

Vervormingsanalise by drywingsoordrag deur gebruik te maak van korrelasietegnieke

J. H. R. Enslin*

Dept. Elektriese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

J. D. van Wyk

Laboratorium vir Energie, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Johannesburg 2000

Ontvangs erken 23 Januarie 1989; aanvaar 9 Augustus 1989

UITTREKSEL

Die analise van drywingsoordrag, onder vervormde toestande word nie eenduidig deur huidige analisetegnieke, gewoonlik gebaseer op die Fourier-analise, beskryf nie. Korrelasietegnieke word voorgestel om effektief te wees in die analise van drywingsoordrag waar die beladings- en opwekfunksies 'n nielineêre verwantskap toon. Die analisetegnieke en algemene definisie van drywing word voorgestel in 'n verskeidenheid van energiestelsels soos onder meer elektriese en meganiese stelsels. Tipiese voorbeelde van vervorming word bespreek met resultate van gesimuleerde en praktiese metings in elektriese netwerke.

ABSTRACT

Distortion analysis during power transfer using correlation techniques

The analysis of power systems, under conditions of contaminated loading and excitation functions, cannot be unambiguously characterized or categorized with current analysis techniques, usually based on Fourier analysis techniques. Correlation techniques are proposed to be effective in the analysis of power transfer in systems where the relationship between loading and excitation functions is non-linear. This analysis technique is proposed in different energy systems, as for example electric and mechanical systems. Typical examples of distortion in power transfer are described, showing practical results and simulations of analysis in electric power networks.

INLEIDING

Vervorming tydens drywingsoordrag kom algemeen in verskeie stelsels voor. Hierdie vervorming impliseer dat die stelsel teen 'n hoër belading bedryf moet word om die benodigde energie vanaf die drywingsbron na die las oor te dra, geneem oor 'n sekere tydsinterval δT . Verder kan hierdie vervorming nadelige effekte op ander apparatuur wat op die vervormde drywingstelsel

verbind word, hê. Vervorming tydens drywingsoordrag kom in elektriese netwerke voor en word gewoonlik gekarakteriseer in terme van 'n niesinusvormige spanning of stroom; in meganiese stelsels kom draaimomentpulsasies en vibrasies tydens drywingsoordrag voor, wat gewoonlik nadelige effekte op die stelsel in totaal het.

Hierdie vervorming kan baie vorms aanneem, maar word in die algemeen selde, of op 'n klein skaal, geana-

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.

liseer as gevolg van interpretasieprobleme en 'n tekort aan geskikte analisetegnieke. Uit die analise van sodanige vervorming kan inligting verkry word wat voordele inhou, deurdat dit gebruik kan word om die stelsels te karakteriseer om sodoende kompensasiestelsels te ontwerp, wat tot voordeel van sodanige stelsels aangewend kan word. Uit hierdie analises kan die effekte wat die vervorming op hierdie stelsels het, eenduidig bepaal word en kompensasie van sodanige vervorming kan dan aan die hand van hierdie analises uitgevoer word. Sodoende kan die effekte en ekstra belading van stelsels tot 'n minimum beperk word, met voordele in die bedryf en betroubaarheid van sodanige stelsels.

In sekere stelsels word daar reeds 'n geruime tyd van verskeie tegnieke gebruik gemaak om vir hierdie vervorming te kompenseer. Tipiese voorbeelde is vliegwiele aan asse om die draaimomentpulsasies te minimeer, kapasitorbanke vir die kompensasie van reaktiewe drywing in elektriese netwerke en so meer. Hierdie kompensasiestelsels word in die meeste gevalle op lukraak metodes of deur middel van beperkte analisetegnieke bepaal wat onder toestande van nielineêre belading, katastrofiese resonansies inisieer.

In die laaste aantal jare, met die ontwikkeling van kragtige rekenaars, het die moontlikhede van ingewikkelde analisetegnieke geweldig vermenigvuldig. Verder het dit moontlik geword om hierdie analises prosesinchron met geskikte rekenaarapparatuur en -programmatuur te kan uitvoer. Tans word hierdie analises in 'n groot mate beperk tot die frekwensiedomein waar die onderlinge funksies deur middel van Fourierreeks en -transforms na die frekwensievlak getransformeer word.^{5,6}

Frekwensie-domeinanalises het 'n verskeidenheid van probleme in die sin dat die oorspronklike opwek- en responsiefunksies aan sekere voorwaardes moet voldoen. Vir die Fouriertransform om te kan konvergeer, moet die opwek- en responsiefunksies eindige-energiefunksies wees.⁷ Dié voorwaarde is natuurlik onaanvaarbaar, aangesien die praktiese stelsels juis kontinue opwek- en responsiefunksies vertoon, wat sodoende as oneindige energiefunksies gekategoriseer moet word. Om hierdie fundamentele beperking te oorkom, word die sogenaamde periodiese Fouriertransform gebruik, wat 'n aanvaarbaarder beperking op die getransformeerde funksies stel, nl. die funksies moet periodies wees met 'n fundamentele periode T , sodat aan (1) voldoen kan word:

$$f(t \pm kT) = f(t) \quad (1)$$

vir alle t : $-\infty < t < +\infty$; T die fundamentele periode en k 'n heelgetal.

Indien aan (1) voldoen word, word die Fouriertransform gedefinieer soos getoon in (2):

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

Bogenoemde impliseer dat slegs funksies wat hulself met 'n vaste periode T herhaal of eindige-energie besit, na die frekwensievlak getransformeer kan word. In

praktiese stelselanalises is die tweede beperking onaanvaarbaar, terwyl die eerste beperking slegs 'n beperkte aantal stelsels kan beskryf, wat baie stabiel met 'n bekende fundamentele periode beskryf kan word. Die drywing, wat deur die stelsel vloei, kan dan in die verskillende bofrekwensiekomponente uitgebrei word. Hierdie analisetegnieke word reeds geruime tyd in elektriese en meganiese stelsels gebruik.^{6,8} Dit is egter die periodiese beperkinge wat op die opwek- en responsiefunksies gestel word, wat tot gevolg het dat navorsers hierdie frekwensie-domeinanalisetegnieke krities beskou, aangesien die responsiefunksie en somtyds selfs die opwekfunksies aperiodiese tydsverloope besit. Om hierdie rede word meer aandag geskenk aan die tyddomein-analisetegnieke vir hierdie probleme.¹⁻⁴

Die outeurs is van mening dat dit onjuis is om drywing en daarom energieoordrag in terme van wiskundige transformasies, wat nie algemeen-geldig is nie, te beskryf. Om hierdie rede word energieoordrag eerder in terme van die werklike tyddomein-funksies beskryf. Om verder die vervorming, wat gepaard gaan met die oordrag van hierdie energie, eenduidig te karakteriseer word 'n energiegeoriënteerde analisetegniek, gebaseer op 'n algemeen-geldige tyddomeindefinisie van drywing, voorgestel. In hierdie artikel word die algemene geldigheid, aan hand van sekere praktiese metings, geïllustreer.

ALGEMENE DEFINISIE VAN DRYWING

In stelsels kan daar altyd 'n opwek- en responsiefunksie beskryf word. So kan die rotasiesnelheid in roterende stelsels en spanning in elektriese stelsels beskou word as die opwekfunksie, terwyl die draaimoment in roterende stelsels en die stroom in elektriese stelsels beskou word as die funksies wat as responsie dien. Soortgelyke funksies kan vir ander energiestelsels identifiseer word. Energie word slegs oorgedra indien beide hierdie funksies bestaan en energieoordrag word beskryf in terme van hierdie twee funksies. In praktiese stelsels is hierdie twee funksies interafhanklik. Vanuit hierdie opwek- en responsiefunksie kan drywing soos volg in die tyddomein gedefinieer word:⁴ Drywing word in twee ortogonale komponente verdeel, nl. **aktiewe drywing** P en **fiktiewe drywing** F . In die toepassings van die karakterisering en beheer van fiktiewe drywing, word 'n verdere verdeling van fiktiewe drywing voorgestel, nl. **reaktiewe drywing** Q en **deaktiewe drywing** D . Die verdeling word volledig deur middel van korrelasietegnieke en ekwivalente stelselparameters gerugsteun.

Definisie van beladingsdrywing

Beladingsdrywing S is ekwivalent aan die drywing geassosieer met die belading van die stelsel. Dit word bereken uit die produk van die effektiewe waardes van die opwek- en responsiefunksies oor 'n meettydsinterval δT .

$$S = F_o \cdot F_r \quad (3)$$

waar die effektiewe waardes van die opwek- en responsiefunksies gesimboliseer word deur F_o en F_r respektiewelik.

Vir die meet van die effektiewe waardes van die opwekfunksie $f_o(t)$ en responsiefunksie $f_r(t)$ oor die tydsinterval δT word 'n skatting van die tyddomein-outokorrelasie voorgestel. Die gebruik van 'n outokorrelasie lewer dieselfde resultate as die definisie van die gemiddeld-kwadraatwaarde. Die skatting van die outokorrelasie van die opwekfunksie oor die tydsinterval δT word in (4) getoon.

$$R_{oo}(\tau) = 1/\delta T \int_0^{\delta T} f_o(t) \cdot f_o(t - \tau) dt \quad (4)$$

Dit impliseer dat effektiewe waardes van die opwek- en responsiefunksie van enige golfvorm bereken kan word deur van 'n outokorrelasie gebruik te maak:

$$F_o = [R_{oo}(0)]^{1/2} \quad (5)$$

$$F_r = [R_{rr}(0)]^{1/2} \quad (6)$$

Die beladingsdrywing van die drywingstelsel word met die ekwivalente beladingsparameter geassosieer.

Definisie van aktiewe drywing

Aktiewe drywing P het slegs fisiese interpretasie indien dit oor 'n tydsinterval δT gedefinieer word. Aktiewe drywing is 'n aanduiding van die gemiddelde tempo van energieoordrag tussen bron en las, oor die tydsinterval δT . Aktiewe drywing, geneem oor 'n tydsinterval δT , word bereken uit 'n skatting van die kruiskorrelasie tussen die opwek- en responsiefunksie, soos getoon in (7).

$$R_{or}(\tau) = 1/\delta T \int_0^{\delta T} f_o(t) \cdot f_r(t - \tau) dt \quad (7)$$

Dit impliseer dat aktiewe drywing deur middel van 'n kruiskorrelasie tussen die opwek- en responsiefunksies oor 'n gekose tydsinterval δT bereken kan word. Die resultaat word in (8) getoon en kom ooreen met die gemiddelde waarde van die oomblikswaardeprodukt van die opwek- en responsiefunksies:

$$P = R_{or}(0) \quad (8)$$

Die aktiewe drywing word met die las geassosieer in terme van die ekwivalente aktiewe stelselparameter wat 'n aanduiding is van die energieverkwisting in die stelsel. Die **aktiewe responsiekomponent** is verantwoordelik vir die netto oordrag van energie vanaf die bron na die ekwivalente aktiewe stelselparameter.

Die aktiewe responsiekomponent het dieselfde golfvorm as die opwekfunksie, met sy amplitude bepaal deur die ekwivalente aktiewe stelselparameter.

Definisie van fiktiewe drywing

Fiktiewe drywing F behels die totale hoeveelheid drywing wat nie netto energie oordra tussen die bron en die las nie. Dit impliseer dus beladingsdrywing sonder verhoging van energieoordrag, wat in die algemeen ongewens is. Die fiktiewe drywing kan in terme van die korrelasie tussen die opwek- en responsiefunksie beskryf word en word in die algemeen bereken uit die

ortogonaliteit wat aanvaar word tussen die onderskeie drywingskomponente.¹⁻⁴ Die fiktiewe gedeelte van die responsiefunksie is verantwoordelik vir die fiktiewe drywing wat in die drywingstelsel bestaan.

$$F = \sqrt{[S^2 - P^2]} \quad (9)$$

Vir doeleindes van die karakterisering en beheer van fiktiewe drywing word 'n verdere verdeling van fiktiewe drywing voorgestel aan hand van die korrelasie tussen die opwek- en responsiefunksies. Fiktiewe drywing word in twee onderling ortogonale komponente verdeel: **reaktiewe drywing Q** en **deaktiewe drywing D**. Die verdeling word regstreeks uit die kruiskorrelasie tussen die opwek- en responsiefunksies bepaal.

(a) **Reaktiewe drywing Q**. Reaktiewe drywing kan geassosieer word met ossillatoriese energievloei in 'n stelsel en daarom die mate van omkeerbaarheid, sonder netto oordrag van energie, tussen die bron en las oor die meettydsinterval δT . Reaktiewe drywing word gekarakteriseer deur middel van 'n ekwivalente stelselparameter. Ortogonaliteit tussen die geassosieerde responsiekomponente is 'n primêre voorvereiste. Die ossillatoriese energievloei, en dus ook omkeerbaarheid, kan uitgedruk word in terme van 'n verskuiwing tussen die opwek- en responsiefunksies, meetbaar uit die korrelasiefunksie, terwyl daar steeds korrelasie tussen die onderlinge funksies mag bestaan. Dit is juis hierdie korrelasie tussen die responsie- en opwekfunksies wat 'n bydrae tot die reaktiewe drywing lewer, terwyl die ongekorreleerdheid tussen die funksies beskryf word as die deaktiewe drywing, soos uiteengesit in die volgende paragraaf. Reaktiewe drywing word vereenselwig met die gekorreleerde fiktiewe drywing terwyl die deaktiewe drywing beskryf word as ongekorreleerde fiktiewe drywing.

Die maksimum waarde van die kruiskorrelasie tussen responsie- en opwekfunksies, $\hat{R}_{or}(\Phi)$, verkry oor die tydsinterval δT , stel die punt voor waar daar maksimum ooreenkoms, of korrelasie, tussen die responsie- en opwekfunksies bestaan. Dié punt op die kruiskorrelasiefunksie stel die totale drywing voor wat as gevolg van die korrelasie tussen die opwek- en responsiefunksie voorkom. Reaktiewe en aktiewe drywing vorm saam die gekorreleerde drywing in 'n stelsel. Reaktiewe drywing word egter nie geassosieer met netto energievloei nie en daarom word dit uitgedruk as die gekorreleerde fiktiewe drywing. Die reaktiewe drywing word in (10) uit die kruiskorrelasie geformuleer.

$$Q = \sqrt{[\hat{R}_{or}^2(\Phi) - R_{or}^2(0)]} \quad (10)$$

Die ekwivalente reaktiewe stelselparameter word geassosieer met die reaktiewe drywing in die drywingstelsel, terwyl die **reaktiewe responsiekomponent** verantwoordelik is vir die reaktiewe drywing wat ekwivalent is aan die tempo van die energievloei wat ossilerend tussen die bron en las slinger. Die reaktiewe responsiefunksie moet ortogonaal wees op die ander komponente van die stroom, geneem oor die meettydsinterval. Om dié rede word die reaktiewe responsiefunksie

regstreeks uit die kruiskorrelasie en ander stroomkomponente bepaal.

(b) **Deaktiewe drywing D.** Die tweede ortogonale komponent van fiktiewe drywing word geassosieer met die ongekorreleerdheid tussen die opwek- en responsiefunksies. Met die verdeling van fiktiewe drywing in reaktiewe en deaktiewe drywing is die feit juis uitgewys dat die reaktiewe drywing gedefinieer word as die gekorreleerde fiktiewe drywing, terwyl die oorblywende drywing (nl. deaktiewe drywing) juis dan die ongekorreleerde fiktiewe drywing omsluit. Uit die korrelasie tussen die twee funksies is dit duidelik dat 'n sekere komponent van die beladingsdrywing veroorsaak word deur die ongekorreleerdheid tussen die opwek- en responsiefunksies en wat glad nie met energievloei vereenselwig kan word nie.

Die deaktiewe drywingskomponent word uit die ortogonaliteitsbeginsel van al die ander komponente van drywing bepaal.

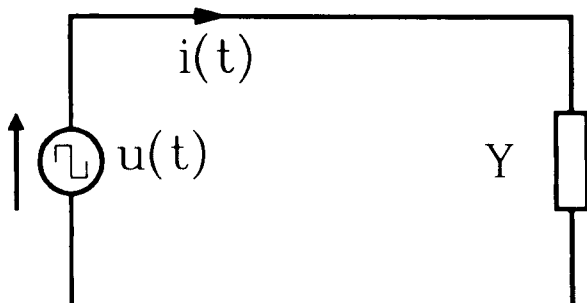
$$D = \sqrt{[S^2 - P^2 - Q^2]} \quad (11)$$

Die ekwivalente deaktiewe stelselparameter word geassosieer met die ongekorreleerde eienskappe wat in die stelsel bestaan en aanleiding gee tot 'n nielineêre verband tussen die opwek- en responsiefunksies van die stelsel. Die **deaktiewe responsiefunksie** is verantwoordelik vir die deaktiewe drywing geassosieer met die ongekorreleerde en nielineêre eienskappe van die stelsel.

Uit die bogenoemde is dit dus duidelik dat die belading op 'n drywingstelsel gekarakteriseer word deur die mate van korrelasie wat daar tussen die opwek- en responsiefunksies bestaan. Die korrelasie tussen hierdie funksies toon die energieoordrag of energieslingering wat daar bestaan in die stelsel, terwyl die deaktiewe drywing dui op 'n nielineêre verwantskap tussen die opwek- en responsiefunksie, of 'n ongekorreleerde stelsel wat nie gepaard gaan met energieoordrag of -slingering nie. Bogenoemde definisie word aan die hand van elektriese analogieë verder verduidelik.

DRYWING IN ELEKTRIESE NETWERKE

Uitgaande vanaf die bostaande, kan as voorbeeld 'n elektriese netwerk geneem word. Die spanning in die netwerk word die opwekfunksie genoem, terwyl die responsiefunksie beskryf word deur die stroom deur die netwerk, soos getoon in fig. 1.



$u(t) \equiv$ Opwekfunksie (Spanning) [V]

$i(t) \equiv$ Responsiefunksie (Stroom) [A]

$Y \equiv$ Ekwivalente admitansie [S]

In die algemeen word 'n nielineêre verwantskap tussen die spanning- en stroomgolfvorm beskou. Die drywingskomponente word beskryf deur die volgende verwantskappe:

$$S = U.I = U^2.Y \quad [\text{VA}] \quad (12)$$

$$P = R_{in}(0) = U^2.G = U.I_a \quad [\text{J/s of W}] \quad (13)$$

$$F = \sqrt{[S^2 - P^2]} = U.I_r \quad [\text{VA}] \quad (14)$$

$$Q = \sqrt{[\hat{R}_{in}^2(\Phi) - R_{in}^2(0)]} \\ = U^2.B = U.I_b \quad [\text{VA}] \quad (15)$$

$$D = \sqrt{[S^2 - P^2 - Q^2]} = U^2.K \\ = U.I_d \quad [\text{VA}] \quad (16)$$

met Y, G, B en K die ekwivalente stelselparameters, nl. Y die totale admitansie [S]; G die aktiewe parameter in die vorm van die konduktansie [S]; B die netwerk susceptansie wat 'n aanduiding is van die energieslingering [S]; K die disseptansie as gevolg van die onkorreleerdheid van die netwerk [S]. Die parameters beskryf die las in die verwantskap getoon in (17) en skematies in fig. 2:

$$Y^2 = G^2 + B^2 + K^2 \quad (17)$$

Die oomblikswaardes van die onderskeie komponente van die responsiefunksies kan uit bogenoemde berekenings bepaal word na afloop van die tydsinterval δT . Met voorspeltegniek kan die netwerkparameters vir een tydsinterval vooruit bepaal word om die golfvorms prosessinchron af te lei.⁹ Die bepaling van die oomblikswaardes word hieronder getoon:

$$i_a(t) = G.u(t) \equiv \text{aktiewe stroom} \quad (18)$$

$$i_d(t) = i(t) - \sqrt{[G^2 + B^2]}.u(t - \Phi) \equiv \text{deaktiewe stroom} \quad (19)$$

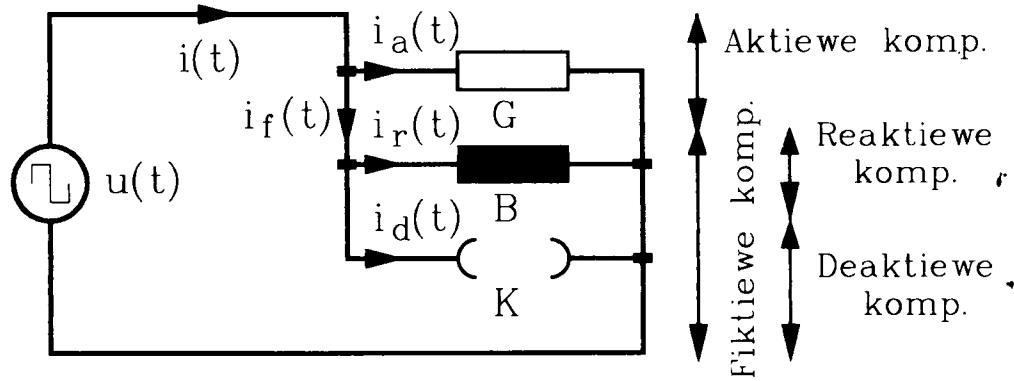
met Φ die korrelasieverskuiwing van die maksimum waarde van die kruiskorrelasie $\hat{R}_{in}(\Phi)$.

$$i_r(t) = i(t) - i_a(t) - i_d(t) \equiv \text{reaktiewe stroom} \quad (20)$$

Daar moet op gelet word dat daar verskeie moontlike tegnieke gebruik kan word om die ortogonale responsiefunksiekomponente af te lei om dieselfde effektiewe waardes te lewer. Algemeen moet egter geld dat die verskillende komponente ortogonaal is oor die tydsinterval δT .

$$\overline{i_a.i_r} = 0; \quad \overline{i_a.i_d} = 0; \quad \overline{i_r.i_d} = 0 \quad (21)$$

Figuur 1: Opwek- en responsiefunksies in 'n elektriese netwerk.



Figuur 2: Ekwivalente netwerkparameters.

DRYWING IN ROTERENDE STELSELS

'n Verdere voorbeeld word in meganiese stelsels ondersoek, soos getoon in fig. 3. Die rotasiesnelheid $\Omega(t)$ van 'n roterende as wat energie oordra, kan as die opwekfunksie beskryf word, terwyl die draaimoment $m(t)$ in die as die responsiefunksie beskryf. Beladingsdrywing word bereken uit die produk van die effektiewe waardes van rotasiesnelheid Ω en draaimoment M , getoon in (22). So word al die ander drywingskomponente voorgestel uit die berekening van die kruiskorrelasie tussen die draaimoment- en die rotasiesnelheidsfunksies, getoon in (23) – (26).

$$S = \Omega \cdot M \quad [\text{N.m/s}] \quad (22)$$

$$P = R_{\Omega m}(0) \quad [\text{J/s of W}] \quad (23)$$

$$F = \sqrt{[S^2 - P^2]} \quad [\text{N.m/s}] \quad (24)$$

$$Q = \sqrt{[R_{\Omega m}^2(\Phi) - R_{\Omega m}^2(0)]} \quad [\text{N.m.s}] \quad (25)$$

$$D = \sqrt{[S^2 - P^2 - Q^2]} \quad [\text{N.m.s}] \quad (26)$$

ANALISE EN KARAKTERISERING VAN VERVORMING IN STELSELS

Die analise van vervorming in enige stelsel berus op die identifikasie van die opwek- en responsiefunksies, en die bepaling van die ekwivalente stelselparameters uit die berekening van die drywingskomponente d.m.v. die kruiskorrelasie. Elke parameter beskryf eenduidig die eienskappe van die stelsel, dit wil sê die gekorreleerdheid van die stelsel, die mate van energieoordrag in die stelsel, die energie-omkeerbaarheid van die stelsel, die nielineêre eienskappe en die totale benutting van die stelsel. Berekening van die ekwivalente parameters toon dan die karakteristieke van die vervorming in die drywingstelsel.

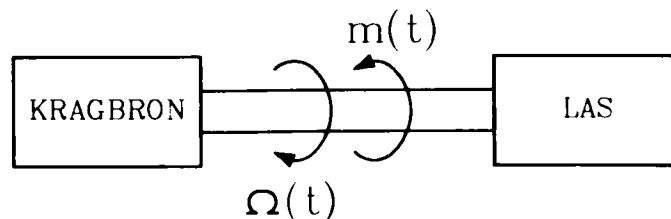
Verder word inligting aangaande die moontlike kompensasie van die vervorming eenduidig bepaal.⁴

RESULTATE VAN REKENAARSIMULASIES

Deur die bogenoemde definisie in 'n rekenaarprogram te inkorporeer, is dit moontlik om tipiese tydsverlope van opwek- en responsiefunksies te simuleer om so-doende die analisetegniek op die proef te stel.

Figuur 4 toon die rekenaaralgoritme vir die bepaling van die ekwivalente stelselparameters. Die voorstelling van die oomblikswaardes van die verskillende komponente van die responsiefunksie word ook gesimuleer. Dieselfde algoritme word gebruik om praktiese metings te analiseer.

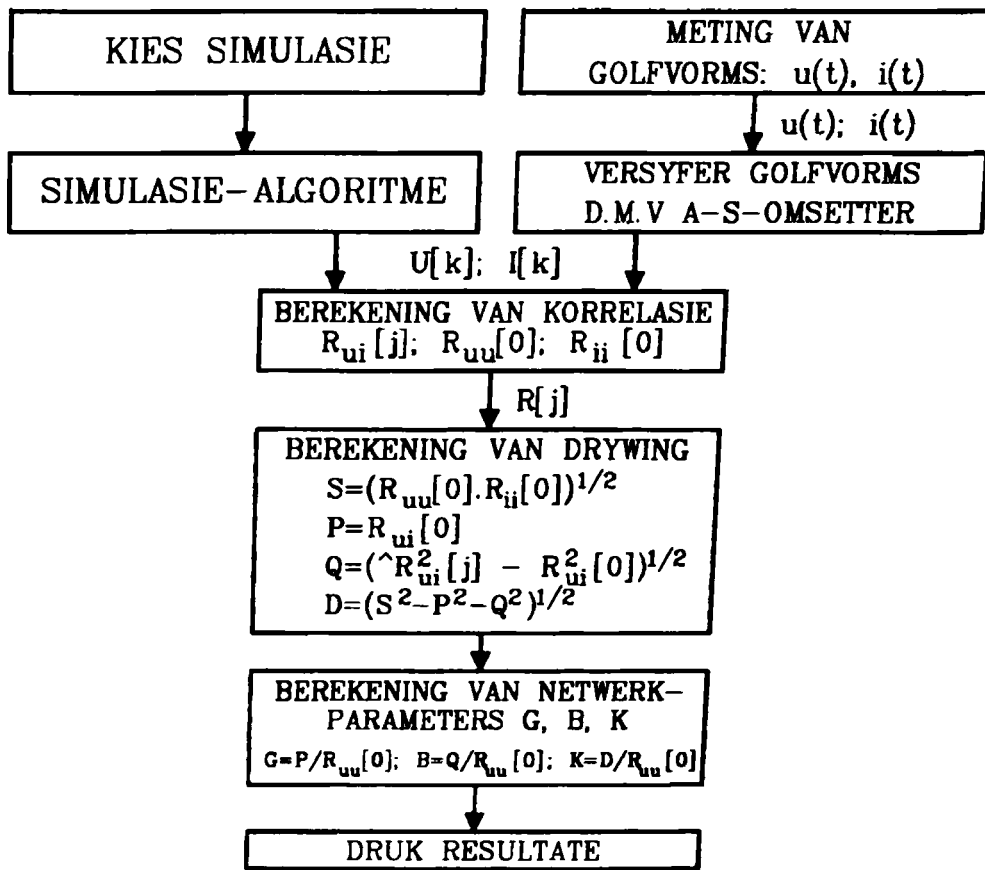
Die eerste simulasie toon die opwekfunksie as 'n spanning en die responsiefunksie as 'n stroom in 'n elektriese drywingsnetwerk, soos getoon in fig. 5. In al die resultate van die simulasies en gemete resultate word die rekenaaruitdrukke direk ingesluit. Die spanning in die eerste geval is 'n sinusgolf, terwyl die stroom 'n verskuifde blokgolf voorstel. Die grondkomponent van die stroomgolf is 45° ten opsigte van die spanningsgolf verskuif. Die kruiskorrelasie word ook in fig. 5 getoon. Uit hierdie resultaat is dit baie duidelik dat slegs die fundamentele komponente van die stroom en die spanning korreleer. Die aktiewe drywing toon die tempo van die energie wat getransformeer word na die las deur die stelsel (446 W) met 'n belading van (708 VA) en dus 'n totale benutting van 63%. Die energieslingering, wat met 'n passiewe reaktiewe komponent gekompenseer kan word, gemeet in terme van die reaktiewe drywing (456 VA) en laastens die mate van ongekorreleerdheid veroorsaak deur die



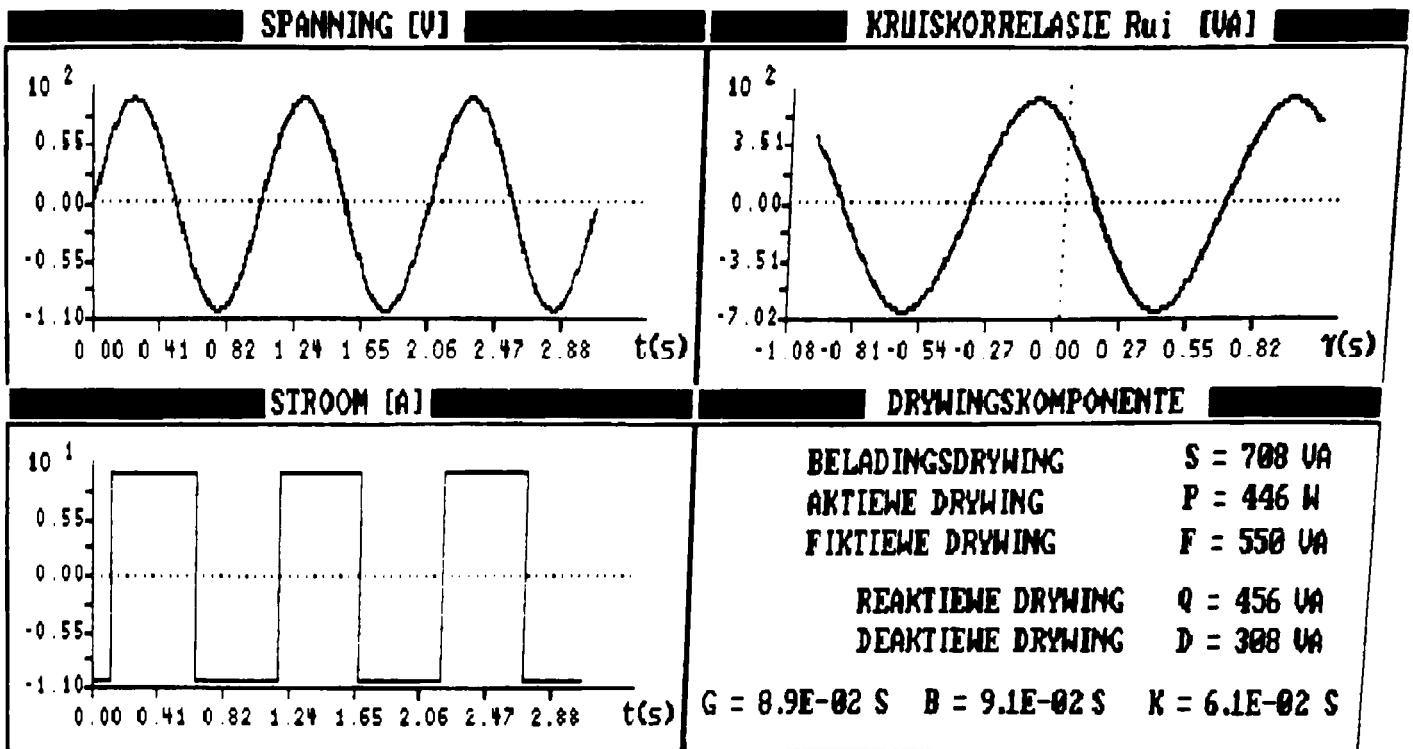
$$\Omega(t) \equiv \text{Opwekfunksie (Rotasiesnelheid)} \quad [\text{rad/s}]$$

$$m(t) \equiv \text{Responsiefunksie (Draaimoment)} \quad [\text{N.m}]$$

Figuur 3: Drywing in roterende stelsels.



Figuur 4: Rekenaaralgoritme vir die analise van stelsels tydens drywingsoordrag.



Figuur 5: Analise van 'n elektriese netwerk met die spanning sinusvormig en stroom 'n tydverskuifde blokgolf.

verskillende golfvorms word geanaliseer as deaktiewe drywing (308 VA). Die onderskeie drywingskomponente is ortogonaal, wat impliseer dat indien die verskuiwing na nul gereduseer word, die reaktiewe drywing nul word, terwyl die deaktiewe drywing steeds dieselfde bly (308 VA). Figuur 6 toon die verskillende komponente van die responsiefunksie (stroom) soos

verdeel in (18) – (20). Ortogonaliteit is voor die hand liggend uit die voorbeeld.

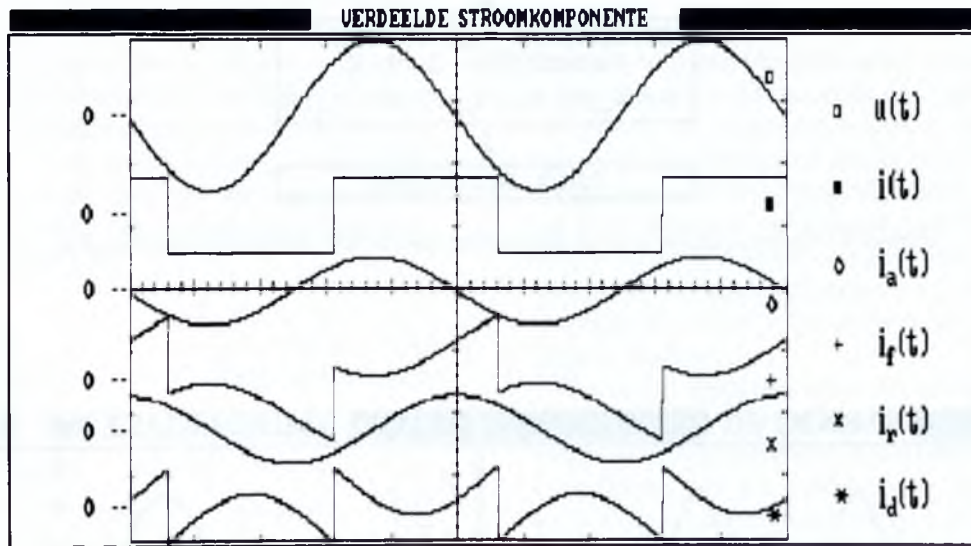
In die tweede simulatie word 'n elektriese netwerk geanaliseer met sowel die spanning as die stroom blokgolwe: hulle is egter tydverskuif ten opsigte van mekaar. Figuur 7 toon die geanaliseerde resultaat. Die aktiewe drywing (494 W) toon weer eens die tempo van

energieoordrag wat gepaard gaan met die totale belading (1000 VA) en 'n geassosieerde netwerkbenutting van 49%. Aangesien die responsie- en opwekfunksies totaal korreleer, is daar geen deaktiewe drywing nie. Dit impliseer dat die drywingsnetwerk nie ongekorreleerde drywing besit nie. Optimale benutting van die stelsel sal verkry word indien die verskuiwing nul is.

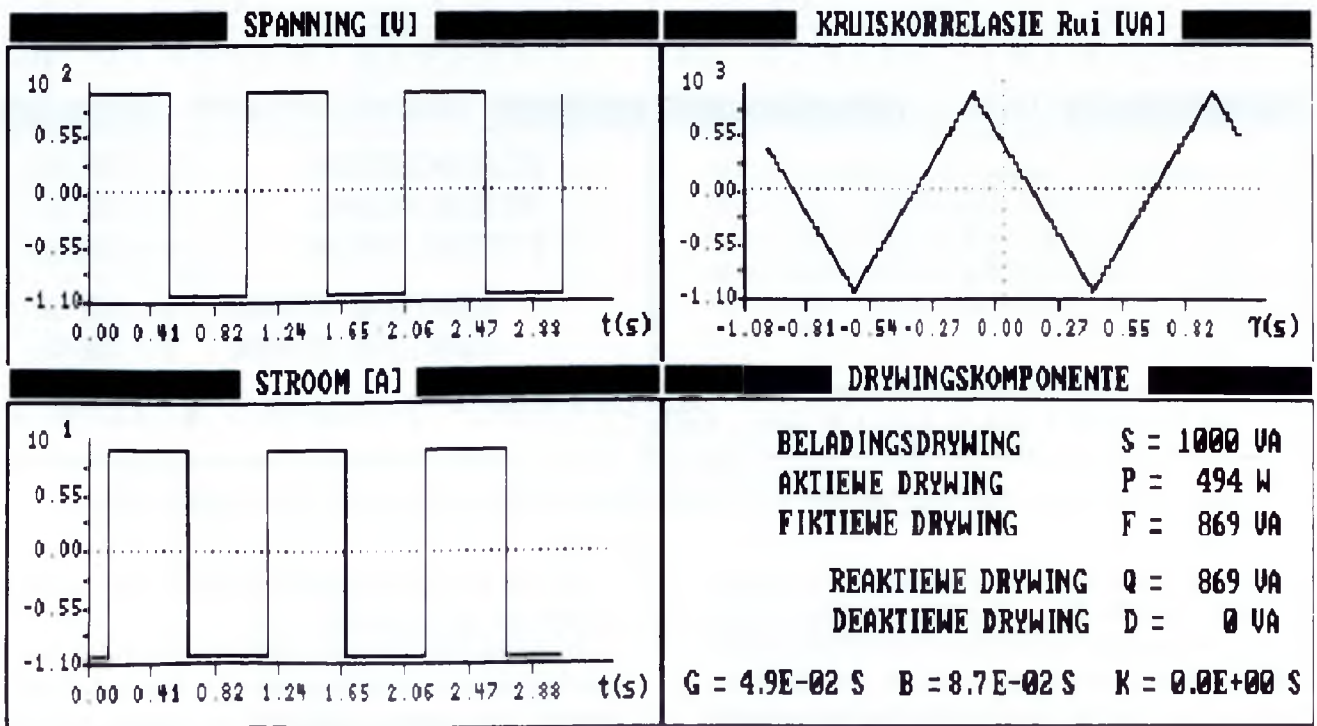
ANALISE VAN PRAKTIESE STELSELS

In 'n analiseerde praktiese drywingsnetwerk, wat bestaan uit 'n bron wat 'n hoëfrekwensie-blokgolfspanning genereer (10 kHz), met 'n las wat bestaan uit 'n kombinasie van 'n induktansie L en 'n weerstand R. Die netwerk word in fig. 8 getoon:

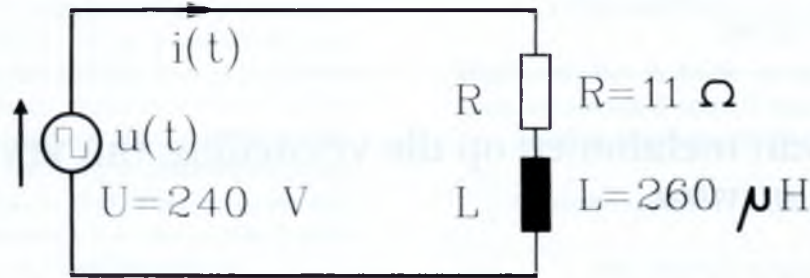
Die analiseerde resultate word in fig. 9 getoon. Die kruiskorrelasie toon dat daar nie veel gekorreleerde drywing in hoër as die fundamentele komponente van die opwek- en responsiefunksies is nie. Die aktiewe drywing (1264 W) word in die weerstand R verkwis, terwyl die induktansie die reaktiewe drywing veroorsaak (1792 VA). As gevolg van die feit dat die induktansie, wat 'n lineêre komponent is, verbind word op 'n niesinusvormige toevoer, word ongekorreleerde drywing geanaliseer in die vorm van die deaktiewe drywing (1217 VA). In dié voorbeeld toon die opwek- en responsiefunksies 'n nielineêre verwantskap. Dit impliseer dat alhoewel die las lineêr is, die totale netwerk wel ongekorreleerd kan wees, wat dan tot deaktiewe drywing lei.



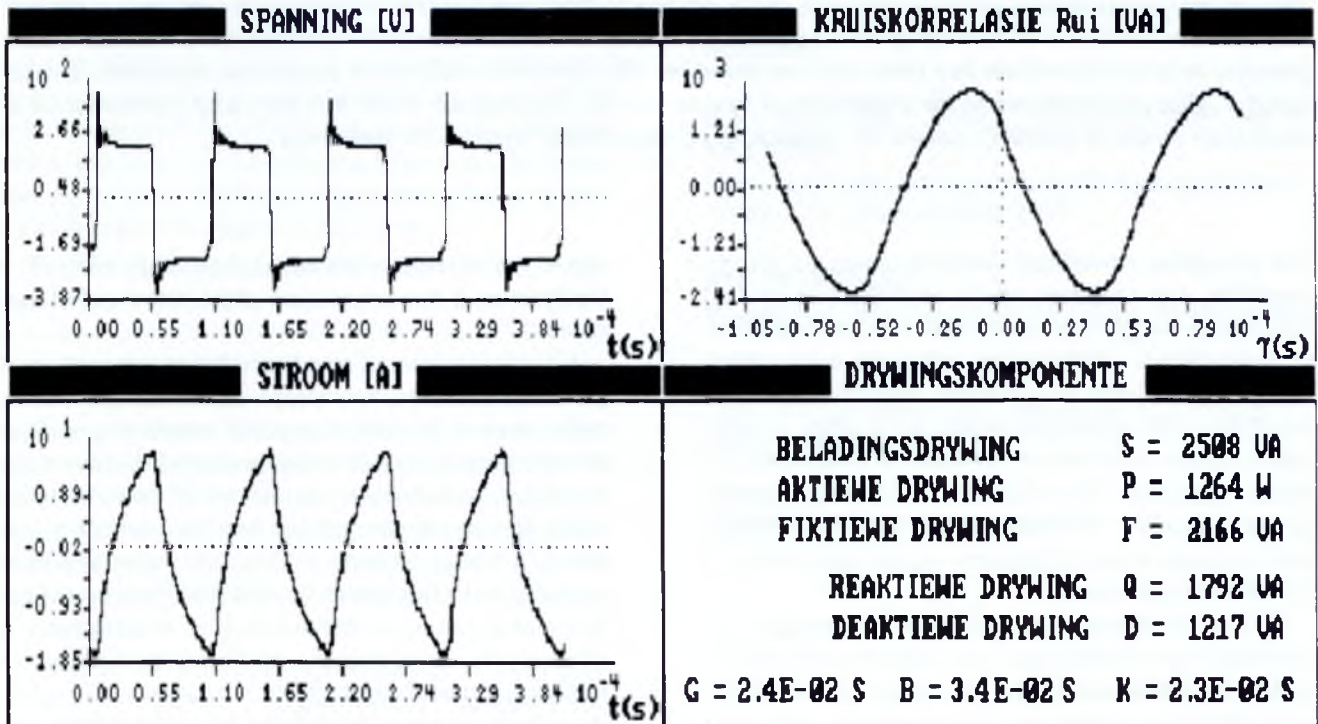
Figuur 6: Verdeelde beladingfunksiekomponente van die geanaliseerde netwerk in fig. 5.



Figuur 7: Analise van 'n elektriese netwerk met die spanning en stroom beide 'n blokgolf wat verskuiw word in tyd.



Figuur 8: Skematiese voorstelling van elektriese netwerk met blokgolfopwekking.



Figuur 9: Analiseerde resultate van praktiese stelsel.

GEVOLGTREKKING

Hierdie analisetegniek, gebaseer op die algemeen geldige tyddomeindefinisie van drywing, kan in 'n groot mate die probleme wat met frekwensiedomeinanalises ondervind word, oorkom, in die sin dat enige golfvorm direk in die tyddomein geanaliseer kan word. Nuttige inligting wat in verband gebring word met die energioordrag tussen die bron en die las, word vanuit die analyses verkry. Hierdie analisetegniek kan ook gebruik word om die geanaliseerde vervorming koste-effektief te kompenseer.

VERWYSINGS

1. Deppenbrock, M. (1979). Wirk- und Blindleistungen periodischer Ströme in Ein- und Mehrphasensystemen mit periodischen Spannungen beliebiger Kurvenform. VDE-Verlag, GmbH-Berlin, ETG-Fachberichte nr. 6, Vorträge der ETG-Fachtagung, Blindleistung, Aachen, 17-62, 1-2 Oktober.
2. Kusters, N. L. & Moore, W. J. M. (1980). On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions. *IEEE Trans. Power Appl. Syst.*, vol. PAS-99, nr. 5, 1845-1854.
3. Nowomiejski, Z. (1981). Generalized theory of electric power. *Archiv für Electrotechnik*, vol. 63, pp. 177-182.
4. Enslin, J. H. R. & Van Wyk, J. D. (1988). 'n Nuwe benadering tot die definisie van elektriese drywing, onder toestande van vervormde spannings en strome. *S.A. Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, vol. 7, no. 2, 76-82.
5. Van Wyk, J. D., Swart, P. L., Olivier, D. N., Van Niekerk, J. D. (1983). On-line harmonic analysis as a diagnostic design and control tool for power systems feeding arc furnaces, thyristor-controlled mill drives, and power factor correction equipment. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-19, no. 6, 932-939.
6. Broch, J. T. (1984). *Mechanical Vibration and Shock Measurements*, 2nd edition, chapters 3, 4, 6, 7, (Brüel & Kjaer).
7. Papoulis, A. (1962). *The Fourier integral and its applications*, chapters 8, 10, 12, (McGraw-Hill, New York).
8. Budeanu, C. L. (1927). The different options and conceptions regarding active power in non-sinusoidal systems. In Rumanian National Institute (Bucharest, Rumania), publication no. 2, 4.
9. Enslin, J. H. R. & Van Wyk, J. D. (1988). Measurement and compensation of fictitious power under nonsinusoidal voltage and current conditions. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 37, no. 3, 403-408.

DANKBETUIGINGS

Die outeurs bedank die finansiële bystand vanaf die Nasionale Energieraad, Universiteit van Pretoria en Randse Afrikaanse Universiteit.