

Auto & Motor
TECHNIEK

© **WWW.AMT.NL** - Dé internetsite voor de Automotive Professional

WERKPLAATS

EV2DRIVE-training elektrische aandrijving



Training bij EV2DRIVE, de werkplaats in met elektrisch aangedreven voertuigen.

Techniek van het elektrovoertuig

De elektrische aandrijving komt naar de werkplaats, al was het maar in hybridevorm. Tijd voor scholing dus. In AMT 2009/4 bezochten we al de praktische training van EV2DRIVE. Nu gaan we dieper in op de techniek met dezelfde trainers.

“Ik mag nergens meer crossen. Dus is dit een oplossing voor een probleem”, zegt EV2DRIVE-trainer Mari van der Coer terwijl hij op het videoscherm wijst. We zien Mari op zijn Quantiya door het bos razen. Hij springt over bulten en gaat plat door de bocht. De modder spat de cameraman om de oren. En het geluid? Dat is er nauwelijks. Het blijft bij een licht gezoem. Geen eekhoorn, hert of haas die zich daaraan stoort. Helaas, ook dit voordeel heeft zijn nadeel. Binnen 20 minuten moet Van der Coer terug zijn bij zijn auto met aanhanger. Lukt dat niet, dan eindigt de tocht met een boswandeling. Een Quantiya met lege batterij is namelijk niets anders dan 95 kg ballast.

Zo begint Van der Coer de dag met hét probleem van de elektrische auto, de batterij. “Een lood-accu bevat 20 Wh per kg. De Li-ion-batterij in de nieuwe Mercedes S400 haalt al 120 Wh/kg. Dat is 120 Joule per seconde maal 3600 seconden per kg, ofwel 432.000 J/kg. Een kg benzine heeft een verbrandingswaarde van 43,2 miljoen J/kg. Dat is 100 keer zoveel! Een Li-ion-batterij van 1200 kg bevat dus evenveel energie als een tankje met 15 liter benzine.”

Oef, dat zijn harde cijfers. Toch moeten we het elektrisch rijden niet te snel afschrijven: “Een benzineauto zet niet meer dan 20% van de verbrandingsenergie uit dat tankje om in beweging. Het rendement van een elektro-auto is 80%. En

dus is ‘maar’ 300 kg batterij nodig om 15 liter benzine te evenaren. Met zo’n batterij kan een zuinige elektro-auto 1 op 1 rijden, 1 km op 1 kg batterij”.

Nog niet echt indrukwekkend, maar: “Voor een hybride-aandrijving hoef je veel minder elektrische energie op te slaan. En bovendien: duurzame energiebronnen als zon, waterkracht of wind produceren allemaal elektriciteit, dus de elektrische aandrijving gaat sowieso een rol spelen”.

Plug-in Kangoo

Op naar de werkplaats. Daar staat een Renault Kangoo Elect’ Road. Die auto was in 2003 de eerste plug-in met range extender. Wat komen

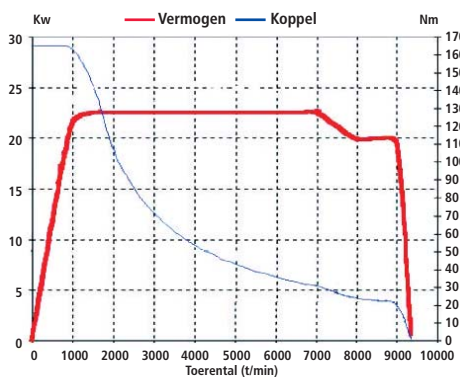


Onderzoek onder de kap van de Renault Kangoo Elect' Road. Hoe wordt de interieurverwarming verzorgd?

we allemaal tegen in zo'n voertuig? Onder de vloer twee bakken met nikkel-cadmium-batterijen. Samen zijn ze goed voor 100 Ah bij 132 V. Via de vermogenselektronica voorziet de batterij de elektromotor van stroom. Die motor is een driefase wisselstroommotor met afzonderlijke bekrachtiging. Door de statorwikkelingen in het huis van die motor in een wisselend schakelpatroon van de juiste spanning en polariteit te voorzien ontstaat een draaiend magnetisch veld. De rotor, die dankzij de bekrachtigingsstroom door zijn wikkelingen ook magnetisch is, volgt dat veld en draait daardoor rond. We bekijken de koppelkromme van de Renault elektromotor. Die begint op nul omwentelingen bij 165 Nm en daalt vanaf 1000 t/min geleidelijk naar 20 Nm bij 9000 t/min. EV2DRIVE-trainer Paul van den Berg legt uit waarom het koppel daalt: "Draait de motor, dan werkt hij ook



Trek die module er uit en de Elect' Road is spanningsloos.



Vermogen en koppel van de 3 fase DC-motor van de Kangoo Elect' Road. Hoe hoger het toerental hoe kleiner de stroom, dus hoe lager het koppel. Het vlakke stukje tussen 0 en 1000 t/min ontstaat door met PWM de stroom te beperken.

als dynamo. De draaiende rotor wekt in de statorspoelen een spanning op, tegengesteld aan de aangelegde spanning. Dus, hoe hoger het



Kijkje in de keuken van de concurrent. Erik-Jan Raymakers, technisch trainer bij Toyota bekijkt Honda IMA-techniek. EV2DRIVE-trainer Frank Bouman geeft uitleg.

Kan er nu toch nog spanning op de polen van de batterij staan?



Rubber handschoenen aan, hoofdschakelaar uit, de beschermplaat mag los.



toerental hoe kleiner de stroom die je in de motor kunt stoppen".

Omgekeerd geldt natuurlijk dat hoe lager het toerental, hoe groter de stroom. Maar waar komt dan het horizontale stuk tussen 0 en 1000 t/min vandaan? "PWM-sturing (Pulse Width Modulation) voorkomt daar dat de motor verbrandt door een te grote stroomsterkte. De motorstroom wordt geregeld door de spanning op de wikkelingen heel snel aan en af te schakelen." En snel is ook echt snel in de vermogenselektronica: "Dat schakelen en aanpassen van de aan-uitverhouding gebeurt 300.000 keer per seconde".

Als de batterijen na een kilometer of 80 leeg zijn, valt de Elect' Road niet direct stil. Tussen alle elektronica onder de motorkap staat een 500 cm³ 16 kW Lombardini-motortje. En bij het rechterachterwiel vinden we een 10-liter benzinetankje. Het motortje drijft een generator aan. Waarom niet de wielen? Onmogelijk, de Elect' Road heeft geen versnellingsbak.

Meer details: "Voor de interieurverwarming is er een elektrisch element, de stuurbekrachtiging werkt hydraulisch, maar de oliedruk wordt elektrisch geleverd en de rembekrachtiging werkt met een elektrische vacuümpomp".

Hoofdschakelaar uit, toch spanning

Renault bouwde slechts 500 Elect' Roads, dus echt vaak gaan we die niet tegenkomen in de werkplaats. Met de Honda Civic Hybrid ligt dat anders. Dus gaan we daar aan sleutelen. We gaan de NiMH-batterij uitschakelen. Voorzorgsmaatregelen: de voltmeter testen op de 12 V batterij en rubberhandschoenen bij de hand. Dan de achterbankleuning weg en de hoofdschakelaar veilig volgens de procedure in de uitstand. Nu kunnen we de metalen afscherming demonteren en zien we batterij en vermogenselektronica. Is alles veilig? Ja, de voltmeter geeft 0 Volt.

Experimentje: we zetten de hoofdschakelaar aan en schakelen het contact in. 155 V zegt de voltmeter. Als we de hoofdschakelaar nu uitzetten daalt de waarde geleidelijk. Na ongeveer een minuut is het voltage weer nul. "Let op, dat zijn de vermogenscondensatoren", waarschuwt trainer Frank Bouman. "Geef die condensatoren de tijd om leeg te lopen."

Volgende experiment: "Stel je werkt aan deze auto, hij staat in de weg dus je zet 'm even aan de kant". Oké, de hoofdschakelaar staat uit, de voltmeter geeft nul Volt en we starten de motor. De voltmeter springt naar 90 V. Hè, de hoofdschakelaar staat toch uit? "Zeker, maar de elektromotor werkt nu als dynamo", legt Bouman uit. Nu rijden we de auto weg, maar wel een beetje sportief: "Laat de motor 5000 t/min draaien en meet dan nog eens". Juist, 390 V op de polen van een 155 V batterij waarvan de hoofdschakelaar uit staat! En na afzetten van de motor duurt het nu zelfs 2,5 minuten voor de voltmeter weer op nul staat. "Kortom", concludeert

Welke motor drijft de e-auto van de toekomst aan?

Als we het voertuigpark in de trainingswerkplaats van EV2DRIVE bekijken lijken constructeurs van elektrovoertuigen weinig eensgezind bij de keuze van een elektromotor. De Quantiya-crossmotor heeft een gelijkstroommotor, de Renault Elect' Road een driefase DC-motor (zij het met koolborstels naar de rotorwikkeling) en de Tesla Roadster dankt zijn spectaculaire acceleratie aan een wervelstroommotor.

Hoe werkt zo'n wervelstroom- of inductiemotor? Mari van der Coer legt het uit: "De rotor (het anker) is geen permanente magneet, zoals bij de borstelloze 3 fase DC-motor. Maar hij wordt ook niet via slijtagegevoelige koolborstels van stroom voorzien zoals bij een gelijkstroommotor." Hoe wordt het anker dan magnetisch? Een rondraaiend magnetisch veld in de stator wekt in het anker wervelstromen op, die zelf weer een magnetisch veld, tegengesteld

Glibberen op gladde dijkjes. Koppel onderin is geen probleem voor de wervelstroommotor in de Tesla Roadster. Hoe dat kan? Antwoord: een groot toerentalverschil tussen draai veld en rotor.

aan het rondraaiend veld opwekken. Het draai veld neemt daar door het anker mee".

Koppel onderin

In principe levert zo'n motor minder koppel onderin: "Om een wervelstroom in het anker op te wekken, heb je verandering van magnetisch veld nodig. Dat ontstaat door slip, een toerentalverschil tussen draai veld en rotor. Het draai veld loopt voor op de rotor. Bij lage toerentalen is de verandering van het magnetisch veld te klein om een serieuze wervelstroom te genereren". Toch is koppel onderin geen probleem voor de Tesla Roadster: "Nee, Tesla heeft dat opgelost door het draai veldtoerental veel

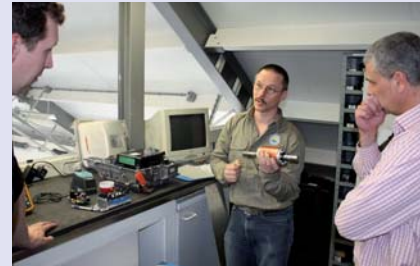
hogere te maken dan dat van de rotor, een grote slip dus. Regeltechnisch is dat wat onhandig, maar voor de moderne regeltechniek is het geen probleem meer".

Stroom opwekken

Hoe kan de Tesla regeneratief remmen als de rotor niet magnetisch is? "Goede vraag, de rotor is niet magnetisch, dus wekt de motor geen spanning op als hij aangedreven wordt. Een permanent magneetmotor doet dat wel. Om toch een magnetisch veld in de rotor op te wekken, moet hij eerst magnetisch worden. Als je het draai veld bewust achter laat lopen ten opzichte van de rotor (negatieve slip) ontstaat er een omgekeerd magnetisch veld in de rotor. Hierdoor is het mogelijk een stroom op te wekken in de stator. De opgewekte statorstroom houdt het rotorveld (de wervelstroom) in stand. Om het achterlopen van het statorveld te regelen, heb je wel een toerental sensor nodig. Ook dit is regeltechnisch complexer dan bij een permanent magneetmotor."

Steeds vaker permanent magneet

Kortom, Tesla heeft de nadelen van de wervelstroommotor ten opzichte van het 3 fase DC-type knap weggepoetst. Maar waarom koos Tesla niet gewoon voor de 3 fase DC-motor met permanente magneet? Op die vraag heeft Van der Coer geen pasklaar ant-



Mari van der Coer met de rotor van een wervelstroommotor. Geen sleepcontacten, geen permanent magneet. Hoe wekt die rotor dan een magnetisch veld op?



Met zijn gelijkstroommotor is de Quantiya-crossmotor een uitzondering. Nadeel, de borstels zijn slijtage-delen.

woord: "Misschien omdat deze techniek al heel lang wordt toegepast en gewoon voorhanden was. Bij moderne elektrische voertuigen kiest men nu vrijwel uitsluitend voor 3 fase permanent magneetmotoren".



Bouman, "werk volgens de regels, houd de sleutel in je zak en zet bij hybrides met keyless entry het contact af met de knop op het dashboard".

Terug in de accu of meteen gebruiken?

Volgende stap, als de generator achter het Lombardini-motortje in de Renault stroom opwekt om de elektromotor te voeden, met welk rendement gebeurt dat dan eigenlijk? En waarom zouden motortje en generator niet gebruikt

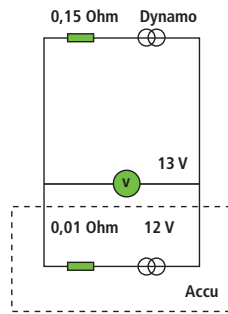
worden om de lege batterij op te laden? Om daar achter te komen, gaan we aan de slag met een dynamo en een accu uit een gewone auto. De dynamo draait 2500 t/min en we sluiten de scoop aan tussen één van de statorwikkelingen en massa. "Wat voor beeld verwacht je?", vraagt trainer Mari van der Coer. Dat is niet zo moeilijk. We meten een van de drie fases van de wisselstroomdynamo. Die geeft een sinusvormige spanning. Maar omdat we in de diodebrug meten valt de negatieve helft van de sinus

weg. Dus zullen we een halve sinus meten. Fout! Het scoopbeeld toont een halve blokspanning met, voor wie heel goed kijkt, iets schuinstaande flanken. Hoe kan dat? Dat vinden we uit door aan de stroomkring te rekenen. De inwendige weerstand van de dynamo is 15 maal die van de accu. Het gevolg: als de dynamo 28 Volt levert, staat er 15 V over zijn eigen inwendige weerstand en maar 1+12 = 13 V over de accu. De blok golf met de schuine flanken wordt nu ineens verklaarbaar. Dit is het onderste deel



De wisselstroomdynamo geeft zijn geheimen prijs.

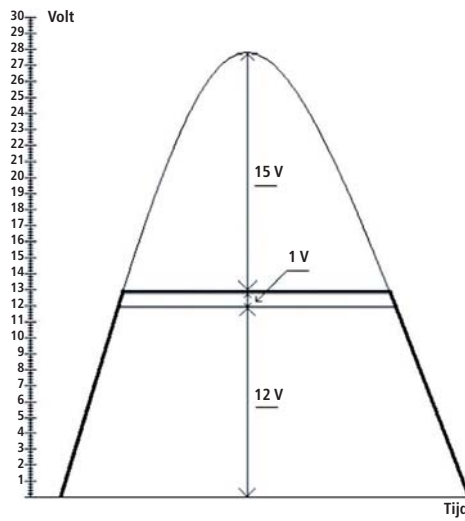
Een hoge inwendige weerstand van de dynamo en een lage inwendige weerstand van de accu geven samen een laag laadrendement.



van een sinus. Zodra de spanning van deze startfase boven de 12 V (plus de drempelspanning van de diode) komt, gaat er een laadstroom lopen. De spanning vlt dan af op 13 V door het spanningsverlies over de inwendige weerstand van de dynamo. En zo verdwijnt het bovenste deel van de sinus als warmte in de dynamo. Conclusie: het dynamorendement hangt af van de verhouding tussen de inwendige weerstanden van dynamo en belasting. Omdat die met alleen een accu als belasting heel ongunstig is, is het rendement hier theoretisch maar $1/(1+15) = 6\%$. "Gelukkig laadt de dynamo niet alleen de accu. Is de accu vol, dan voorziet de dynamo de verbruikers van stroom. Dan is de belastingsweerstand groter dan de inwendige dynamoweerstand en is het rendement veel beter. Maar ga er in de praktijk toch nog maar vanuit dat de dynamo zomaar 40% van de bewegingsenergie in warmte omzet", weet Van der Coer. De ervaringen van een Zwitserse Renault Elect' Road-rijder op EVWorld.com wijzen in diezelfde richting: "Bij continuegebruik van het verbrandingsmotortje stijgt het verbruik tot een teleurstellende 7 l/100 km. Maar omdat het grootste deel van mijn ritten korter is dan het bereik van de batterijen, heb ik het motortje gelukkig maar zo'n 10% van de tijd nodig".

Regeneratief remmen

Met hoog rendement stroom opwekken is dus lastiger dan het lijkt. Maar hoe gaat dat met regeneratief remmen? We proberen het uit met twee 12 Volt gelijkstroommotortjes en een scoop. Het eerste motortje werkt als motortje en stelt het voertuig voor. Het tweede wordt erdoor aangedreven en is dus de elektromotor van het voertuig die tijdens het remmen de bat-



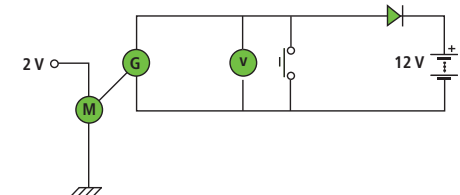
Verklaring van de blokspanning tussen fase en massa. Komt de spanning boven de 12 V, dan gaat er laadstroom lopen. Dankzij het verschil in interne weerstand is het spanningsverlies over de interne weerstand van de dynamo veel groter dan dat over de accu. Dat drukt het rendement. Is de batterij geladen dan bepalen de verbruikers de verhouding tussen de interne weerstanden en verbetert het rendement.

terij moet bijladen.

Dan stuiten we op een probleem. Het motortje draait met 12 V, maar het motortje dat elektriciteit moet leveren komt niet verder dan 10 V. Daar kan het de accu niet mee opladen. Nu sluiten we het generatormotortje heel even kort met een draad. Wauw, dat geeft een mooie spanningspiek. Op deze manier krijgen we bij 3 V motorspanning al een keurige 14 V genera-



Experiment om remenergie te regenereren. Op tafel twee gelijkstroommotortjes met een asje er tussen, een voeding, een scoop en een batterij.



Remenergie regenereren in schema. Motortje M is het voertuig, Motortje G de voertuigelektromotor die remenergie moet regenereren. Dankzij de diode en de snelle schakelaar gaat er al bij laag toerental laadstroom naar de batterij. Het principe: inductieladen.

Even voorstellen: EV2DRIVE

EV2DRIVE is het trainingsbedrijf van twee praktijkmensen, Mari van der Coer en Frank Bouman. Van der Coer was autotechnicus bij een autobedrijf, technisch specialist bij BMW Nederland en ontwikkelaar bij Vialle. Sinds 2000 is hij docent Autotechniek aan het Koning Willem I college. Ook Frank Bouman doceert daar Autotechniek. Hij is tevens diagnose-technicus in het autobedrijf van zijn vader, Wout Bouman, in Wijk en Aalburg. In dat dorp staat ook de trainingswerkplaats van EV2DRIVE. Bouman en Van der Coer krijgen hulp van een derde trainer, Paul van den Berg. Hij is elektro-technicus bij NXP. Training volgen? Kijk op www.EV2DRIVE.com.



Frank Bouman (links) en Mari van der Coer bereiden een groep cursisten voor op de komst van hybride en elektrische auto's naar de werkplaats.

torspanning. Daar kunnen we de accu wel mee opladen. Alleen jammer dat die spanningspiek zo kort duurt. Gelukkig is daar wat aan te doen. We vervangen de kortsluitdraad door een apparaatje dat continu heel snel aan en uit schakelt en we plaatsen een diode voor de accu. Kijken wat er nu gebeurt. We laden de accu met 100 mA! Dit heel snel herhaald kortsluiten wordt wel inductieladen genoemd. Dankzij dit principe is het mogelijk om al bij heel laag voltage (toerental) energie terug te winnen. "Maar", waarschuwt Van der Coer, "stel je niet teveel voor van het rendement. Win je 30% van de remenergie terug, dan doe je het al heel goed".

Hoe rijdt dat?

Tijd om dat aan den lijve te ervaren. Een rondje op de Vectrix-motorscooter leent zich daar het best voor. Gasgeven betekent lineair versnellen. Het gas de andere kant op en de motor remt met een heel redelijke vertraging. Ondertussen laadt de batterij een fractie bij en blijven de remschijven koud. Mooie techniek, goed om te begrijpen hoe het werkt.

Erwin den Hoed