

Auto & Motor
TECHNIEK

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



Emafer vliegwielf: veelbelovende techniek voor energie-opslag

Vliegwielfbus stiller, schoner en zuiniger

Energietechnisch is een stadsbus een onding, het veelvuldig optrekken en afremmen vreet brandstof. Ook past de veel gebruikte dieselmotor eigenlijk niet bij schoon en stil stadsvervoer. Het onlangs gestarte proefproject met een hybride stadsbus met rem-energieterugwinning lijkt wat dat betreft veelbelovend. De techniek is bovendien veel breder toepasbaar dan alleen bij bussen!

De techniek is afkomstig van het Centrum voor Constructie en Mechatronica (CCM) in Nuenen. Maar het idee om de bewegingsenergie van een afremmend voertuig op te slaan en weer te gebruiken is zeker niet nieuw. Al in de jaren vijftig reden in Zwitserland en België door Oerlikon gebouwde stadsbussen rond met een vliegwielf. Kenmerkend was toen het

grote volume en het daarbij behorende aanzienlijke gewicht van de installatie. Het meest nadelig was echter het economische rendement, gezien de destijds lage brandstofprijzen.

Ook Volvo heeft begin jaren 90 geprobeerd om de remenergie op te slaan. Weliswaar niet in een vliegwielf, maar in de vorm van hydraulische energie. Die werd weer

benut tijdens het optrekken. De tractie werd daarbij verzorgd door een hydrauliek motor. Dit zogenoemde Cumulo-systeem heeft weinig opgang gemaakt omdat ook hier het geheel nogal wat gewicht in de schaal bracht, het rendement relatief laag en de geluidsproductie hinderlijk hoog was. Daarnaast zocht men voor het stadsvervoer duidelijk naar stillere en schonere

CCM bouwde samen met VDT en de NZH deze van origine trolleybus om tot een bus met hybride aandrijving. Een LPG motor drijft een generator aan die vervolgens de gelijkstroommotor voedt. Groot respect verdient CCM met de ontwikkeling van het vliegwielf waarmee de remenergie wordt opgeslagen.

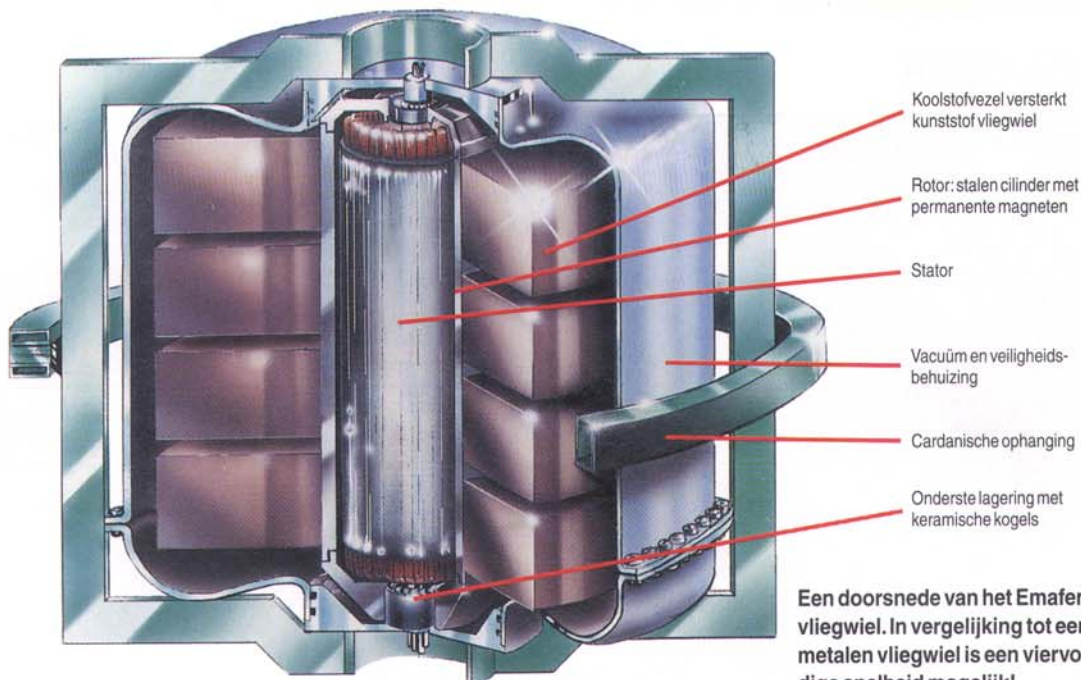
FOTO'S: CCM

alternatieven. Het is de vraag of een dieselmotor aan die wensen kan voldoen.

Elektrische tractie ideaal

Voor het stadsverkeer zou elektrische tractie een prima oplossing zijn, het maakt (bijna) geen lawaai en er ontbreken uitlaatgassen. Aan dit concept kleven echter nogal wat bezwaren. De accutechniek is voorlopig nog ontoereikend om elektrische tractie als serieus alternatief te zien. Indien men kiest voor een bovenleiding, is het de infrastructuur die de beleidsmakers kopzorgen geeft. Arnhem, waar het trolley-net al is aangelegd, heeft nog altijd moeite om extra subsidie bij het rijk los te peuteren voor de handhaving van dit schone en stille concept.

Elektrische tractie in de vorm van een hybride-aandrijving vereist geen bijzondere infrastructuur en maakt zware accu's overbodig. En dat heeft CCM samen met Van Doorne's Transmissie en de Noord-Zuid-Hollandse Vervoer Maatschappij N.V. weten te realiseren in een (van oorsprong) trolleybus van de Gelderse Vervoer Maatschappij. Overigens heeft de NOVEM de ontwikkeling en toepassing van het vliegwiel financieel ondersteund.



Een doorsnede van het Emafer vliegwiel. In vergelijking tot een metalen vliegwiel is een viervoudige snelheid mogelijk!

LPG of elektrisch

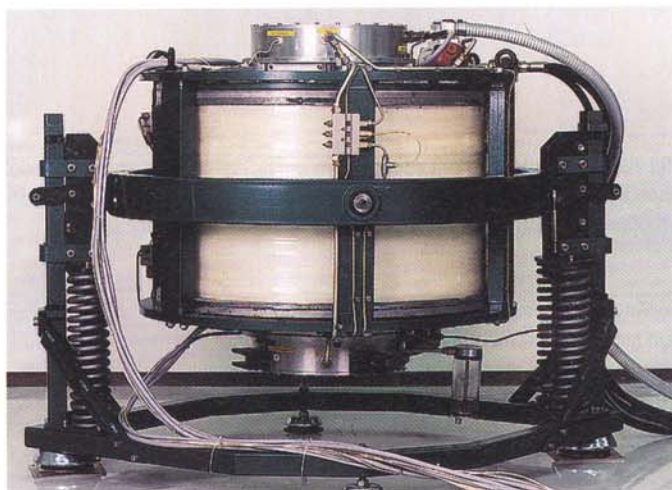
De voormalige trolleybus werd daartoe voorzien van een Audi V6 (maximaal 120 kW, optimaal werkgebied tussen 40 en 50 kW) motor die is omgebouwd voor LPG. Deze drijft een generator aan die is gedimensioneerd op 50 kW. Voor de eigenlijke tractie gebruikte men de (bestaande) 100 kW (continu vermogen) gelijkstroommotor van de trolleybus.

Het vliegwielsysteem dient voor opslag van de energie die wordt opgewekt door de LPG-generator en die vrijkomt tijdens het remmen. De uitgekiende besturing zorgt er voor dat in eerste instantie de tractiemotor voldoende energie krijgt en vervolgens het vliegwiel. Deze laatste zet deze energie om in toeren. Ook de elektrische energie die tijdens het remmen wordt opgewekt, wordt omgezet in een verhoging van het toerental.

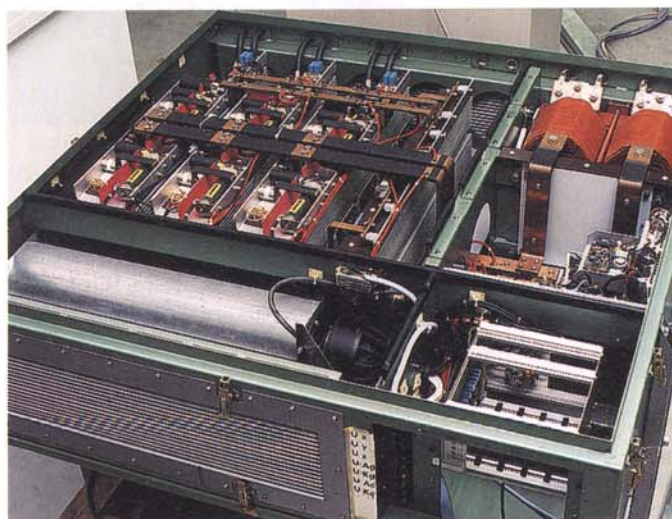
Op het moment dat de bus weer gaat optrekken, wordt het toerental van het vliegwiel omgezet in elektrische energie en voedt zo de tractiemotor. Ook hier zorgt de regel-elektronica voor een goede afstemming van de verschillende componenten.

Belangrijk voordeel van het gekozen concept is dat de verbrandingsmotor het grote piekvermogen, nodig om de bus op gang te brengen, niet meer hoeft te leveren. Zodra de massa in beweging is, is een vermogen van zo'n 40 kW toereikend, daarmee aangevend dat een dergelijk vermogen voldoende is voor stadsvervoer).

Daarnaast kan de verbrandingsmotor van de generator steeds in het meest gunstige toerengebied



Het vliegwiel bestaat uit vier koolstofvezel versterkte kunststof schijven. Doordat men heeft gekozen voor een dergelijke opbouw is het mogelijk een modulaire energie-opslagcapaciteit te bewerkstelligen. Tevens is het zo eenvoudiger om het 'bezwijkgedrag' (waarbij het vliegwiel zichzelf vernietigt) te regisseren. Het vliegwiel is cardanisch opgehangen, zodat de draaiende massa geen invloed heeft op het weggedrag.



De elektronische vermogensomzetter is op het dak van de bus geplaatst. De digitaal gestuurde hoogfrequente vermogenselektronica zorgt er voor dat alle systemen naadloos en snel op elkaar worden afgestemd.

draaien. De emissies zijn dan veel beter in de hand te houden.

Omdat de drive-ability van de bus geen nadelige gevolgen mocht ondervinden van het (hoogtoerige) vliegwiel werd dit cardanisch opgehangen. U moet hierbij denken aan de manier waarop een kompas van een schip is gemonteerd.

Snelheid in plaats van massa

De energie-opslagcapaciteit van een vliegwiel hangt af van de roterende massa en van de draaisnelheid. Vroegere concepten zochten het vooral in de massa, omdat men met het metalen vliegwiel vanwege de materiaalspanningen aan de grens zat. Maar in de formule voor het opwekken van kinetische energie telt de draaisnelheid kwadratisch. Indien men er in slaagt de snelheid te verhogen, is het effect veel groter.

CCM is daarin geslaagd met zijn Electro Mechanical Accumulator For Energy Re-use (Emafer) vliegwiel. Het grote geheim is een vezelversterkt kunststof vliegwiel dat bestaat uit vier schijven. In vergelijking met een metalen vliegwiel is nu een viervoudige snelheid mogelijk.

De motor/generator is een synchrone driefase draaistroommachine met inverse bouwwijze; dat wil zeggen dat de rotor met daarop de vliegwielschijven om de stator draait. De rotor is een stalen cilinder met permanent magneten aan de binnenzijde.

Het vliegwiel heeft een diameter van 680 mm en draait maximaal 15.000 t/min. Om u een idee te ge-

Stadsbus slaat remenergie op in vliegwiel

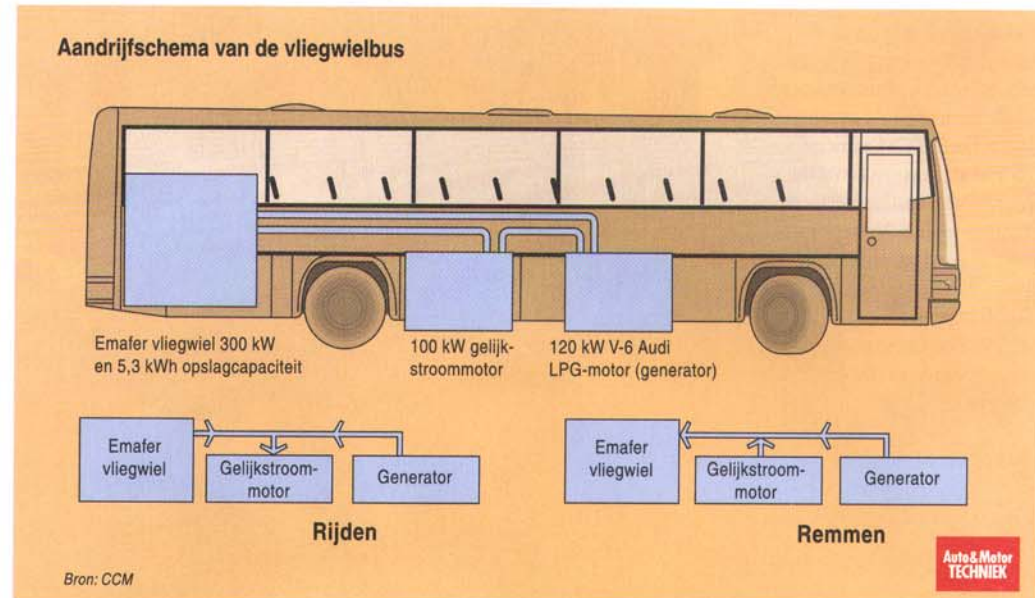
ven van de krachten die optreden: de centrifugale belasting bedraagt 100.000 g hetgeen wil zeggen dat 1 gram vliegwielmassa een belasting uitoefent van 100 kg. De omtreknelheid bedraagt bij maximaal toerental 550 m/sec.

Turbinetechniek

Om dit alles probleemloos te 'verwerken' moesten er wel wat probleempjes worden opgelost. Zoals de lagering, niet alleen de hoge toerentallen speelden bij de keuze een rol maar ook de verliezen, schokbelasting, noodloopeigenschappen en kosten. CCM kwam uit op hoogtoerige lagers voorzien van keramische kogels, net zoals die worden toegepast in vliegtuigturbines.

Trillingen zijn onder dergelijke condities uit den boze. CCM heeft gekozen voor een zelfcenterende lagering, de rotor gaat zelf zijn onbalans compenseren door om zijn massa-middelpuntas te gaan draaien.

Omdat voor de lagering vacuümcondities nodig zijn (dit in verband met de verliezen) heeft CCM behoorlijk wat creativiteit moeten stoppen in de smering en



Het vliegwielstelsel dient voor opslag van de energie die wordt opgewekt door de LPG-generator en die vrijkomt tijdens het remmen. Op het moment dat de bus weer gaat optrekken wordt het toerental van het vliegwiel omgezet in elektrische energie en voedt zo de tractiemotor.

koeling. Voor het stationaire deel kon men volstaan met een gewone vloeistofkoeling, voor het draaiende deel (in vacuüm) past CCM een soort airco-principe toe namelijk het laten verdampen en condenseren van een alcoholachtige stof.

Vanwege de veiligheid is het vliegwiel ondergebracht in een aluminium behuizing met kunststof bewapening. Dit deel zorgt tevens voor de vacuüm conditie. Ook vanwege de veiligheid hebben de constructeurs een veelvoud van voorzieningen in het ontwerp aangebracht. Zo vertonen de vliegwiel-schijven in geval van calamiteiten een zelfvernietigingsgedrag.

Het vliegwiel is in staat 5 kWh energie op te nemen en af te geven. Maar dit moet continu en zonder horten en stoten verlopen. Daarbij komt dat de (wisselende) frequentie moet worden omgezet naar een gelijkstroom om zo de koppeling met andere systemen mogelijk te maken.

CCM vond de oplossing in Gate Turn Off Thyristoren schakelementen gecombineerd met digitale besturingselektronica. Hierdoor heeft men een zeer goede, nauwkeurige en snelle aansturing weten te realiseren. Momenteel experimenteert CCM met nieuwe schakelementen (IGBT's), waarmee hogere schakelfrequenties mogelijk zijn.

Groot toekomstperspectief

CCM heeft samen met de participanten in het project een rijdende

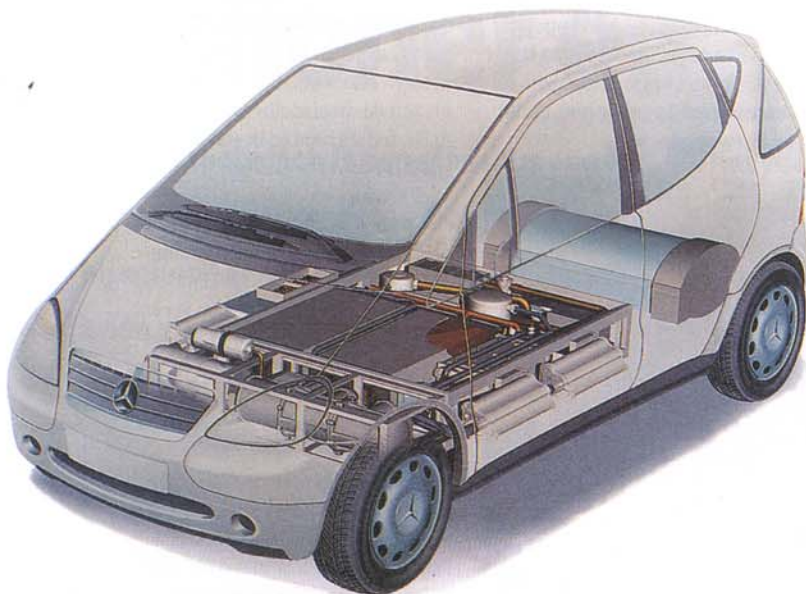
stadsbus ontwikkeld die stiller, schoner en zuiniger is.

Eerlijkheid gebiedt te zeggen dat men de bus nog niet zover heeft uitontwikkeld dat hij kan worden ingezet in een dienstrooster, daarvoor moet de techniek zijn betrouwbaarheid nog bewijzen. Daarnaast neemt het geheel nog te veel ruimte in.

Feit is wel dat men er in deze proefopstelling in geslaagd is de verschillende onderdelen aan elkaar te koppelen, zodat er een prettig rijdend vervoermiddel ontstaat. En het is gelukt om 90 procent van de energie die vrijkomt bij het remmen te hergebruiken zonder een beroep te hoeven doen op (verouderde) accutechniek. CCM heeft het Emafer vliegwiel uitgemeten op 10 miljoen lastcycli en daar zal een accu nooit aan kunnen tippen.

Het eigenlijke licht kan voor het Emafer vliegwiel wel eens gaan schijnen in samenhang met de brandstofcel. De ontwikkelaars van deze 'energiebron' zijn dan meteen verlost van het vermogensregelprobleem, het piekvermogen neemt het vliegwiel immers voor zijn rekening.

Hans Doornbos



Het door CCM ontwikkelde systeem om de energie, die tijdens het remmen vrijkomt, op te slaan en later weer te hergebruiken zou uitermate geschikt zijn voor voertuigen met een brandstofcel. Het piekvermogen wordt dan geleverd door het vliegwiel. Uiteraard moet er nog wel wat water door de Rijn stromen voor het zo ver is, het huidige vliegwielstelsel zou kleiner en lichter moeten worden voor dergelijke toepassingen. Maar de techniek is er en het werkt!