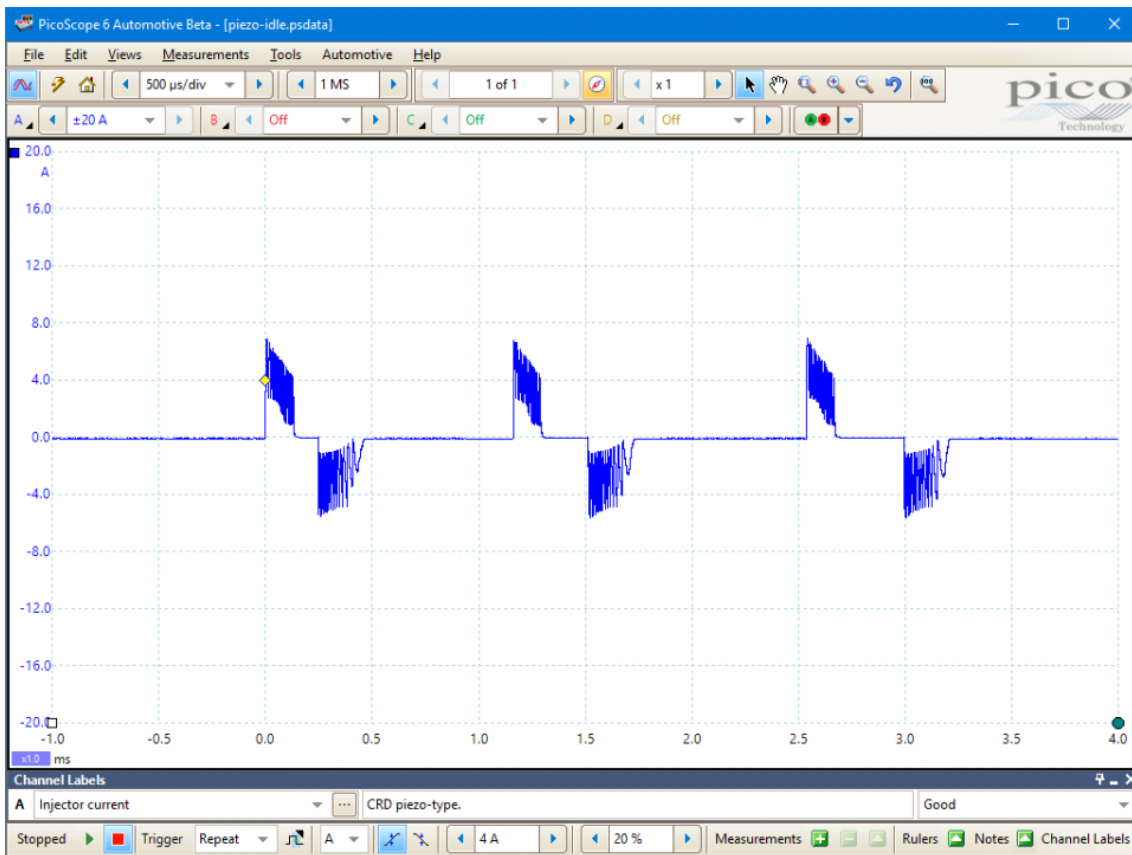
KUVIO 34. Suorasuihkusuihtimen negatiivisen navan jännite ja suorasuihkusuihtimen virtakuvaaja joutokäynnillä

Kuviossa 35 on esitetty suittimen negatiivinen napa suhteessa maapisteeseen kuormitettaessa moottoria. Kuvioista voidaan havaita virranrajoituksen toiminta ja solenoidiin varastoituneen energian purkautuminen.



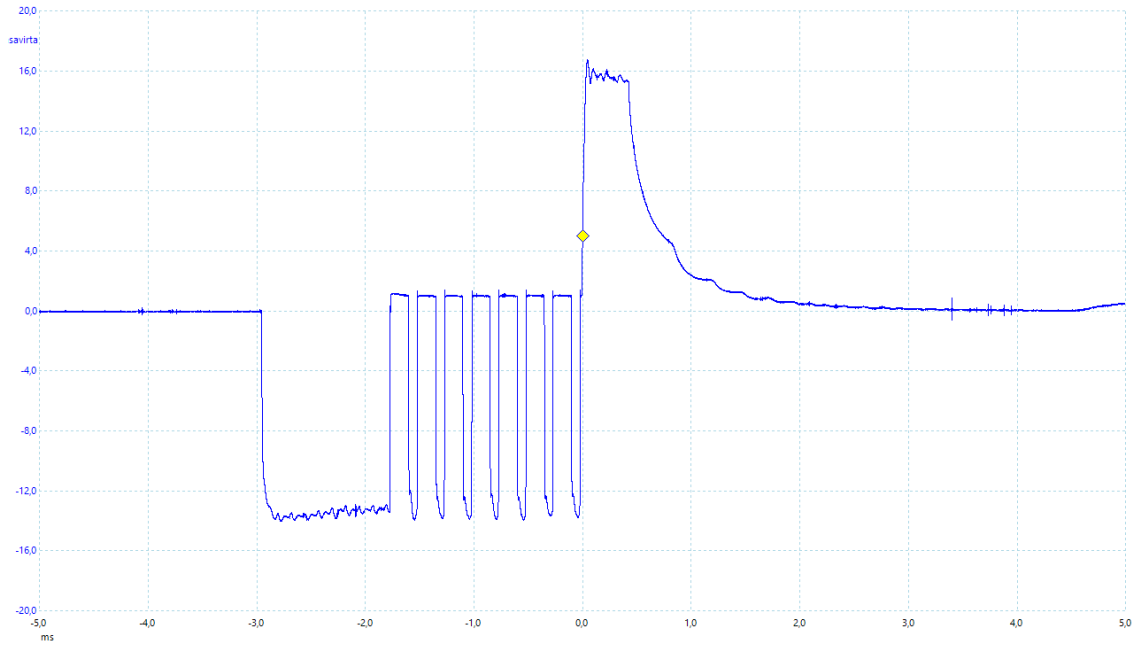
KUVIO 35. Suorasuihkusuihtimen negatiivisen navan jännite ja suorasuihkusuihtimen virtakuvaaja kuormitettuna

Opetusmoottorin suorasuihkusuutin on mittausten perusteella tyypiltään magneettisuutin, sillä virtakuvaajissa ilmeni selvä aukipitovaihe, suuttimen sulkeutuessa ei ilmennyt pietsosuuttimelle tyypillistä purkuprosessia ja virran käyttäytyminen viittasi induktiiviseen komponenttiin. Pietsosuuttimen tyypillinen kuvaaja on esitetty kuviossa 36. Pietsosuuttimen kuvaaja poikkeaa aikaisemmin mitatusta magneettisuuttimesta merkittävästi ja osoittaa pietsosuuttimelle ominaisen lataus- ja purkuprosessin, joiden välisenä aikana ei ilmene aukipitovirtaa. Kuviossa 36 on toteutettu kolme erillistä suihkutusta, joista jokainen sisältää pietsosuuttimen aukaisun, aukipitovaiheen ja sulkeutumisen.



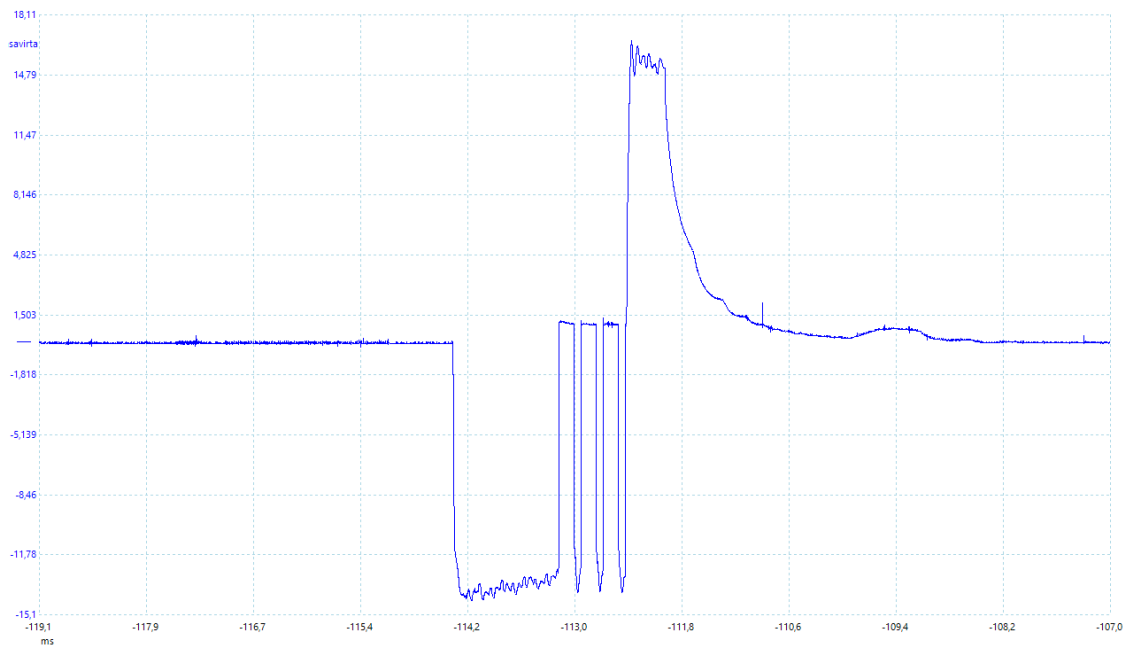
KUVIO 36. Pietsosuuttimen tyypillinen virtakuvaaja (24)

Kuviossa 37 on esitetty korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilin ohjausjännite. Kuvioista voidaan havaita moottorinohjaimen aktivoivan määräsäätöventtiilin tietyssä pisteessä ja hetken kuluttua rajoittavan solenoidiventtiilin virtaa pulssinleveysmodulaatiolla. Kuviossa ilmenee myös solenoidin sulkeutumista seuraava jännitepiikki.



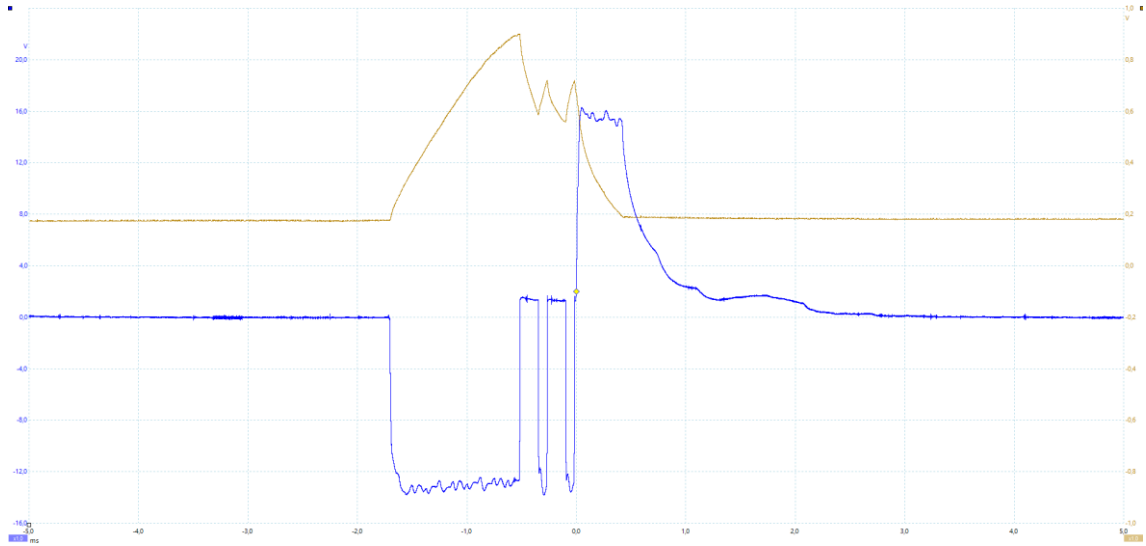
KUVIO 37. Korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilin toiminta joutokäynnillä

Moottoria kuormitettaessa korkealla käyntinopeudella korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilin toiminta-aika lyhenee kuvion 38 esittämällä tavalla. Solenoidin virranrajoitusaika on huomattavasti lyhyempi toiminta-ajan muutoksen vuoksi joutokäyntiin verrattuna.



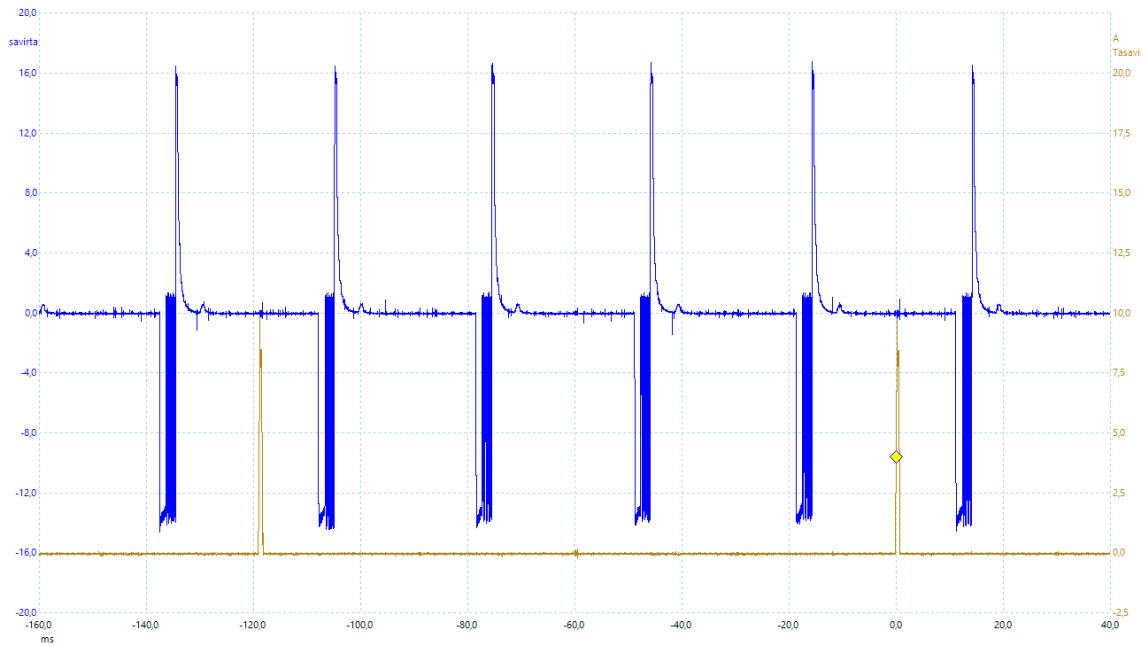
KUVIO 38. Korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilin toiminta kuormitettaessa

Korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilistä voitaisiin mitata myös sähkövirta. Kuvion 39 sähkövirtakuvaajasta voidaan havaita solenoidiventtiilin virranrajoitus ja tuotonsäätöventtiilin sulkeutumista seuraavan vastakkaisuuntaisen jännitteen sijoittuminen virtakuvaajaan.



KUVIO 39. Korkeapainepumpun tuotonsäätöventtiilin virta- ja jännitekuvaajat moottoria kuormitettaessa

Korkeapainepumpun toimintaa voitaisiin tarkastella myös suhteessa suuttimien toimintaan. Kuviossa 40 on esitetty korkeapainepumpun jännitekuvaaja yhdessä 1. suuttimen virtakuvaajan kanssa. Kuviossa voidaan havaita korkeapainepumpun pumppaavan neljästi 1. sylinterin suihkutustapahtumien välillä eli kahdesti kampaakselin kierrosta kohden. Kuviossa voidaan havaita myös korkeapainepumpun paineistavan polttoaineen erillään suuttimen aukaisukohdasta, jolloin polttoaineen jakotukin täytyy varastoida tarvittava polttoainemäärä polttoaineen suihkutusajaksi.

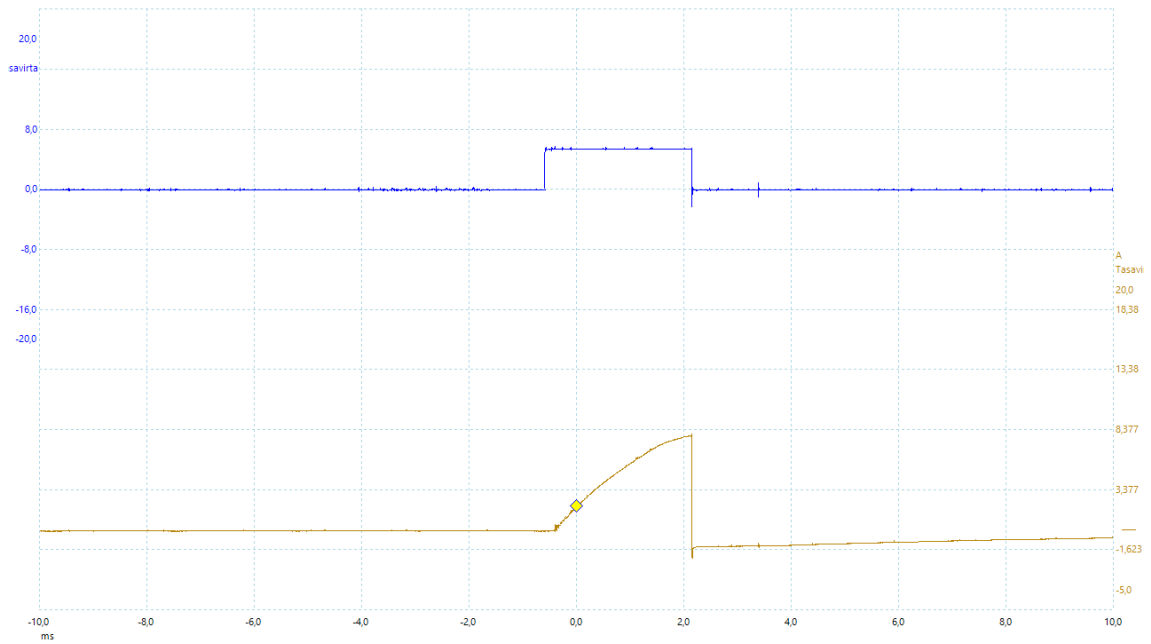


KUVIO 40. Korkeapainepumpun tuotonsäätösolenoidin jännitekuvaaja ja 1. suuttimen virtakuvaaja

Opetusmoottorissa on kuvaajien ja havainnoinnin perusteella yksimäntäinen kysyntäsäännöstelty korkeapainepumppu. Pumpun tarkkaa variaatiota ei voida määrittää tietämättä pumpun asentoa suhteessa tuotonsäätöventtiilin toimintaan, sillä variaatiot eroavat toisistaan venttiilin sulkeutumisen osalta pumpun puristusvaiheessa. Venttiili voi olla alkuvaiheen auki ja paineistaa polttoaineen puristusvaiheen loppuvaiheessa tai toisinpäin. Tämän selvittämiseksi tulisi tietää korkeapainepumpun ajoitus suhteessa pumppua käyttävän akselin asentoanturin signaaliin.

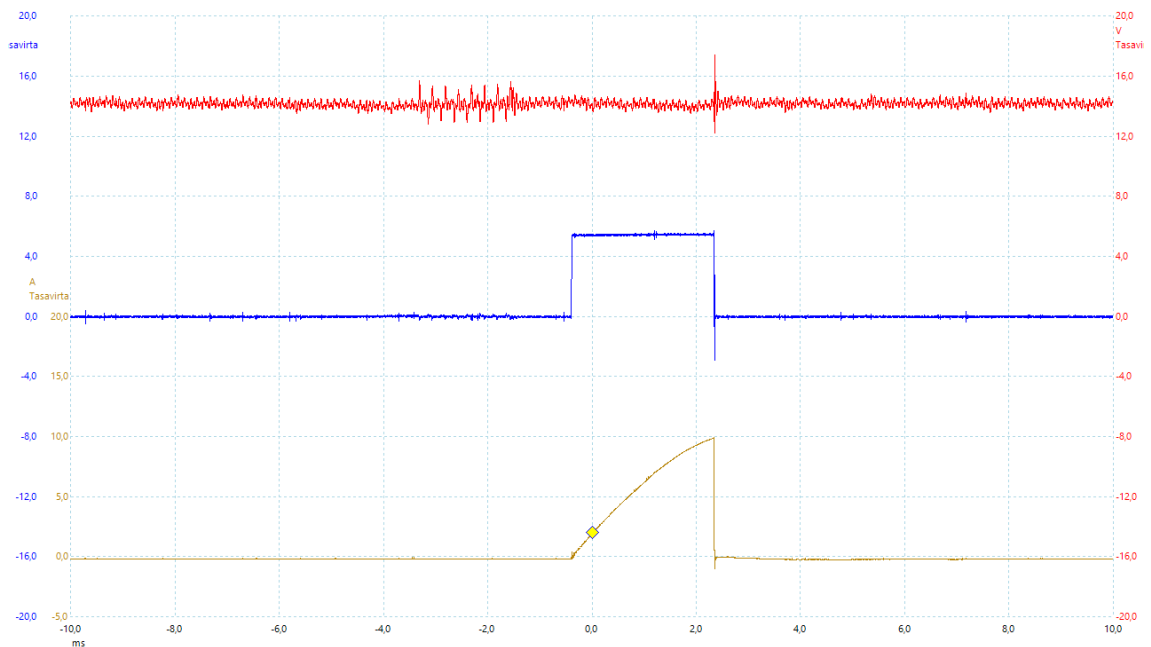
4.2.8 Sytytysjärjestelmä

Opetusmoottorissa erillinen pääteaste ohjaa sytytyspuolien toimintaa moottorinohjauksen signaloimana, koska sytytyspuolat eivät sisällä ensiökäämin kytkentään liittyviä komponentteja. Sytytyspuolan ohjaussignaali ja sytytyspuolan ensiökäämin virta on esitetty kuviossa 41. Kuvioista voidaan havaita käämin induktanssista aiheutuva virran hidas kasvu. Käämiin indusoituu magneettikentän muuttumisen vuoksi lähdejännite, joka pyrkii vastustamaan virran muutosta (12, s. 183). Sähkövirran kasvaessa myös resistanssin aiheuttama jännitehäviö kasvaa (12, s. 183). Kuvion 41 tilanteessa sytytyspuolan latausaika oli 2,8 ms ja ensiökäämin lopullinen virta oli 8,1 A. Sytytyspuolan latausaika ei muuttunut kuormitettaessa moottoria.



KUVIO 41. Sytytyspuolan ohjaus sinisellä ja ensiökäämin virta ruskealla

Tutkimustaulusta voitiin mitata sytytyspuolan syöttöjännite eli ensiökäämin positiivinen napa. Kuviossa 42 esitetystä syöttöjännitekuvaajasta voidaan havaita vain pieni muutos sytytyshetkellä. Syöttöjännite pysyi muuten vakaana. Ensiökäämin negatiivisen navan tai toisiokäämin virtapiirin mittaukset eivät olleet mahdollisia korkeiden jännitetasojen vuoksi.



KUVIO 42. Sytytyspuolan syöttöjännite punaisella, ohjaus sinisellä ja ensiökäämin virta ruskealla

4.3 Harjoitustyöohjeen sisältö

Harjoitustyöohjeessa mittaukset suoritetaan tutkimustauluun haaroitetuista liittimistä ja virtamittaukset mittauskohtaisissa osasähkökaavioissa osoitetuista sijainneista. Harjoitustyöohjetta varten selvitetyn teorian ja testimittauksien pohjalta luotiin aiemmin käytössä olleen harjoitustyön muotoa seuraava tekstidokumentti (liite 8), johon harjoitustyön tekijä liittää oskilloskooppikuvat, mitaustiedot ja käsittelee mittauksien tuloksia.

Harjoitustyöohjeen sisällössä keskityttiin käsittelemään signaaleita ja ohjausjärjestelmiä käsitteleviä kokonaisuuksia. Sisältöä kehitettiin käyttäen testimittauksien tuloksia ja työn tilaajalta saatua palautetta.

Harjoitustyöhön valittiin mittauskohteiksi kaikki tutkimustauluun haaroitetut laitteet ja anturit lukuun ottamatta imuilman lämpötila-anturia. Imuilman lämpötila-anturi ja moottorin lämpötila-anturi olivat samantyyppiset, mutta moottorin lämpötila-anturin muutos oli ilman lämpötila-anturin muutosta suurempi, minkä vuoksi ainoastaan moottorin lämpötila-anturin jännitemittaus sisällytettiin harjoitustyöhön. Jännitteenjakokytkennän jännitemittauksen pohjalta harjoitustyön suorittaja laskee toisioresistanssin ja päättelee anturin tyyppin.

Sähköisen kaasuläpän virtamittausta ei sisällytetty harjoitustyöohjeeseen sillä virtamuutokset olivat pieniä, H-sillan toimintaa ei havaittu testimittauksissa ja jännitekuvaaja yksinään kuvasi pulssinleveysmodulaation toimintaa selkeästi. Myöskään sytytysjärjestelmän ensiöjännitteen mittausta ei sisällytetty harjoitustyöohjeeseen, koska ensiökäämin positiivisen navan jännite ei korreloinut sytytyspuolan toiminnan kanssa.

Moottorin pakokaasujen ilmakerroin voitaisiin määrittää mittaamalla lambda-anturin pumppauskennon toteutunut sähkövirta. Tarkimman käytettävissä olevan virtapihdin mittaustarkkuus on kuitenkin 10 mA, kun pumppauskennon virta on alueella $-2-2,25$ mA (25, s. 2; 7, s. 4). Pumppauskennon virtaa ei siis voida mitata käytettävissä olevalla laitteistolla, minkä vuoksi harjoitustyöohjeessa käsitellään lambda-anturia vain teoreettisesti.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli luoda opetusmoottoria hyödyntävä uusi harjoitustyöohje Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojaksolle. Harjoitustyöohjeen kehittämiseksi työssä perehdyttiin laitteiden toimintaan teoriassa ja suoritettiin testimittauksia. Lisäksi työn tavoitteena oli luoda sähkökaaviot aikaisemmin rakennetun johtosarjan dokumentoimiseksi.

Tuloksena työssä tuotettiin moottorikehikon kokonaissähkökaavio ja mittausaluekohtaiset osasähkökaaviot. Lisäksi tuotettiin harjoitustyöohje, joka mahdollistaa oskilloskooppimittauksiin sekä sähkölaitteiden signaaleihin ja ohjaustapoihin tutustumisen.

Työssä havaittiin ajoneuvojen sähkökaavioiden standardoinnin puute. Sähkökaavioista on yleisesti muodostunut tietynkaltaiset, mutta ajoneuvojen sähkökaaviointia ei ole standardoitu, minkä vuoksi sähkökaaviot voivat poiketa toisistaan. Sähkökaavioita piirrettäessä selvitettiin erilaisia standardeja, joita sähkökaavioiden piirroksessa voisi soveltaa. Työssä pyrittiin keskittymään sähkökaavioiden luettavuuteen ja ymmärrettävyyteen, jotta sähkökaavioista olisi hyötyä harjoitustyötä suoritettaessa.

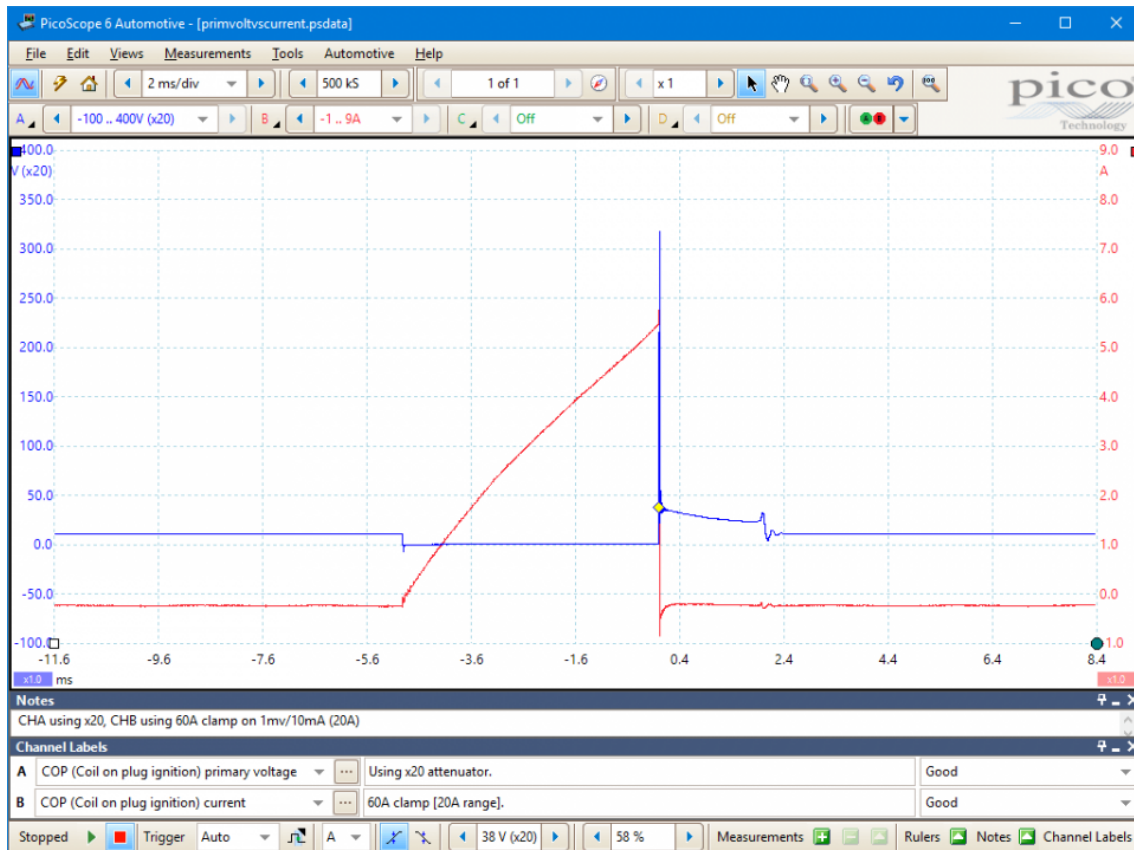
Koko järjestelmän sähkökaaviossa ongelmaksi muodostui selvyden ylläpitäminen, sillä useimmat johtimista ovat haaroitettu itse laitteen tai anturin lisäksi myös tutkimustauluun. Tämän piirtäminen selkeästi ja havainnollistavasti osoittautui haastavaksi, mutta johtimien sijoittamisessa onnistuttiin lopulta selkeästi. Selvyyttä paransi johtimien värjääminen niiden päävärin mukaan, jolloin johtimien seuraaminen sähkökaavioissa helpottui.

Harjoitustyöohje luotiin käyttäen tutkimustauluun haaroitettuja johtimia, jolloin harjoitustyön suorittajan ei tarvitse liittää mittalaitteita johtosarjan liittimiin käyttäen liitinpiikkejä, joiden käyttö saattaisi ajan saatossa vaurioittaa liittimiä. Ainoastaan jännitemittaukset on mahdollista haaroittaa, mutta pihtivirtamittarin käyttö mahdollistaa virtamittaukset vaurioittamatta johtimia tai liittimiä. Pihtivirtamittarin sijaintipaikan osoittaminen sähkökaaviota käyttäen mahdollistaa myös sähkökaavioiden lukutaidon harjoittamisen harjoitustyössä.

Harjoitustyöohjetta varten suoritettiin työssä käsitellyn teorian pohjalta testimittauksia, jotta löydettiin hyödylliset mittauskohteet ja voitiin selvittää, kuinka mittauksia tulisi ohjeistaa. Työssä suoritettiin harjoitustyöohjeeseen päätyneet mittaukset, jotta varmistuttiin harjoitustyöohjeen toimivuudesta.

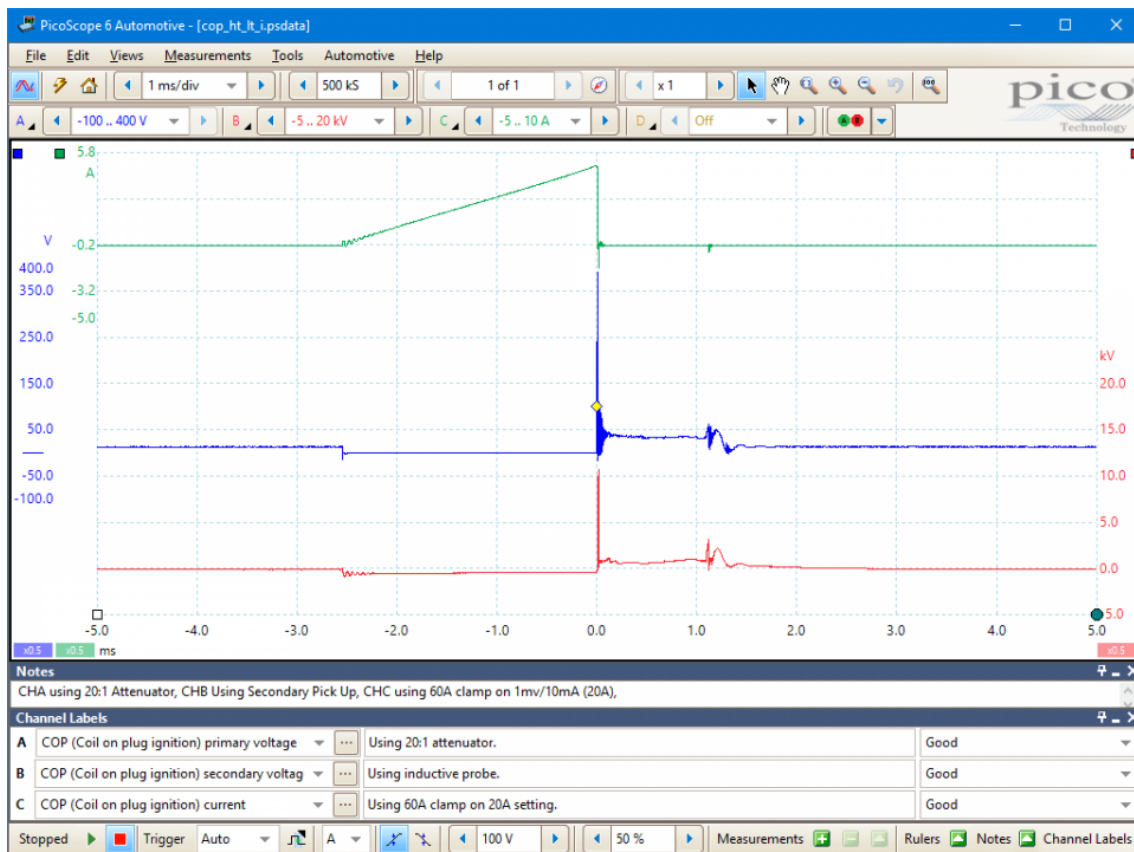
Harjoitustyöohjeen luonnissa haasteeksi muodostui mittausten muodostaminen tavalla, joka sopisi eri taustoista tuleville harjoitustyön suorittajille. Harjoitustyöohjeeseen on myös sovittava Autotekniikan sähköjärjestelmät -opintojakson sisältöön. Työn tuloksena saatiin harjoitustyöohje, joka käsittelee mittauksia ohjatusti ja mahdollistaa mittausten suorittamisen vaihtelevista lähtötiedoista huolimatta.

Harjoitustyötä voisi laajentaa käsittelemään sytytyspuolan toimintaa ensiökäämin negatiivisen navan jännitemittauksella. Tutkimustauluun tulisi kuitenkin haaroittaa uusi johdin tätä varten sytytyksenohjaimen ja sytytyspuolan välistä. Sytytyspuolan negatiivisen navan jännitekuvaaja on esitetty kuviossa 43, josta voidaan havaita virtapiirin sulkeutuminen sytytyksenohjaimen maadoittamana sekä ensiökäämin virtapiirin avautumisesta aiheutuvan virran muutoksen aikaansaama itseinduktion jännitepiikki, joka voi olla satoja voltteja (8, s. 173). Jännitteen mittaamiseksi tulisi käyttää erityistä koetinta tai signaalinvaimenninta, jotta käytettävän oskilloskoopin sallittua mittausaluetta ei ylitetä.



KUVIO 43. Sytytyspuolan ensiökäämin negatiivisen navan jännite ja virtakuvaaja (26)

Kuviosta 44 voidaan havaita, kuinka sytytyspuolan ensiökäämin negatiivisen navan jännite seuraa toisiokäämin jännitettä. Toisiokäämin suora mittaaminen vaatisi erityisen koettimen käyttöä ja sytytyspuolan irrottamisen moottorista, mikä vaatisi erillisen johtimen käyttöä sytytystulpan ja sytytyspuolan välillä.



KUVIO 44. Sytytyspuolan ensiökäämin virta vihreällä, ensiökäämin negatiivisen navan jännite sinisellä ja toisiökäämin jännite punaisella (27)

Harjoitustyöohjetta voisi laajentaa käsittelemään lambda-anturin pumppauskennon virtamittauksen, mikäli riittävän alhaisia virtoja voitaisiin mitata korkealla tarkkuudella. Tällöin voitaisiin määrittää moottorin seossuhde ja käsitellä lambda-anturin toimintaa käytännössä. Vaihtoehtoisesti lambda-antureiden toimintaa voisi tutkia MoTeC-moottorinohjaimen omaa tiedonkeruuta käyttäen tai yhdistämällä OBD-testilaitteen moottorinohjaimen.

LÄHTEET

1. Motorreviewer. Hyundai KIA 1.6L Engine (Gamma MPI/GDI/T-GDI) Specs, Problems & Reliability. Hakupäivä 24.3.2022. https://www.motorreviewer.com/engine.php?engine_id=17.
2. Juhala, Matti, Lehtinen, Arto, Suominen, Matti & Tammi, Kari 2005. Moottorialan sähköoppi. 8. uudistettu painos. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus.
3. Robert Bosch GmbH 2018. Automotive Handbook. 10. painos. Toim. Dietsche, Karl-Heinz, Reif, Konrad, Thiess, Matthias & noin 200 julkaisijaa teollisuuden, yliopiston ja korkeakoulun aloilta. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
4. Koivisto, Juha-Pekka, Mikkolainen, Pekka & Rantala, Jouko 2012. Autotekniikka 5. Autosähkötekniikan perusteet. 2. painos. Helsinki: Otava.
5. SFS-EN IEC 60757:2021. Värien kirjaintunnukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Hakupäivä 30.11.2021. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CENELEC/ID2/6/1029423.html.stx>. Vaatii lisenssin.
6. Gluu. How to write work instructions. Hakupäivä 29.3.2022. <https://gluu.biz/how-to-write-work-instructions/>.
7. Pico Technology 2022. TA018 AC/DC mA Current Clamp User's Guide. Hakupäivä 26.4.2022. https://www.picoauto.com/download/documents/manuals/TA018_60_A_BNC_current_clamp_operator_s_manual.pdf.
8. Robert Bosch GmbH 2006. Gasoline-Engine Management. 3. painos. Cambridge: Bentley publishers.
9. Van Basshuysen, Richard & Schäfer, Fred 2004. Internal Combustion Engine Handbook. Basics, Components, Systems, and Perspectives. Warrendale: SAE International.

10. Diyautotune. Valokuva. 8 1/4" 36-1 Trigger Wheel. Hakupäivä 11.4.2022. <https://www.diyautotune.com/product/8-1-4-36-1-trigger-wheel/>.
11. Robert Bosch GmbH 2013. Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. 5. painos. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
12. Inkinen, Pentti, Manninen, Reijo & Tuohi, Jukka 2003. Momentti 2. Insinöörfysiikka. 2. painos. Helsinki: Otava.
13. Honeywell. Hall Effect Sensing and Application. Hakupäivä 28.3.2022. https://www.secs.oakland.edu/~llamocca/Courses/ECE470/Lab/Honeywell_Hallbook.pdf.
14. Haiko, Timo, Salonen, Keijo & Harju, Toni 2012. Digitaalielektroniikka. Peruspiireistä sulautettuihin järjestelmiin. Helsinki: Sanoma Pro.
15. Ashok, B, Ashok, Denis S & Kumar, Ramesh C 2017. Trends and future perspectives of electronic throttle control system in a spark ignition engine. Annual Reviews in Control 44, 97–115. Hakupäivä 28.2.2022. Elsevier ScienceDirect -tietokanta. Vaatii käyttöoikeuden.
16. Digilent 2021. Valokuva. What Is an H-Bridge? Hakupäivä 23.4.2022. <https://digilent.com/blog/what-is-an-h-bridge/>.
17. AJ6 Engineering. Valokuva. A Note about Exhaust Emissions. Hakupäivä 20.4.2022. <http://aj6engineering.co.uk/exhaust-emissions/>.
18. Isermann, Rolf 2014. Engine Modeling and Control. Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines. Heidelberg: Springer.
19. Denton, Tom 2018. Automobile electrical and electronic systems. 5. painos. Abingdon: Routledge.
20. Ilomäki, Janne 2011. Oskilloskooppimittaukset työohje. Henkilökohtainen sähköpostiviesti 25.11.2021. Vastaanottaja: Mikko Mutikainen.

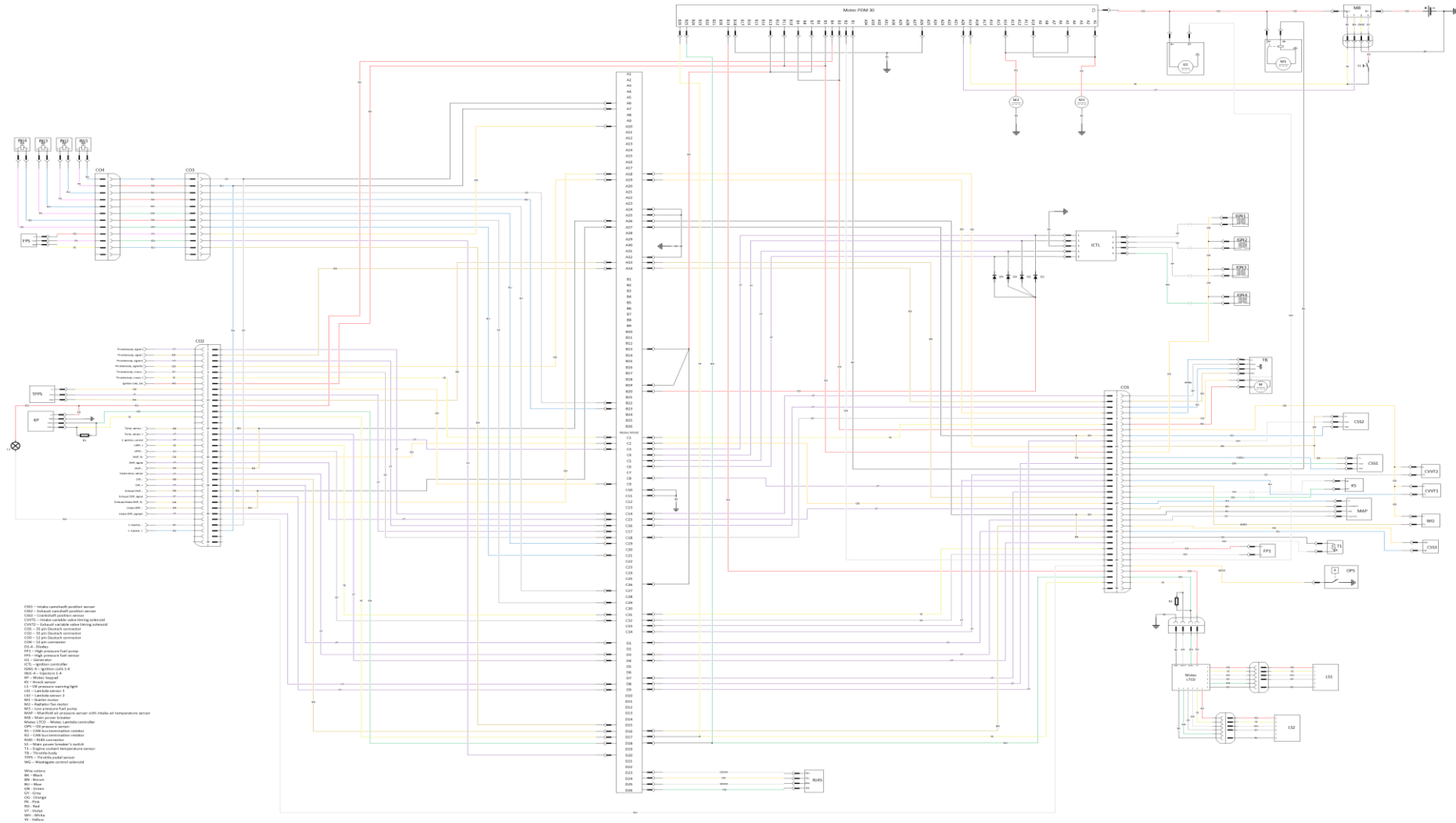
21. MoTeC 2021. M142 GPR DI M1 Package. Hakupäivä 15.10.2021. <https://www.motec.com.au/filedownload.php/CDS23008%20GPR-DI%20M1%20Package.pdf?docid=4715>.
22. Learning about Electronics. Resistor tolerance. Hakupäivä 23.4.2022. <https://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Resistor-tolerance>.
23. Haiko, Timo 2009. Analoginen elektroniikka. Komponentit, mittalaitteet, peruskytkennät, simulointi. Helsinki: WSOY.
24. Pico Technology. Valokuva. CRD (Bosch) piezo injector circuit current. Hakupäivä 5.4.2022. <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/piezo-current/>.
25. Robert Bosch GmbH 2020. Data sheet Lambda Sensor LSU 4.9. Hakupäivä 21.4.2022. https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/Resources/pdf/Data%20sheet_69034379_Lambda_Sensor_LSU_4.9.pdf.
26. Pico Technology. Valokuva. Coil-on-plug primary voltage and current (2-wire). Hakupäivä 28.4.2022. <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/primary-voltage-and-current-2-wire/>.
27. Pico Technology. Valokuva. Coil-on-plug - primary and secondary voltage (probe) with current. Hakupäivä 28.4.2022. <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/secondary-vs-primary-voltage-and-current1/>.

LIITTEET

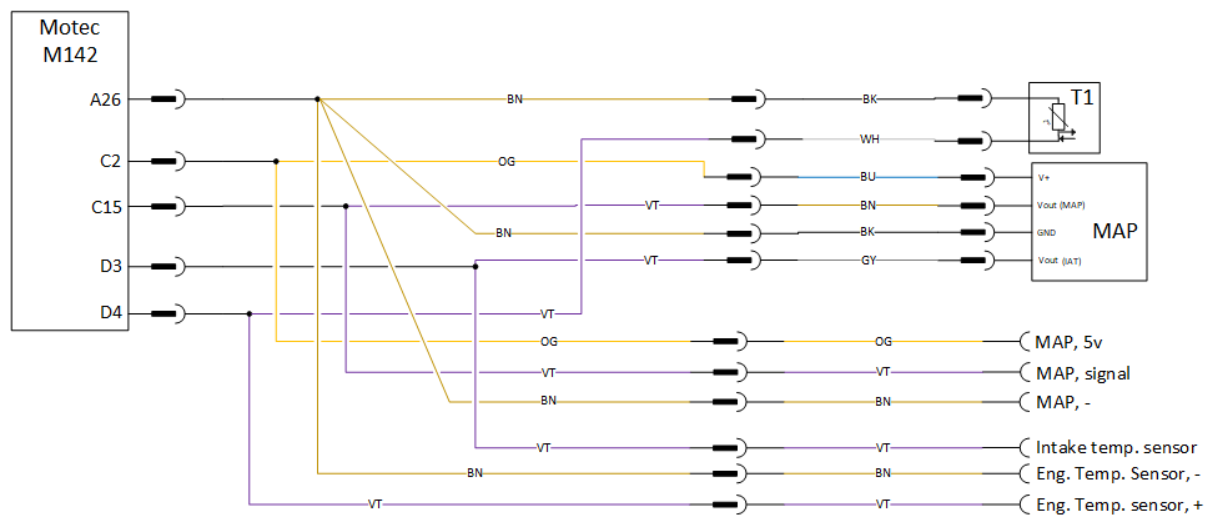
Kokonaissähkökaavio	liite 1
Osasähkökaavio, lämpö- ja paineanturit	liite 2
Osasähkökaavio, akselien asentoanturit	liite 3
Osasähkökaavio, sähköinen kaasuläppä	liite 4
Osasähkökaavio, käynnistys- ja latausjärjestelmä	liite 5
Osasähkökaavio, sytytysjärjestelmä	liite 6
Osasähkökaavio, polttoainejärjestelmä	liite 7
Harjoitustyöohje	liite 8

KOKONAISÄHKÖKAAVIO

LIITE 1



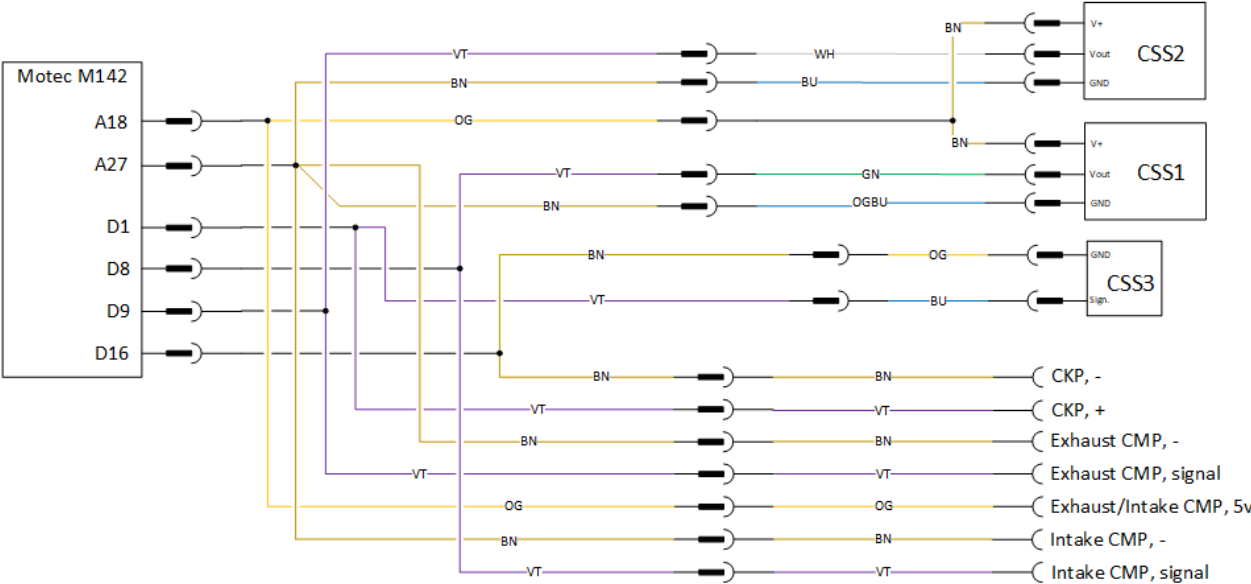
MAP, temperature sensors



T1 – Engine coolant temperature sensor
 MAP – Manifold air pressure sensor with intake air temperature sensor

Wire colors:
 BK – Black
 BN - Brown
 BU – Blue
 GN - Green
 GY - Grey
 OG - Orange
 PK - Pink
 RD - Red
 VT - Violet
 WH - White
 YE - Yellow

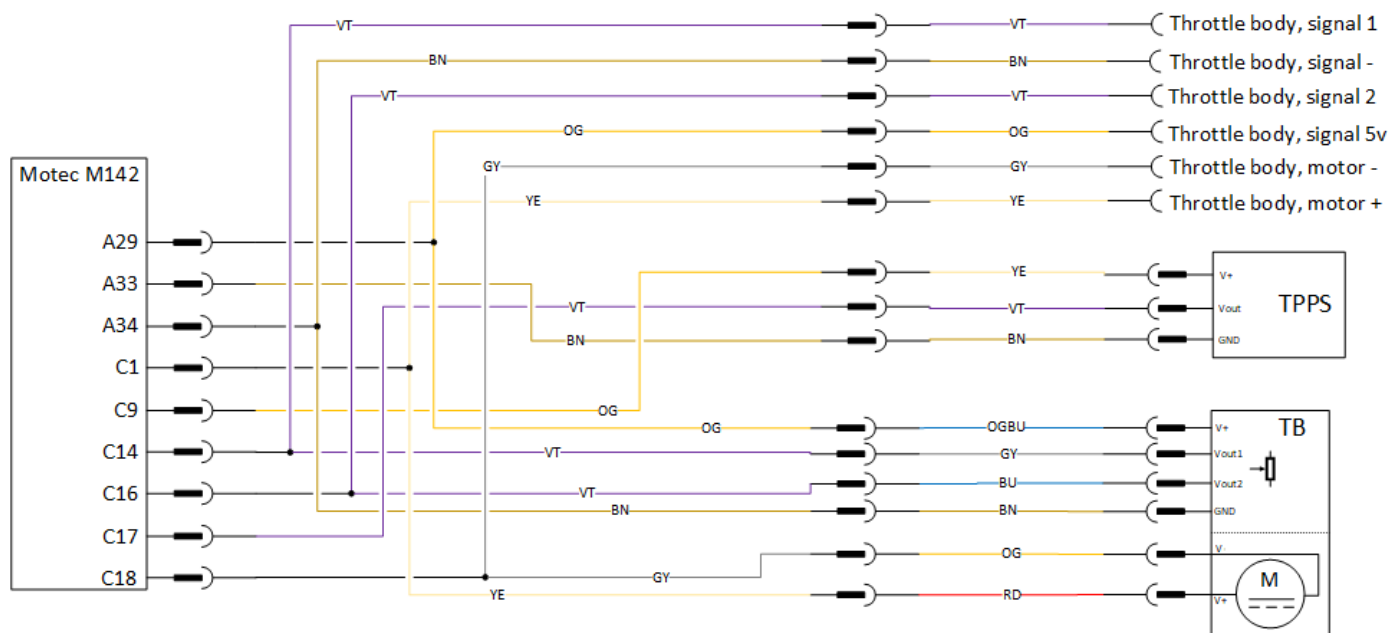
Timing sensors



CSS1 – Intake camshaft position sensor
 CSS2 – Exhaust camshaft position sensor
 CSS3 – Crankshaft position sensor

Wire colors:
 BK – Black
 BN - Brown
 BU – Blue
 GN - Green
 GY - Grey
 OG - Orange
 PK - Pink
 RD - Red
 VT - Violet
 WH - White
 YE - Yellow

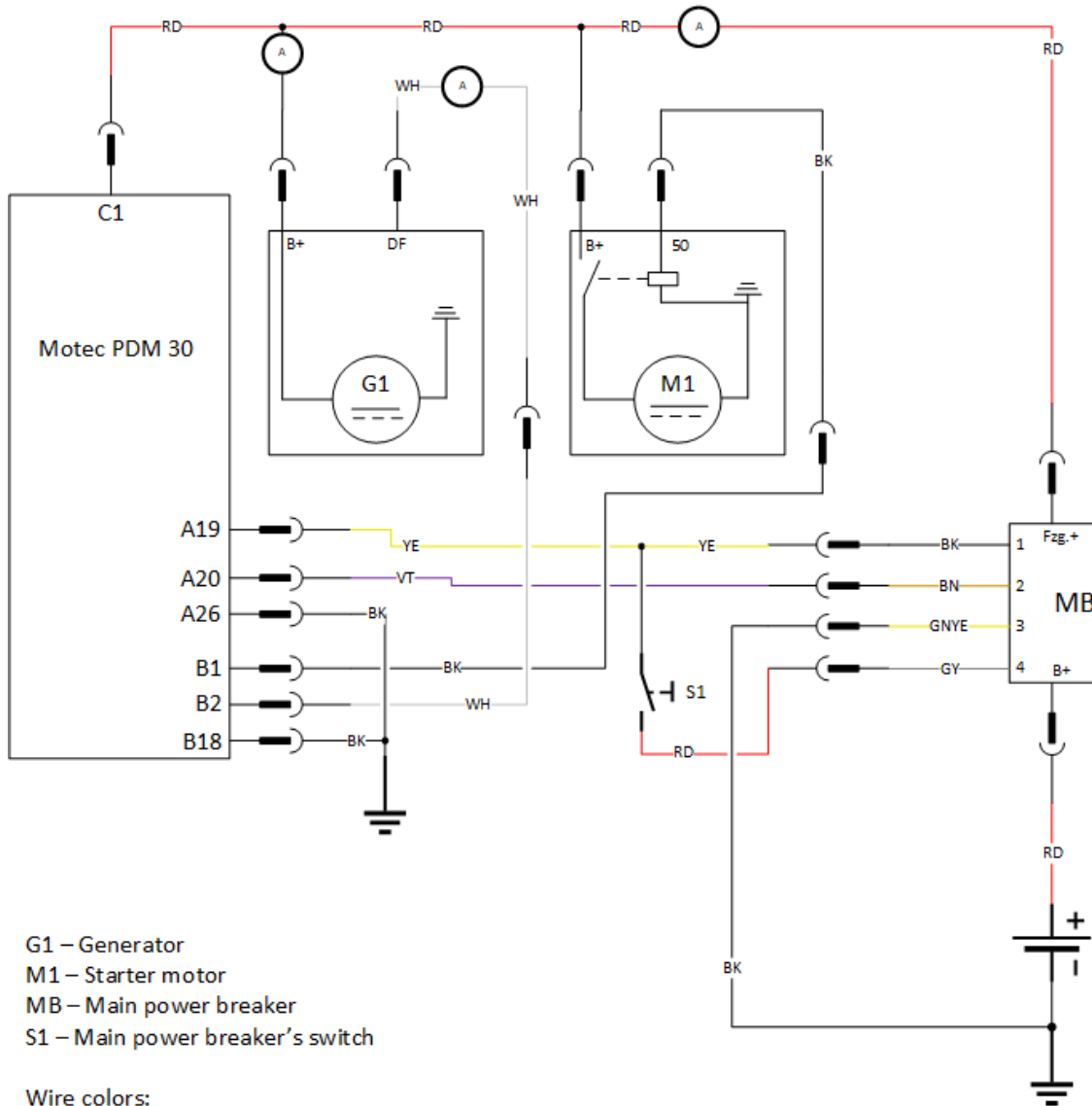
Throttle



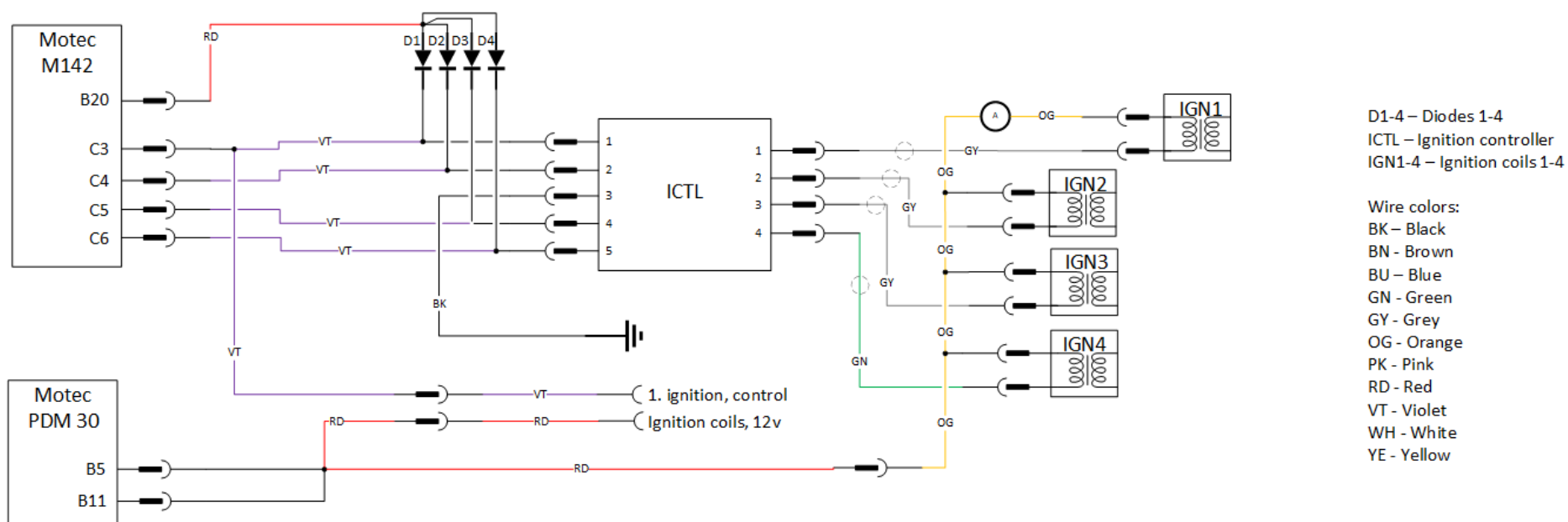
TB – Throttle body
 TPPS – Throttle pedal sensor

Wire colors:
 BK – Black
 BN - Brown
 BU – Blue
 GN - Green
 GY - Grey
 OG - Orange
 PK - Pink
 RD - Red
 VT - Violet
 WH - White
 YE - Yellow

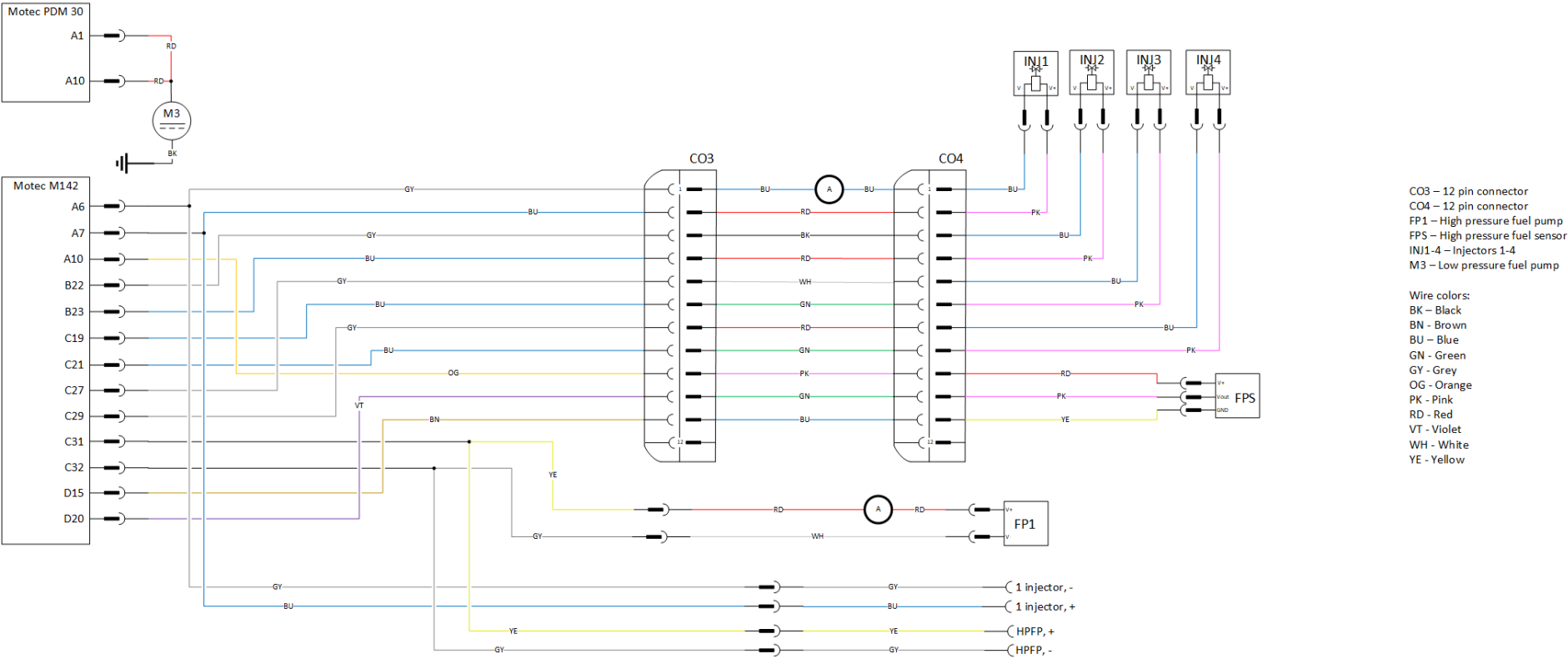
Starter, generator, main power



Ignition system



Fuel system





MITTAUSHARJOITUS OSKILLOSKOOPILLA

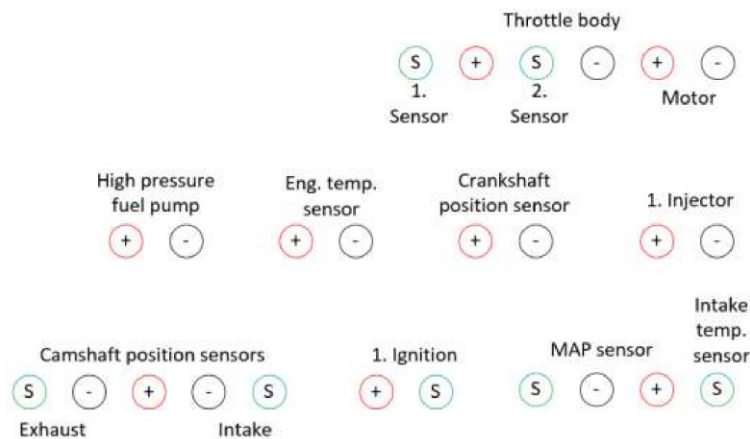
Harjoituksen tavoitteena on, että opiskelija hallitsee ajoneuvojen sähkömittauksiin liittyvät yleismitari- ja oskilloskooppimittauksien perusteet. Opiskelija hallitsee ajoneuvon sähkökaaviot, osaa mitata sekä tulkita ajoneuvon sähkölaitteista oskilloskoopilla saatuja kuvaajia.

Oppilaat lataavat mittausharjoitusohjeen omalle tietokoneelleen ja täyttävät sitä harjoituksen yhteydessä. Mittauspöytäkirja palautetaan Moodlen palautuskansioon pdf-muodossa. Työ tehdään 2-4 hengen ryhmissä.

Mittausharjoitusohjeeseen kirjataan sähkölaitteisiin liittyvät mittausravot, sanalliset vastaukset ja liitetään vaadittavat oskilloskooppikuvat. Kaikki jännitemittaukset suoritetaan tutkimustaulussa sijaitsevista banaaniliittimistä, sekä laturin ja akun navoista. Virtamittaukset suoritetaan sähkökaavioissa osoitetuista virtamittauskohdista virtapihdillä. Resistanssimittauksia ei tehdä.

PicoScope-oskilloskoopin käyttöön vaadittavan ohjelmiston voi asentaa osoitteesta <https://www.picoauto.com/downloads>. Ohjelmistoon tutustuminen etukäteen PicoScopen ohjeiden avulla on suositeltavaa. Oskilloskooppi liitetään kannettavaan tietokoneeseen USB A-liittimellä.

Kohdat 1–3 voi käydä läpi ennen moottorin käynnistämistä. Oskilloskooppikuvaajien aikaikkunan tulee olla säädetty mittauskohtaisesti sopivalle tasolle. Säädä oskilloskoopin liipaisu signaalin mukaan.



Tutkimustaulun mittauspinnit. S=signaali.

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Nimet:

Ryhmä:

1 Moottorin lämpöanturi

Mittaa moottorin lämpöanturin jännite yleismittarilla tutkimustaulun liittimistä ennen ja jälkeen muiden mittauksien. Virtojen on oltava päällä mittauksen aikana.

	Kylmä moottori	Lämmin moottori
Lämpöanturin jännite		

Selvitä kuinka moottorinohjain määrittää moottorin lämpötilan. Käytä sähkökaaviota apuna. D4-pinnissä on 1 k Ω ylösvetovastus 5 V jännitteeseen ja A26 on maa.

Kuinka määrität lämpöanturin resistanssin mittaamistasi jännitearvoista? Laske anturin resistanssi.

	Kylmä moottori	Lämmin moottori
Laskettu resistanssi		

Mikä on lämpöanturin tyyppi ja toimintaperiaate?

2 Kaasuläppä

Mittaa yhdellä kanavalla 1. anturin asentosignaalia, toisella kanavalla 2. anturin asentosignaalia (positiivinen napa signaaliliittimeen, negatiivinen vasemmanpuoleiseen maadoitukseen) ja kolmannella kanavalla kaasuläpän moottorin jännite. Paina kaasupoljinta.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Miksi asentoantureita on 2? Kuinka signaalit muuttuivat suhteessa toisiinsa?

Kuinka sähköistä kaasuläppää ohjataan?

3 Käynnistin- ja latausjärjestelmä

Aseta virtapihti käynnistinmoottorille menevään johtimeen (virta on noin 400 A). Mittaa oskilloskoopin toisella kanavalla kampiakselin asentoanturi ja kolmannella kanavalla akkujännite. Pyöritä moottoria käynnistämättä ("Ignition" ei päällä) 3 sekuntia.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Mittaa virtapihdeillä laturin heräte- ja latausvirran suuruus sekä kolmannella kanavalla generaattorin latausjännite käynnistäessä moottorin. Latausvirran virtapihdin on oltava yhtä aikaa kummankin generaattorilta lähtevän johtimen ympärillä.

Liitä oskilloskooppikuva tähän. Aikaikkuna esimerkiksi 5 s.

Ota 100 ms aikaikkunan kuva heräte- ja latausvirrasta latausjännitteen kanssa.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Analysoi käynnistimen sähkövirran käyttäytymistä oskilloskooppikuvaajassa.

Kuinka suuri oli käynnistinmoottorin suurin ja keskimääräinen teho?

Selvitä generaattorin pääkomponentit ja niiden tarkoitus. Kuinka generaattorin tuottamaa sähkötehoa säädetään?

Mitä voit päätellä generaattorin kuvaajista? Onko saatu signaali tyypillinen kunnossa olevalle generaattorille?

Selvitä akun toiminta lataus- ja käynnistysjärjestelmässä. Miten ja miksi akkujännite muuttui mittausten aikana?

4 Imusarjan paineanturi

Mittaa paineanturin jännite tutkimustaulun liittimistä. Kuormita moottoria.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Selvitä paineanturin toiminta oskilloskooppikuvan avulla.

Kuinka moottorinohjain käyttää paineanturin ja siihen integroidun lämpötila-anturin tietoa?

Selvitä vaihtoehtoisen ilmassamittarin toimintaperiaate.

5 Asentoanturit

Mittaa kolmea kanavaa käyttäen kaikkien asentotunnistimien signaalit. CKP=kampiaksieli (positiivinen ja negatiivinen napa), CMP=nokka-akselit (signaali ja negatiivinen napa).

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Selvitä kampiakselin anturin tyyppi ja toimintaperiaate.

Selvitä nokka-akselin anturien tyyppi ja toimintaperiaate.

Kuinka erotit antureiden tyyppin?

6 Polttoainejärjestelmä

Aseta virtapihti sähkökaavion osoittamaan suuttimen johtimeen (CO₄ sijaitsee imusarjan päällä). Säädä aikaikkunaksi yksi kokonainen ruiskutustapahtuma.

Mittaa 1. suuttimen jännite suuttimen napojen väliltä yhdessä virtamittauksen kanssa tyhjäkäynnillä ja kuormitettuna.

Liitä oskilloskooppikuva tähän

Liitä kuormitusilanteen oskilloskooppikuva tähän.

Mittaa 1. suuttimen positiivisen navan jännite suhteessa moottoripukin runkoon yhdessä virtamittauksen kanssa tyhjäkäynnillä ja kuormitettuna.

Liitä oskilloskooppikuva tähän

Liitä kuormitusilanteen oskilloskooppikuva tähän.

Mittaa 1. suuttimen negatiivisen navan jännite suhteessa moottoripukin runkoon yhdessä virtamittauksen kanssa tyhjäkäynnillä ja kuormitettuna.

Liitä oskilloskooppikuva tähän

Liitä kuormitusilanteen oskilloskooppikuva tähän.

Mittaa korkeapainepumpun tuotonsäätösolenoidin jännite ja virta. Säädä aikaikkunaksi yksittäinen säätötahtuma.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Luettele suutintyytit.

Selvitä suuttimen toiminta oskilloskooppikuvien avulla. Kuinka suutinta ohjataan?

Minkä tyyppinen mitattava suutin on? Kuinka tunnistit suutintyytin?

Selvitä korkeapainepumpun tuotonsäädön toiminta ja ohjaus oskilloskooppikuvaaja käytäen.

7 Sytytyspuola

Aseta pihdivirtamittari sähkökaavion esittämään virtamittarin kohtaan. Mittaa toisella kanavalla 1. sytytyspuolan ohjaussignaalin jännitekuvaaja suhteessa moottoripukin runkoon.

Liitä oskilloskooppikuva tähän.

Selvitä sytytyspuolan toiminta kuvan avulla.

Miksi sähkövirta kasvoi lineaarisesti?

8 Lambda-anturi

Tutkittavassa moottorissa on laajakaistainen lambda-anturi. Mikä on anturin toimintaperiaate ja kuinka sen toiminnan voisi tarkastaa?