

Die ontwikkeling en implementering van 'n saamgestelde omsetter vir gebruik in sonenergiestelsels

S.J.B. Hartman

Departement Elektriese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

D.B. Snyman en J.H.R. Enslin*

Departement Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese, Universiteit van Stellenbosch, Stellenbosch 7600

Ontvang 8 Maart 1991; aanvaar 2 September 1992

UITTREKSEL

Die voorgestelde omsetter wat hier beskryf word, dien as enkelomsetter binne 'n tipiese alleenstaande sonenergiestelsel. Hierdie omsetter tree op as batterylaaier en wisselrigter, terwyl maksimum drywingspuntvolging van die sonpanele ook geïmplementeer word. Die saamgestelde omsetter beskik oor besondere hoë rendementeienskappe en is, weens die eenvoud van die stelsel, koste-effektief. Die prototipe-omsetter is geskik vir gebruik saam met 'n 96 volt-sonpaneelstelsel en 'n 24 volt-batterybank, terwyl die wisselrigvermoë van die omsetter 1,5 kVA is. Maksimum drywingspuntvolging word verrig deur die uitsetspanning en frekwensie met behulp van 'n optimiseringsalgoritme aan te pas. 'n Volledige beskrywing van die werking asook beheer van die saamgestelde omsetter word uiteengesit.

ABSTRACT

Development and implementation of a compound converter in solar energy systems

The converter proposed here is a compound photovoltaic converter system that has been implemented with a power rating of 1,5 kVA at an array voltage of 96 V, using a 24 V battery bank. The converter system combines the functions of inversion, battery regulation and maximum power point tracking of the solar array into a single cost-effective converter. Maximum power point tracking is performed by controlling the voltage and frequency of the AC output. A description of this converter, and an explanation of the control strategy employed, are provided together with practical results measured on the prototype converter. This compound topology has a high conversion efficiency from solar array to load.

1. INLEIDING

Hernubare energiestelsels vind al hoe meer toepassing in Suid-Afrika – veral in verafgeleë gebiede waar die nasionale netwerk nie koste-effektief uitgebrei kan word nie. Die gebruik van sonenergiestelsels vir klein huishoudings in sulke afgeleë gebiede is reeds 'n koste-effektiewe oplossing vir die verskaffing van elektriese energie.^{1,2,7,9}

Tans beloop die koste van sonpanele ongeveer \$3 per piek watt.² Hierdie hoë kapitale koste verbonde aan sonenergiestelsels noodsaak dat die omsetters wat in sodanige stelsels gebruik word, omsetters met ultrahoë effektiwiteit moet wees. Die omsetter moet daarbenewens ook so beheer word dat die sonpanele maksimaal benut word.⁵

Die saamgestelde omsetter is ontwikkel ten einde 'n enkele omsetter daar te stel wat al die benodigde funksies in 'n alleenstaande sonenergiestelsel verrig. Sulke alleenstaande stelsels vereis gewoonlik 'n 220 volt-wisselspanningsuitset, geskik om tipiese standaard huishoudelike toebehore van energie te voorsien. 'n Stoorelement is ook dikwels nodig ten einde elektriese energie gedurende die aand aan byvoorbeeld ligte en televisiestelle te voorsien. Die saamgestelde omsetter tree dus in sodanige stelsel op as wisselrigter en batterylaaier sowel as maksimumdrywingspuntvolger.

2. WERKING

'n Blokdiagrammatiese voorstelling van die saamgestelde omsetter word in figuur 1 gegee. Hierdie omsetter bestaan hoofsaaklik uit 'n middeltapmutator wat deur 'n mikro-verwerkerbeheerder beheer word.⁴

Die beheereenheid is tans geïmplementeer met behulp van 'n 80C31-gebaseerde mikroverwerkerkaart. Verskeie seine word na die beheereenheid gevoer waar dit versyfer word vir gebruik deur die beheeralgoritme. Hierdie beheerder verrig benewens die uitvoering van die maksimum-drywingspuntvolgalgoritme ook beveiliging van die batterye teen oorstromtoestande en diep ontlading.

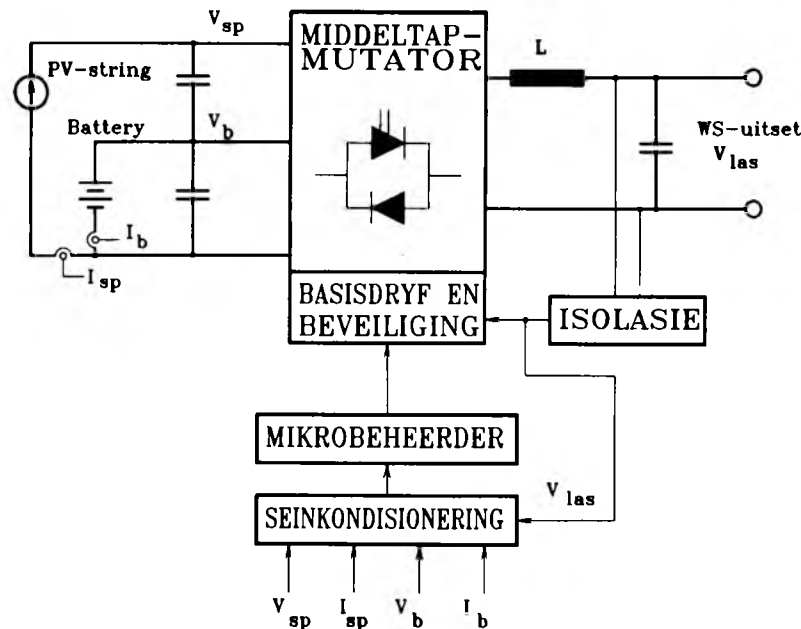
Die middeltapmutator lewer 'n wisselspanningsuitset (V_{las}), na gelang van die verwysingsein soos deur die mikro-verwerkerbeheerder gegenereer word.

2.1 Die middeltapmutator

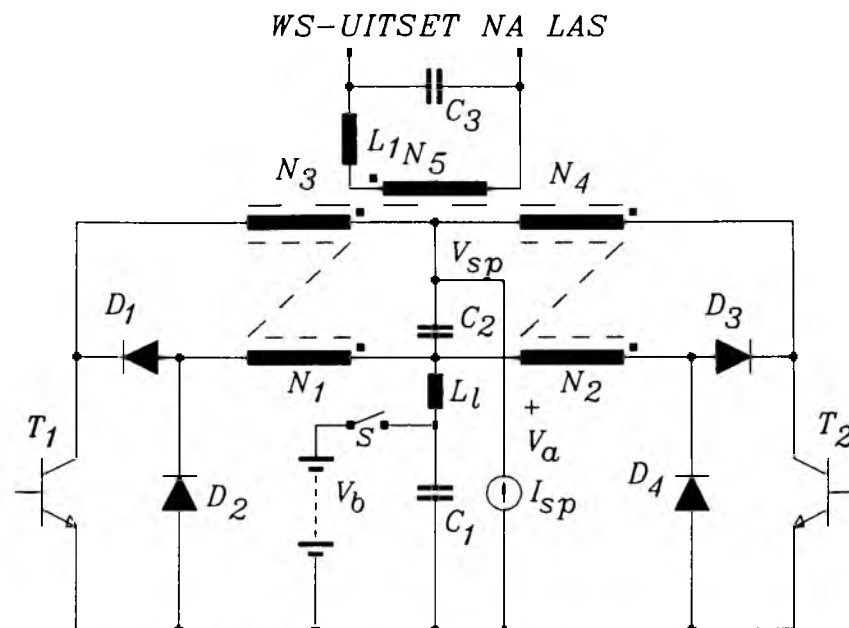
Die drywingsbaan van die middeltapmutator word in figuur 2 getoon.⁴ Die baan bestaan hoofsaaklik uit 'n 50 Hz-transformator ($N_1 - N_3$), vier diodes, twee transistors, twee kapasitore en die uitsetfilterelemente. Parasitiese lekinduktansies van die transformator word voorgestel as L_1 en L_2 .

Die windingsverhoudings van die transformator is só ontwerp dat hoogspanningsonpanele (nominaal 96 volt) saam met 'n 24 volt-batterybank gebruik kan word. Die transistors T_1 en T_2 word teen 4 kHz geskakel met behulp van die

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.



FIGUUR 1: 'n Blokdigram van die saamgestelde omsetter.



FIGUUR 2: Die drywingsbaan van die middeltapmutator.

pulswydtemodulasietegniek (PWM). Bipolêre transistors met die gekompenseerde Darlingtonkonfigurasie, wat besondere lae aanspannings tot gevolg het, word gebruik.³ Sulke effektiewe skakelaars is essensieel ten einde die rendement van die saamgestelde omsetter so hoog as moontlik te hou.

Die drywingsbaankonfigurasie laat verskeie modusse van werking toe na gelang van die transistorstuurseine en spesifieke insetspannings. Hierdie modusse word as volg uiteengesit:

2.1.1 Batteryalaal-modus (Modus 3)

In hierdie modus word die batterye vanaf die sonpanele gelaai. Wanneer T_1 aanskakel, verskyn die sonpaneelspanning (V_{sp}) oor N_3 en indien die sonpaneelspanning hoër is as die nominale waarde sal 'n spanning groter as die batteryspanning oor N_1 verskyn. In hierdie geval sper diode D_1 en stroom vloei

deur diode D_2 deur die ekwivalente lekinduktansie L_p , die battery in. Dieselfde gebeur wanneer T_2 geskakel word met D_4 en D_3 . Diodes D_2 en D_4 tree in hierdie modus van werking dus op as gelykrichterdiodes. Die grootte van die stroom wat in die battery invloei, kan beheer word deur die effektiewe aantyd van die skakelaars (T_1 en T_2) te beheer.

2.1.2 Wisselrig-modus (Modusse 1 en 2)

'n Sinusvormige uitsetspanning word in hierdie modus op N_5 gegenereer deur die skakelaars T_1 en T_2 met behulp van pulswydtemodulasie. Die hoëfrekwensie-pulswydte-gemoduleerde sein word met behulp van C_3 en L_1 gefilter om die verlangde wisselspanningsuitset te lewer.

Die energie wat tydens wisselrigterwerking deur die las gebruik word, word deur die sonpanele voorsien wanneer die sonpaneelspanning hoër is as die nominale sonpaneelspanning van 96 volt. Wanneer die las meer drywing trek as

wat die sonpanele kan voorsien, sal die sonpanele die drywing beskikbaar teen die nominale spanning lewer, terwyl die batterye verdere energie sal verskaf. In die geval waar die sonpanele nie aktief is nie (byvoorbeeld in die aand), word die energie slegs deur die batterye voorsien.

Wanneer 'n wisselspanningsuitset na die las gevoer word, kan regeneratiewe strome vloei deur diodes D_2 en D_4 wat in hierdie modus dan as vryloopdiodes optree.

2.1.3 Gekombineerde wisselrigter en batteryllaier (Modusse 2 en 3)

Die saamgestelde omsetter kan ook funksioneer as 'n batteryllaier, terwyl die las van wisselspanning voorsien word. Hierdie is dan ook die modus waarin die omsetter gewoonlik gedurende die dag funksioneer.

Werking in hierdie modus geskied slegs wanneer die sonpaneelspanning hoër is as die nominale waarde. Hierdie vereiste stel dus die beperking dat die drywing wat na die batterye en las vloei, tesame gelyk is aan die sonpaneel-drywing.

2.2 Beheer van die middeltapmutator

Die middeltapmutator word beheer deur die 80C31-gebaseerde mikroverwerker wat die verlangde verwysingsein bereken en genereer. Wanneer wisselrigting uit die batterye (of die batterye tesame met die sonpanele) plaasvind, word die uitsetspanning konstant op 220 V en 50 Hz gehou.

Wanneer die saamgestelde omsetter egter as wisselrigter en batteryllaier funksioneer (die modus waarin die omsetter gedurende die grootste deel van die dag werk), is dit noodsaaklik dat die maksimum drywingspunt van die sonpanele gevolg sal word. Ten einde op die maksimum drywingspunt te bly, moet die drywing gelewer aan die batterye en las beheerbaar wees. In die geval waar die las van wisselstroom voorsien word, is gevind dat die battery se laaistroom hoofsaaklik 'n funksie is van die sonpaneelspanning.

Die lasdrywing kan egter binne perke beheer word deur die regulering van die uitsetspanning en frekwensie. Ten einde versadiging in magnetiese bane te verhoed, word die spanningsfrekwensieverhouding van die uitset deurgaans konstant gehou. Die meeste toebehore wat gedurende die

dag aangedryf word, kan oor 'n frekwensiebereik van 50 Hz tot 60 Hz funksioneer. So byvoorbeeld word gedink aan 'n induksiemotor en waterpomp waarvan die motorspoed, en sodoende die benodigde drywing, deur variasie in die toevrekwensie beheer kan word.^{6,8} Figuur 3 gee 'n blokdiagrammatiese voorstelling van die beheer van die saamgestelde omsetter.

Die hoofbeheerlusse van die omsetter is die maksimum drywingspunt (MPPT), en drywingsbeheerlus. Dié lus neem die PV-paneelspanning en -stroominset as veranderlikes en die WS-uitsetspanning en -frekwensie as beheeruitsette. Die uitsetspanning en -frekwensie word aan die hand van die maksimum drywingspunt van die sonpanele beheer. Die volt-sekonde-produk word egter altyd konstant gehou in die MPPT-lus.

Die beheerlus wat die stelselbeheer en -beveiliging onderneem, is ook verantwoordelik vir die batteryregulasies. Die stroombeveiliging vorm die binnelus van die totale beheerder.

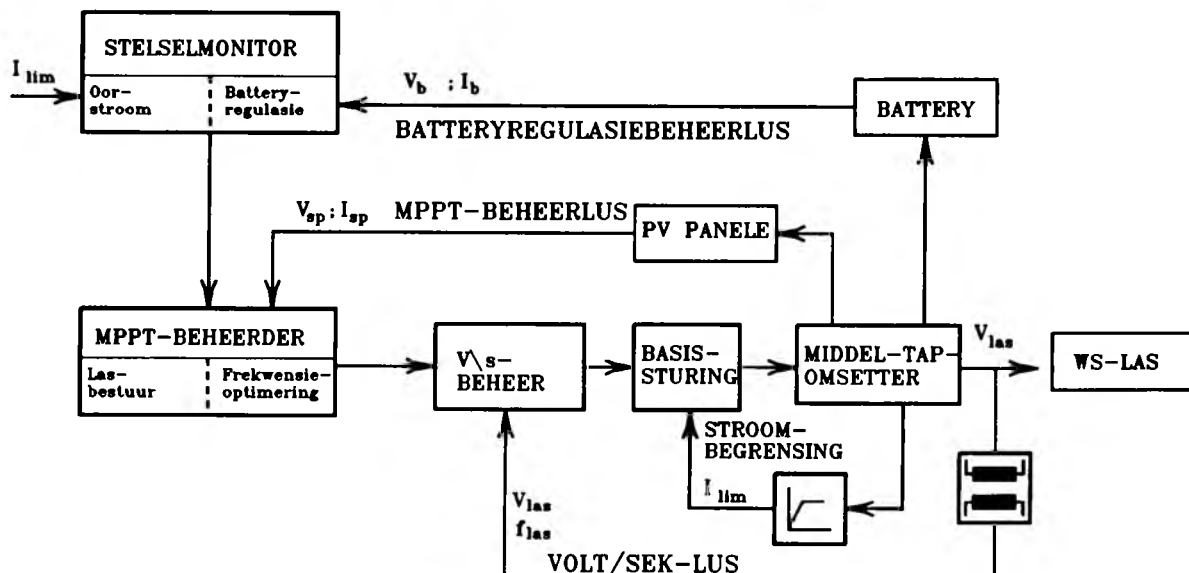
Dit is egter belangrik om daarop te let dat 'n spesifieke las gebruik kan word om die maksimum drywingspunt slegs binne 'n bepaalde gebied te volg. Die hele sonpaneelstelsel word dus so ontwerp dat deur effektiewe lasbeheer (met byvoorbeeld tydsakelaars) die sonpanele deurgaans maksimaal benut kan word.

3. EKSPERIMENTELE RESULTATE

3.1 Doeltreffendheid

Doeltreffendheidseienskappe, soos gemeet op die prototipe saamgestelde omsetter, word in figuur 4 getoon. Uit hierdie krommes is dit duidelik dat die rendement van die omsetter, veral tydens wisselrigting vanaf die sonpanele (modus 2), besonder hoog is. Hierdie hoë rendement (bokant 85% vir 'n werksgebied tussen 350 watt en 1.5 kW) is hoofsaaklik te danke aan die besonder effektiewe skakelaars, asook hoë sonpaneelspanning wat gebruik word.

Tydens wisselrigting uit die batterye (modus 1) is die rendement laer (in die orde van 72% vir 'n werksgebied van 150 watt tot 400 watt) weens die laer insetspanning en gevolglik hoër geskakelde strome. Die rendement neem met



FIGUUR 3: 'n Blokdiagram om die beheer van die omsetter te illustreer.

verdere toename in gelewerde drywing skerp af in die gebied hoër as 400 watt. Die omsetter werk egter in die aand teen 'n lae las by hierdie rendementwaardes. Die rendement van die omsetter wanneer dit as wisselrigter uit die batterye funksioneer, stem egter baie goed ooreen met huidige beskikbare batterywisselrigters.

Die rendement van die stelsel wanneer dit as batterylaaier funksioneer (modus 3), is hoër as 80% vir 'n werksgebied van 300 watt tot 1 kW.

3.2 Wisselstroomuitset

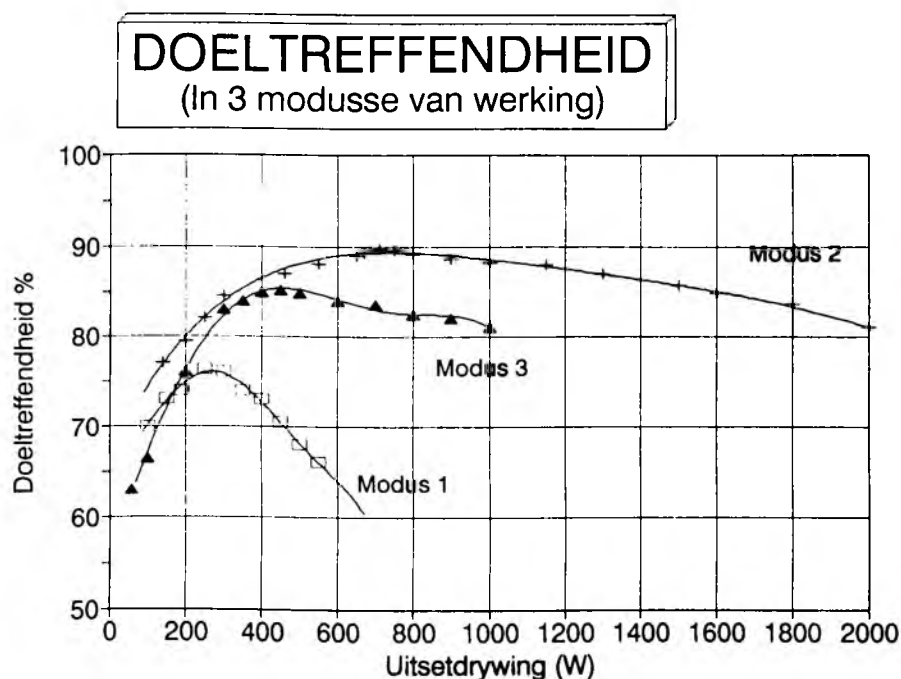
Die spanning en stroom wat aan 'n tipiese induksiemotor met las gevoer word, word in figuur 5 getoon. Die spektrumanalise van die betrokke gelewerde spanningsgolfvorm word in figuur 6 getoon.

Hierdie resultate toon dat die wisselspanningsuitset redelik goed sinusvormig deur pulswydtemodulasietegniese beheer kan word.

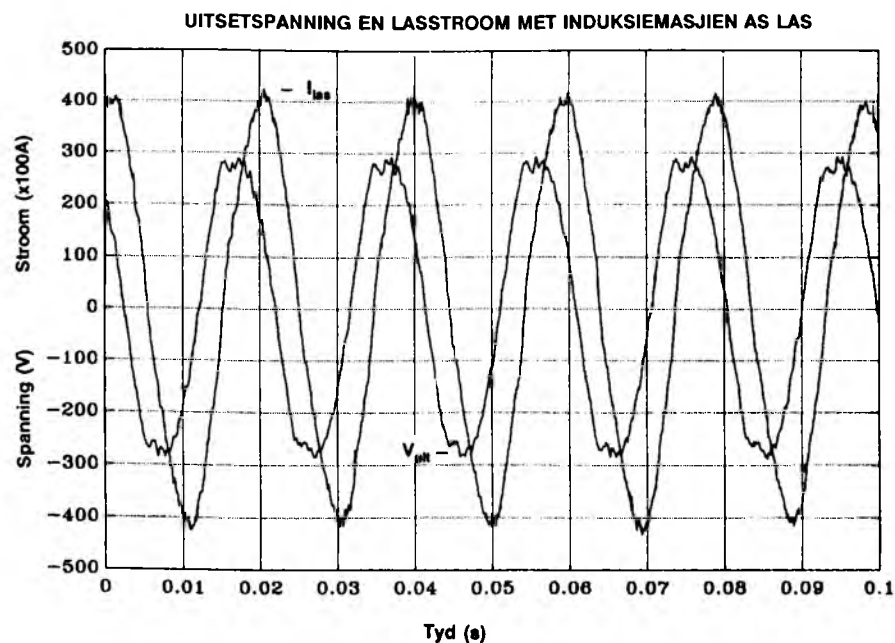
3.3 Werking as wisselrigter en batterylaaier

Wanneer die sonpaneelspanning bo die nominale waarde van 96 volt is, sal die battery gelaai word, selfs terwyl die wisselspanning die las aandryf. Indien die sonpaneel egter sou wegval, sal wisselrigting dadelik vanuit die battery voortgesit word. Figuur 7 toon aan wat met die batterystroom gebeur wanneer die sonpaneel wegval.

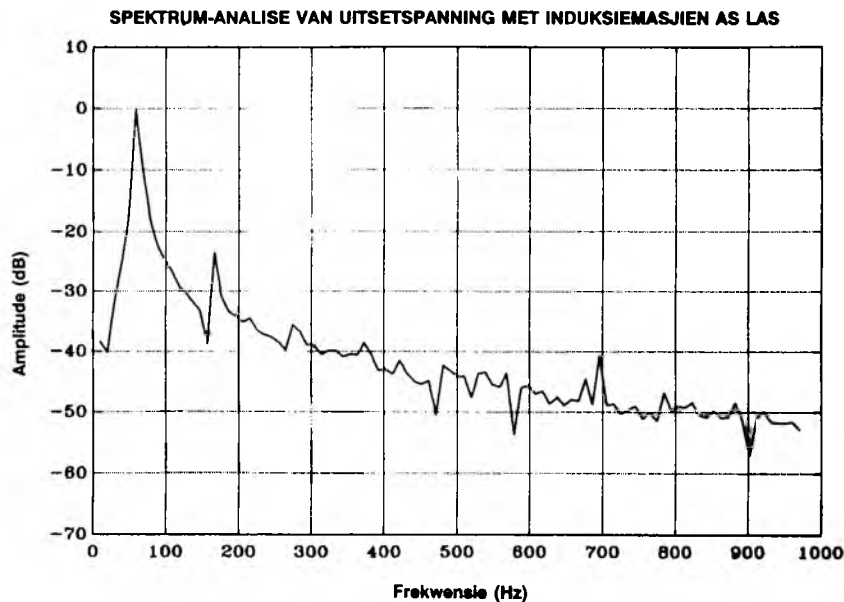
Terwyl die sonpaneel genoeg energie verskaf vir die aandryf van die las sowel as die laai van die battery, kan daar uit figuur 7 gesien word dat 'n netto negatiewe stroom in die battery invloei (battery word gelaai). Wanneer die



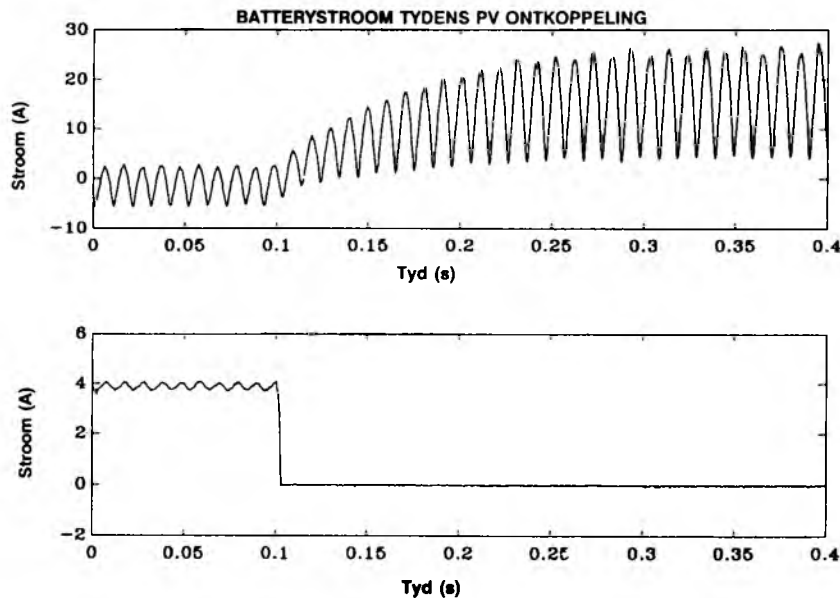
FIGUUR 4: Die rendement van 'n saamgestelde omsetter in 3 modusse van werking.



FIGUUR 5: Uitsetspanning en -stroom tydens die aandryf van 'n induksiemotor as las.



FIGUUR 6: Spektrumanalise van die spanningsgolfvorm in fig. 5.



FIGUUR 7: Verloop van die batterystroom wanneer die sonpanele wegval.

sonpaneelstroom egter na nul val, neem die batterye die lasstroom oor en voorsien die energie wat nodig is om die las te voer. In hierdie geval toon figuur 7 dus dat 'n groot netto positiewe stroom deur die batterye vloei, wat die lewering van drywing deur die batterye aandui.

4. GEVOLGTREKKING

Uit die bogenoemde resultate is dit duidelik dat die saamgestelde omsetter wel die benodigde funksies van wisselrigter, batterylaaier en maksimumdrywingspuntvolger as enkele eenheid kan verrig. Die eenvoud van die drywingsbaan lewer 'n koste-effektiewe eenheid met besonder hoë rendementeienskappe – wat natuurlik 'n vereiste is vir gebruik in sonenergiestelsels.

Wanneer die saamgestelde omsetter egter in sonenergiestelsels geïmplementeer word, is dit noodsaaklik dat lasbeheer toegepas sal word ten einde die suksesvolle werking van die maksimumdrywingspuntvolgalgoritme te verseker.

LITERATUURVERWYSINGS

1. (1990). Sun provides a cost effective solution to rural energy problems, *Engineering News*, p. 22.
2. (1990). Photovoltaic power: On its way to improving South Africa's quality of life, *Engineering News*, p. 19.
3. Van der Broeck, H.W., Van Wyk, J.D. & Schoeman, J.J. (1985). On the steady-state and dynamic characteristics of bipolar transistor power switches in low-loss technology, *IEEE Proceedings*, 132, pt. B, no. 5.
4. Snyman, D.B. & Enslin, J.H.R. (1991). Combined low-cost, high-efficient inverter, peak power tracker and regulator for PV applications, *IEEE Power Transactions on Power Electronics*, vol. 6, no. 1, 73 – 82.
5. Schoeman, J.J. & Van Wyk, J.D. (1982). A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays, *IEEE Power Electronics Conference*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 361 – 364.
6. Alcock, D.N. (1981). Production operation of submersible pumps with closed-loop adjustable speed control, *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-17, 5, 481.
7. Ramakumar, R. (1983). Renewable energy sources and developing countries, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-102, 2, 502.
8. Connors, D.P., Jarc D.A. & Daugherty, R.H. (1984). Considerations in applying induction motors with solid-state adjustable frequency controllers, *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-20, 1, 113 – 121.
9. Hubbard, H.M. (1989). Photovoltaics Today and Tomorrow, *Science*, 297.