

Navorsingsbriewe

'n Nuwe metode vir die kompensasie van verliese in elektroniese drywingskakelaars met bipolêre drywingstransistors

UITTREKSEL

Die bydrae stel 'n nuwe metode vir die vermindering van die spanningsval van Darlingtonbane vir gebruik in drywingskakelaars voor en rapporteer die eksperimentele resultate. Hierdie kompensasie het ten minste 'n verdubbeling van die energiebenuttigingsgraad van die skakelaar tot gevolg, het geen verslegting van die valtyd van die stroom tot gevolg nie en is maklik realiseerbaar in moderne elektroniese tegnologie.

ABSTRACT

A new method for compensation of losses in electronic power switches using bipolar power transistors

The contribution proposes a novel method for reduction of voltage drop across Darlington circuits when used as power switches and reports preliminary experimental results. The compensation leads to at least an effective doubling of the energy efficiency of the switch while no detrimental effects on current fall time have been found. The scheme is easily realisable in modern electronic technology.

1. Beskouing van skakelaarverliese

By elektroniese drywingskakelaars in die gebied 5-500A het die ontwikkeling in halfgeleiertegnologie en stroombaantegnologie die afgelope tyd gelei tot 'n voorkeur vir bipolêre drywingstransistors as skakel-elemente.¹ Dit het 'n verkleining van volume, die verlaging van koste en 'n verhoging van rendement meegebring.² By die tegniese uitvoering van hierdie skakelaars is daar steeds die moontlikheid van die gebruik van 'n direkte basisdryf³ of 'n Darlingtonpaar. Die lae stroomversterkingsfaktor (5 tot 10) van drywingstransistors lei tot die gebruik van slegs Darlingtonpare by hoër stroom, om die tegnologie van die geïsoleerde basisdryf te verminder. Met verwysing na figuur 1(a) is die stroomversterking van die Darlingtonpaar

$$i_c/i_{b1} = B_D = B_1 + B_2 + B_1B_2 \dots \dots \dots (1)$$

met B die stroomversterking en die voetskrifte is verwysings na die transistors T₁ en T₂ respektiewelik. Die kollektor-emittorspanningsval is

$$u_D = u_{ce1} + u_{be2} \dots \dots \dots (2)$$

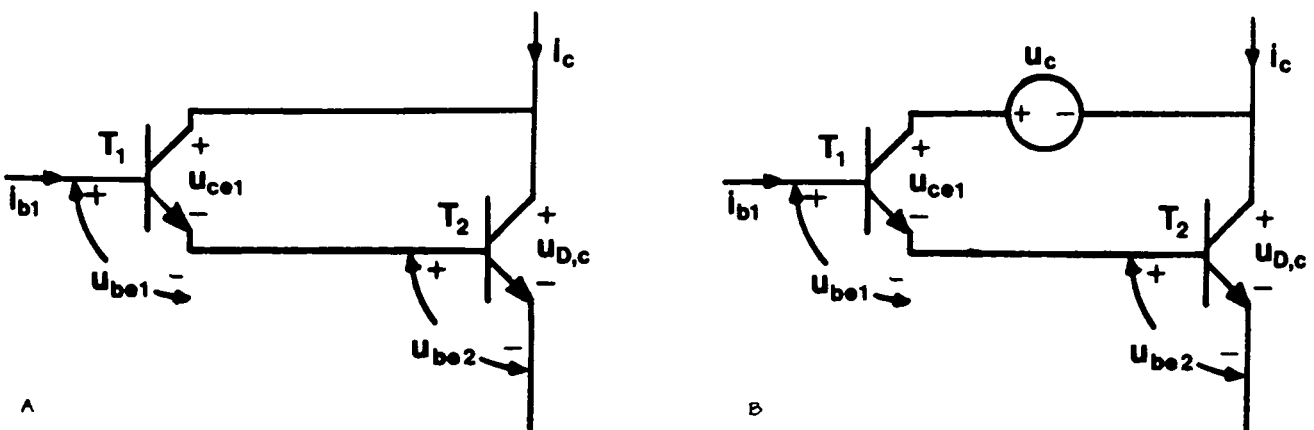
Indien in ag geneem word dat onder toestande van versadiging (wanneer die drywingskakelaar dus in 'n geleidende toestand verkeer), sal geld

$$0,7V < u_{be2} < 1,5V \dots \dots \dots (3a)$$

en $0,3V < u_{ce1} < 1,5V \dots \dots \dots (3b)$

geld $1,0V < u_D < 3,0V \dots \dots \dots (3c)$

Wanneer nou in ag geneem word dat die versadigingspanning van die drywer T₁ en die versadigingspanning van die hooftransistor T₂ ongeveer gelyk is onder toestande van vollasstroom indien hulle



FIGUUR 1. Darlingtonpaar met en sonder kompensasie

onafhanklike basisdryf het, geld

$$3,3 < (u_D/u_{ce2}) < 2 \dots\dots\dots (3d)$$

Die numeriese waardes ter sprake in die verbande (3a) tot (3c) word vir redelike bedryfstoestande o.a. bepaal deur: transistortipe, kristaldoteringsvlakke, kollektor- en basisdiktes, basisstroomdigtheid, kollektorstroomdigtheid en temperatuur, sodat net die grense aangedui kan word. Hieruit is dit duidelik dat, indien 'n Darlingtonpaar T_1 en T_2 se kollektordissipiasie vergelyk word met dié van 'n enkeltransistor T_2 met direkte basisdryf, dit ook sal geld vir die kollektordissipiasies P_{cD} en P_{c2} van die Darlington en enkeltransistor dat:

$$3,3 < (P_{cD}/P_{c2}) < 2 \dots\dots\dots (3e)$$

vir dieselfde lasroom. Die prys wat dus vir die eenvoudiger basisdryf-tegnologie van die Darlington-skakelaar betaal word, is die verhoogde skakelaardissipiasie. By hoë strome lei dit nie slegs tot 'n laer rendement nie, maar weens verkoelingsvereistes tot groter koste en dikwels tot onaanvaarbare skakelaarafmetings.

In figuur 1(b) word nou 'n nuwe voorstel weergegee om die basisdryfvoordele van die Darlingtonpaar te kombineer met die lae verliese van 'n drywingskakelaar met direkte basisdryf. Hier geld

$$u_{D,c} = u_{ce1} + u_{be2} - u_c \dots\dots\dots (4a)$$

Die kompenserende spanningsbron kan so ingestel word dat:

$$u_{ce1} < u_c < u_{be2} \dots\dots\dots (4b)$$

sodat

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{u_{be2}}{u_{ce1}}\right)} < \left(\frac{P_{D,c}}{P_D}\right) < \frac{1}{\left(1 + \frac{u_{ce1}}{u_{be2}}\right)} \dots\dots\dots (4c)$$

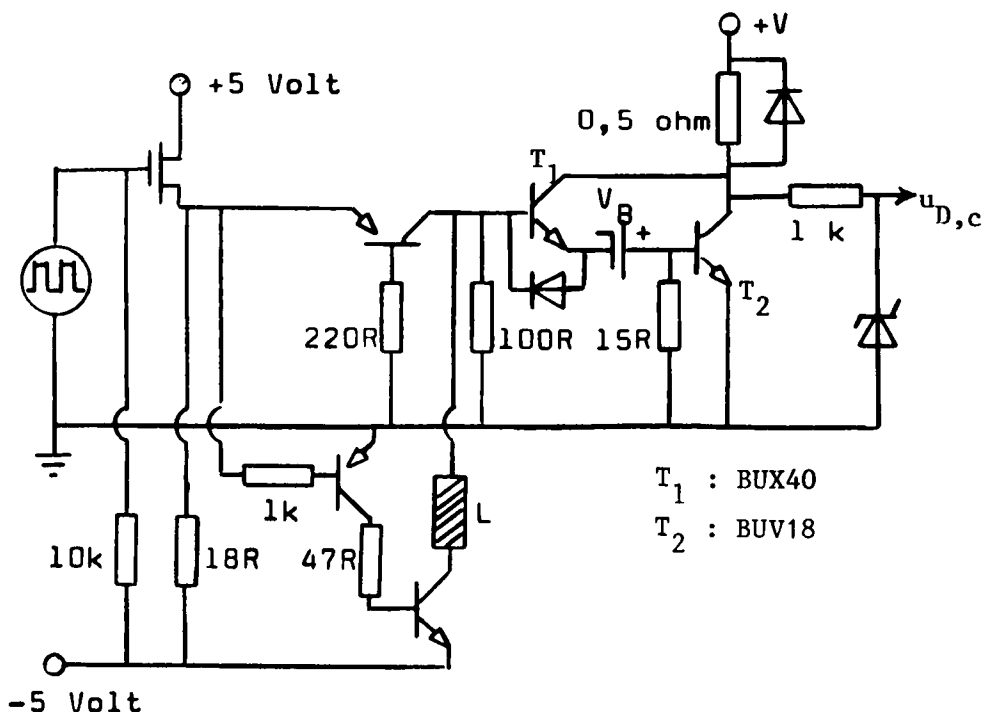
waar $P_{D,c}$ die dissipasie van die gekompenseerde Darlington en P_D die dissipasie van die Darlington is. Met die waardes begrens soos in (3a) tot (3c) kan gevolglik verwag word dat

$$\frac{P_{D,c}}{P_D} < 0,5 \dots\dots\dots (4d)$$

Uit hierdie verband is dit duidelik dat 'n groot voordeel in energiedissipiasie van hierdie tegniek verwag kan word.

2. Eksperimenteel

Die bostaande uiteensetting het nie die dinamiese gedrag van die skakelaar in ag geneem nie. Aangesien dit 'n voorvereiste vir sinvolle toepassing is dat die dinamiese gedrag van die skakelaar nie mag versleg nie, is slegs 'n statiese evaluasie van die stroombaan van figuur 1(b) nie voldoende nie. Die stroombaan van figuur 2 is gebruik om die dinamiese gedrag van die gekompenseerde Dalingtonskakelaar T_1 - T_2 te ondersoek. Die spanningsbron u_c word slegs as gelykspanningsbattery getoon, maar is eksperimenteel gerealiseer deur van 'n klein Royerossillator by 50kHz, met ferrietkern, veldeffektransistors, gelykrigter en laagspanningskapasitor gebruik te maak. Let op dat die kompensasielbron eksperimenteel liever in die basislyn van T_2 geplaas moet word, aangesien dit geriefliker is.



FIGUUR 2. Eksperimentele drywingskakelbaan

Die tegnologie waarmee die kompensasiëbron verwezenlik is, is van dieselfde aard as die tegnologie waarmee direkte, geïsoleerde basisdryf verwezenlik word. Daar kan dus geredeneer word dat die benodigde tegnologie (en dus die hoeveelheid komponente, afmetings, koste en komplikasie) identies is. Dit is egter nie die geval nie, aangesien die gekompenseerde Darlington slegs 'n bron nodig het wat 'n gepolariseerde, konstante gelykspanning met 'n waarde tussen 0,4V en 1V aflewer.

By direkte, geïsoleerde basisdryf is weliswaar 'n bron van dieselfde stroom nodig, maar dit moet spannings van wisselende polariteit kan lewer, met styg- en valtye van minder as 100 nanosekondes, wat 'n baie gevorderde tegnologie is. Eksperimenteel kan daar gevolglik bevestig word dat die gekompenseerde Darlingtonskakelaar 'n tegnologie vereis wat merkbaar eenvoudiger is as dié van direkte, geïsoleerde basisdryf – afgesien van die besparing in energiedissipiasie.

Figuur 3(a) en (b) gee die resultate weer vir geen kompensasië ($u_c = 0$) en vir kompensasië met $u_c = 0,5V$, d.w.s. u_c tussen u_{ce1} en u_{be2} respektiewelik. Let ook op dat die meettegniek die vertoon van die spanningsgolfvorm by sowat 3,5V begrens.

3. Bespreking

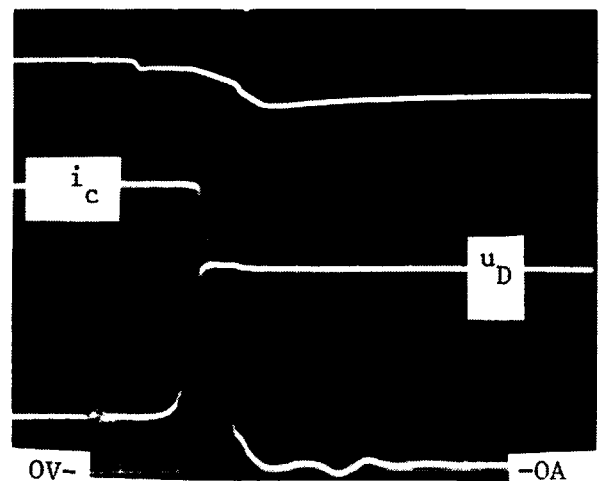
Uit die eksperimentele resultate kan kortliks die vol-

gende duidelik afgelei word

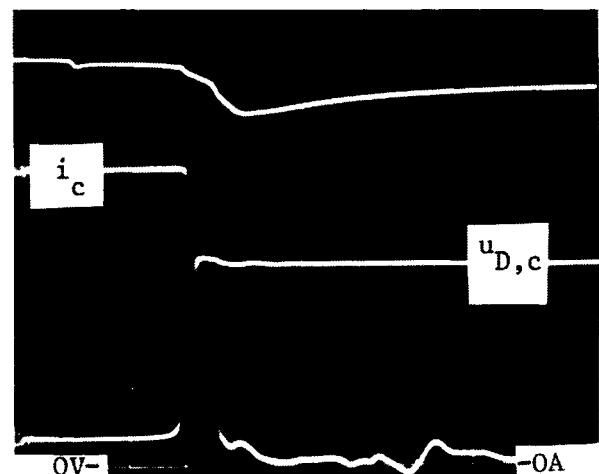
- 3.1 Ooreenkomstig verwantskappe 3(d), 4(a) en 4(b) kan in figuur 3(b) die vermindering van die Darlington se spanning gedurende die geleidingstoestand vanaf 1V na 0,5V gesien word, wat 'n halvering van die dissipasië beteken [4(d)], soos verwag.
- 3.2 Die valtyd van die stroom deur die skakelaar het *verminder* vanaf 400 ns na 250 ns, wat 'n verbetering i.p.v. 'n verslegting van die belangrikste dinamiese parameter van die skakelaar se gedrag aandui.
- 3.3 Die stoortyd van die skakelaar het toegeneem vanaf 600 ns na $1\mu s$, wat geen belangrike dinamiese gevolg in die herhalingsfrekwensiegebied onder 200kHz, waar die tegnologie toegepas sal word, het nie.

Die bostaande resultate is tiperend van 'n groot aantal wat die eerste uit hierdie tegnologie verkry is. Die vergroting van die stoortyd van die transistor hou waarskynlik verband met die verdieping van die versadiging van T_1 , 'n bepalende element vir die stoortyd van 'n Darlingtonpaar. Die vermindering van die valtyd in die gekompenseerde Darlingtonpaar is nie noodwendig 'n eienskap van die nuwe voorgestelde topologie nie, aangesien die stroombaan van figuur 2 nie vir elke topologie sorgvuldig optimeer is nie. Die belangrike gevolgtrekking is dat die valtyd vir die

$i_c = 5A/div$	(a)	$i_{c\ maks} = 25A$
$u_D = 1V/div$		$u_D = 1V$
$t: = ,5\mu s/div$		$t_f = 400ns$
$u_c = 0V$		$t_s = 600ns$
$L = 12\mu H$		



$i_c = 5A/div$	(b)	$i_{c\ maks} = 26A$
$u_{D,c} = 1V/div$		$u_{D,c} = 0,5V$
$t: = ,5\mu s/div$		$t_f = 250ns$
$u_c = 0,5V$		$t_s = 1\mu s$
$L = 12\mu H$		



FIGUUR 3. Dinamiese gedrag van gekompenseerde Darlingtonskakelaar

gekompenseerde Darlington ten minste ekwivalent is aan dié van 'n konvensionele Darlington. Geen verandering by aansakelgedrag kan ook opgespoor word nie.

4. Toepassings en verdere ondersoek

Die toepassings van die nuwe metode wat hier voorgestel word, strek oor die hele veld van die drywingselektronika, maar die voorstel behoort veral meriete te hê by die toepassing van drywingselektroniese mutators as stellers in beheerstelsels met 'n premium op 'n hoë energiebenuttingsgraad, soos by beheerders vir fotovoltaïese sonpanele⁵ of in batteryvoertuie,^{6,7} of waar verkoelingsvereistes 'n belangrike rol speel.

Die grense van die tegnologie vir kompensasiëbronne, moontlike drywingsbesparing en komponentbesparing, die meganisme van die ladingstoorperiode, die invloed op die valtyd van die skakelaarstroom en die verskillende moontlike topologieë waarin die idee toegepas kan word, moet nog volledig ondersoek word. Laasgenoemde sluit ook die nuwe BIMOS- of BIPMOS-konfigurasies in,⁸ waar dit duidelik is dat die kompensasiëspanning m.b.v. 'n terugvoerstroombaan die gemiddelde skakelaarstroom sal moet volg.

J.D. VAN WYK

J.J. SCHOEMAN

Vakgroep Elektriese Energietechnik

Fakulteit Ingenieurswese,

Randse Afrikaanse Universiteit

Posbus 524

Johannesburg 2000

VERWYSINGS

1. Knöll, H. (1977). High-current transistor choppers, *Proceedings, Second IFAC Symposium on Control in Power Electronics and Electrical Drives*, Kaaz M.A. ed. (Pergamon Press) pp. 307-315.
2. Van Wyk, J.D. & Schoeman, J.J. (1977). The application of transistorised switches to dc and ac machines for the control of battery vehicles up to 30kW *Proceedings, Second IFAC-Symposium on Control in Power Electronics and Electrical Drives*, Kaaz, M.A. ed. (Pergamon Press) pp. 841-852.
3. Boehringer, A.F. & Knöll, H. (1979). Transistorschalter im Bereich hoher Leistungen und Frequenzen, *ETZ 100* (13), 664-670.
4. Schoeman, J.J. (1981). Gemodifiseerde Darlingtontransistor, Interne verslag 60-EI-74-2, Vakgroep Elektriese Energietechnik, Fakulteit Ingenieurswese, RAU, Junie 1981, 10 pp.
5. Schoeman, J.J. & Van Wyk, J.D. (1982). A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays, PESC-82-Record (IEEE Power Electronics Specialists Conference, M.I.T., Cambridge, Mass., June 1982), 361-367.
6. Van Wyk, J.D.N. (1978). A review of the current status and future prospects of battery powered electric road vehicles, *Trans. S.A.I.E.E.*, 69, (2), 26-37.
7. Skudelyny, H-Ch. (1980). Modern directions of research on drive systems for electric rail and road vehicles, *Trans. S.A.I.E.E.*, 71, (10), 280-285.
8. Adler, M.S. (1982). A comparison between BIMOS- device types, PESC-82 Record (IEEE Power Electronics Specialists Conference, M.I.T., Cambridge, Mass. June 1982) 371-377.

'n Vooruitskatting van steenkoolverbruik in Suid-Afrika

In die voorsienbare toekoms sal daar in Suid-Afrika se energiebehoefte grotendeels deur steenkool voorsien moet word.¹ Om dié rede is die grootte van die steenkoolreserwes, sowel as die verbruikstempo van steenkool, belangrike faktore in Suid-Afrika se energiebeleid. In die besonder is daar twyfel of voldoende kookskool beskikbaar is vir die herwinning van ander minerale, en word vrae gestel oor die uitwerking van steenkooluitvoer op die reserwes.²

In hierdie bydrae word gepoog om antwoorde te gee op die volgende vrae:

- (i) Wat sal die verbruikstempo's van verskillende tipes steenkool teen die jaar 2000 wees, en watter invloed sal dit op die reserwes hê?
- (ii) Wat sal die invloed van die uitvoer van steenkool op die reserwes wees?
- (iii) Hoe sal die implementering van die COALCOM-plan³ die reserwes beïnvloed?

Vir die bepaling van steenkoolverbruik is die volgende ses sektore in aanmerking geneem: elektrisiteitsopwekking, vervloeiing van steenkool,

metallurgiese gebruik, uitvoer, die chemiese nywerheid en ander (landbou, spoorweë, nywerheid, huishoudelik). Die volgende drie tipes steenkool is in aanmerking geneem: hoëgraadse stoomsteenkool (HGSS), laegraadse stoomsteenkool (LGSS), en kookskool (antrasiet is dus buite rekening gelaat).

Die herwinbare steenkoolreserwes in die basisjaar 1979 is geneem as 61×10^9 ton, en verder is aangeneem dat die verhoudings van die drie tipes steenkool nog is soos beraam deur die Petrickkommissie.⁴ Die beraamde reserwes word in tabel 1 getoon. In tabel 2 word die beraamde verbruik van steenkool in 1979 per sektor en tipe getoon.

Die groeiakoerse vir die verbruik in die verskillende sektore word in tabel 3 getoon. Besonderhede van die berekenings hiervan word in verwysing 2 gegee. Daar is aangeneem dat hierdie groeiakoerse van die hede tot die jaar 2000 sal geld. Dit is vanselfsprekend 'n aanvegbare aanname, maar dit lyk redelik om te verwag dat dit 'n boonste grens op die totale verbruik sal lewer.

Wat uitvoer betref, lyk die aanname van 'n vaste groeikoers moeilik om te verdedig, aangesien uitvoer tans beperk word deur die kapasiteit van die terminaal by Richardsbaai. Daar is dus aangeneem dat uitvoer oor die hele periode onder beskouing teen die huidige maksimum van 40 Mt per jaar sal plaasvind.

Die resultate van die berekening word in tabel 4 getoon. Die vooruitskating van totale verbruik van 398 Mt is hoër as 'n vorige beraming van 316 Mt,⁵ maar aangesien uitvoer hier nie in berekening gebring is nie, en 'n heelwat laer groeikoers van die vraag na elektrisiteit aangeneem is, lyk die huidige vooruitskating nie onrealisties hoog nie. Dit blyk ook duidelik uit tabel 4 dat steenkooluitvoer nie 'n beduidende effek op die reserwes het nie. Hierdie gevolgtrekking strook met dié van Silberberg,⁶ wat bevind dat uitvoer van tot 70–80 Mt per jaar aanvaarbaar is.

Die COALCOM-plan³ kom kortliks daarop neer dat in plaas daarvan dat Evkom steenkool verbrand soos dit gelewer word ('n mengsel van LGSS en HGSS), die steenkool eers behandel word. 'n Gedeelte word gebruik om kooks te vorm, 'n gedeelte om elektrisiteit op te wek en die gasse wat ontstaan,

word gebruik om vloeibare brandstowwe te vorm. Dit lei tot 'n meer effektiewe benutting van steenkool.

Vanweë die lang sloertyd met die ingebruikneming van nuwe tegnologie soos die COALCOM-plan, sal die uitwerking daarvan op die steenkoolreserwes waarskynlik eers ná 2000 merkbaar word. Die vooruitskating is dus uitgebrei na 2020, met die groeikoerse vir die verskillende sektore soos in tabel 5 getoon. Dit is dieselfde as in tabel 3, behalwe dat die koerse vir elektrisiteitsopwekking en die chemiese bedryf na 6% verminder is. Wat uitvoer betref, is daar aangeneem dat dit oor die hele periode sal plaasvind teen 'n tempo van 80 Mt per jaar, die maksimum wat tans voorsien word.

In tabel 6 word die oorblywende fraksies van die verskillende tipes steenkool getoon in die geval waar die COALCOM-plan nie gebruik word nie, en waar 25% van Evkom se steenkool wel hiervolgens behandel word. Dit is duidelik dat die kookskoolreserwes aansienlik vergroot word. 'n Deeglike ekonomiese ondersoek is natuurlik nog steeds nodig voordat besluit word of die COALCOM-plan geïmplementeer moet word.

TABEL 1
Herwinbare steenkoolreserwes (10⁹ ton)

LGSS	HGSS	KOOKSKOOL	TOTAAL
32,510	26,420	2,070	61,000

TABEL 2
Verbruik van steenkool in 1979 per sektor in miljoen ton

Sektor	LGSS	HGSS	Kookskool	Totaal
Evkom	25,0	19,6	-	44,6
Mynbou	-	-	8,2	8,2
Sasol	4,1	3,2	-	7,3
Uitvoer	-	40,0	-	40,0
Chemies	-	2,5	-	2,5
Ander	-	15,2	-	15,2
Totaal	29,1	88,7		117,8

TABEL 3
Effektiewe jaarlikse groei per sektor tussen 1979 en 2000

EVKOM	MYNBOU	SASOL	UITVOER	CHEMIES	ANDER
8 %	6 %	8,5 %	0 %	13,9 %	2,3 %

TABEL 4
Steenkoolverbruik en -reserwes in 2000

	LGSS	HGSS	Kookskool	Totaal
Verbruik in 2000 (Mt)	149	221	28	398
Oorblywende fraksie van reserwes in 2000	0,95	0,89	0,83	0,92
Oorblywende fraksie sonder uitvoer	0,95	0,93	0,83	0,94

TABEL 5
Effektiewe jaarlikse groei per sektor tussen 2000 en 2020

EVKOM	MYNBOU	SASOL	UITVOER	CHEMIES	ANDER
6 %	6 %	8,5 %	0 %	6 %	2,3 %

TABEL 6
Oorblywende fraksies van steenkoolreserwes in 2020

	LGSS	HGSS	Kookskool	Totaal
Sonder COALCOM	0,76	0,55	0,30	0,65
Met COALCOM	0,73	0,57	0,60	0,65

P. du T. Fourie
Departement Toegepaste Wiskunde, Fakulteit Ingenieurswese, Universiteit Stellenbosch, Stellenbosch, 7600.

A.C. Vosloo
Departement Chemiese en Metallurgiese Ingenieurswese, Fakulteit Ingenieurswese, Universiteit Stellenbosch, Stellenbosch, 7600.

VERWYSINGS

- Fourie, P. du T. en Vosloo, A.C. (1982). *Energie in Suid-Afrika: 'n oorsig*, Verslag TW 82/1, Dept. Toegepaste Wiskunde, Universiteit Stellenbosch.
- Vosloo, A.C. en Fourie, P. du T. (1982). *'n Simulasiemodel van steenkoolverbruik in Suid-Afrika*, Verslag TW 82/2, Dept. Toegepaste Wiskunde, Universiteit Stellenbosch.
- Horsfall, D.W. (1975). The COALCOM. In *Conference on*

energy and its future in Southern Africa, Kaapstad.

- Dept. Mynwese. (1975). Verslag van die Kommissie van ondersoek na die steenkoolbronne van Suid-Afrika.
- Energy Research Institute, UCT. (1980). *Energy - 1980: An energy policy discussion document*, Report 24/01/05.
- Silberberg, R.B. (1981). *An energy supply and demand model for South Africa*, Ongepubliseerde Ph.D.-tesis, Universiteit Kaapstad.