

'n Nuwe benadering tot die definisie van elektriese drywing, onder toestande van vervormde spannings en strome

J.H.R. Enslin*

Dept. Elektriese Ingenieurswese, Fakulteit Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria, Pretoria 0002

J.D. van Wyk

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

Ontvang 1 Febr. 1988; aanvaar 29 Febr. 1988

UITTREKSEL

'n Algemene tyddomeindefinisie van elektriese drywing, wat van outokorrelasie- en kruiskorrelasietegnieke gebruik maak, word voorgestel vir die meet, karakterisering en kompensasie van fiktiewe drywing in enige netwerk, onder toestande van nie-sinusvormige en in die algemeen aperiodese verlope van stroom en spanning. Die definisie lei tot 'n nuut gedefinieerde, ekwivalente elektriese netwerkparameter, disseptansie, wat 'n aanduiding is van die nie-lineêre eienskappe van die elektriese las wat aan die netwerk verbind word. Die probleme wat met die huidige definisies ondervind word, word deur middel van 'n opsommende beskrywing oor die bestaande definisies en hulle onderskeie tekortkomings uitgelig. 'n Nuwe filosofie vir die kompensasie van elektriese netwerke, waarvan die stroom- en spanningsverlope vervorm word deur nie-lineêre lasse, word gebaseer op hierdie algemene definisie van elektriese drywing.

ABSTRACT

A new approach to the definition of electric power, under conditions of distorted voltages and currents

A generalized time-domain definition of electric power, using autocorrelation and cross-correlation techniques, is proposed for measurement, characterization and compensation of fictitious power in any network, under conditions of nonsinusoidal and in general aperiodic voltage and current waveforms. This leads to the proposal of a new equivalent network parameter, dissepance, which describes the nonlinear properties of the load. The problems associated with the existing definitions of electric power are pointed out by means of a descriptive summary of the different power definitions and their associated limitations. A new philosophy for compensation of fictitious power in distorted supplies, is based on this definition of power and network parameters.

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.

INLEIDING

Die toename in die gebruik van elektroniese drywingsbeheerstelsels, boogoonde, gelykstroom-transmissiestelsels, fluoresseerlampe, batterylaaiers en ander elektriese apparaat wat die golfvorms van stroom of spanning vervorm, asook die alomteenwoordige magnetiese versadiging in elektriese apparaat, het 'n wesenlike probleem in elektriese drywingstelsels ontteken. Veral die injeksie en verspreiding van gekarakteriseerde en ongekarakteriseerde harmonieke, van die vervormde stroom- en spanningsgolfvorms, in elektriese kragnetwerke, skep probleme vir ander elektriese apparaat en energieverbruikers wat op hierdie vervormde toevoer verbind word. Hoëfrekwensie harmonieke veroorsaak sekondêre effekte tot kommunikasie- en beheerstelsels, wat elektromagnetiese interferensie in sensitiewe stelsels insluit.

Geïnjekteerde harmonieke in drywingstelsels het 'n vernietigende uitwerking op die meeste toerusting wat aan hierdie vervormde toevoer verbind word, soos byvoorbeeld roterende elektriese masjinerie, kapasitorbanke vir kompensasie van 'n nalopende arbeidsfaktor en sensitiewe rekenaarsstelsels. Die elektriese voorsieningsnetwerke word teen 'n verhoogde belading bedryf, sonder 'n verhoging in netto elektriese energie oorgedra, wat gepaard gaan met 'n verhoging in kapitale investering en lopende uitgawes van elektrisiteitsvoorsieningsorganisasies, wat weer 'n negatiewe effek op die prys van elektriese energie het.

Dit blyk dus noodsaaklik om hierdie vervorming in elektriese stelsels noukeurig te kan meet en karakteriseer, om sodoende die effekte van 'n vervormde toevoer op komponente so effektief as moontlik te kan analiseer.

Om die effekte van bogenoemde vervorming in stelsels te minimiseer, moet 'n vorm van vervormingskompensasie ingesluit word in toepassings waar komplekse lasse aan die energienetwerk gekoppel word, veral indien die kortsluitvermoë van die toevoer relatief laag is. Die beheerfilosofie van hierdie kompensasiestelsel is tans nog 'n belangrike onopgeloste probleem. Die probleme geassosieer met die beheerfilosofie moet tans ondersoek en opgelos word, voordat effektiewe vervormingskompensasie in elektriese energiestelsels kan geskied.²²

Vir die definisie van elektriese drywing onder vervormde toestande, word voorgestel dat geen periodiese eienskappe en daarom ook geen harmoniekanales van die golfvorms van stroom en/of spanning as basis vir die definisie gebruik moet word nie. Die definisie moet slegs die werklike tydsverlope van stroom en spanning gebruik om drywing te definieer. Die gevalle van periodiese golfvorms van stroom en spanning en gelykstroomdrywing moet beskou word as spesiale gevalle van die meer algemene definisie van elektriese drywing. 'n Tyddomein-definisie van elektriese drywing, wat gebaseer word op korrelasietegnieke, word voorgestel as 'n algemene definisie van elektriese drywing.

In hierdie referaat word die woord elektriese dry-

wing gekoppel aan 'n versamelnaam van al die drywingsbegrippe van toepassing op elektriese stelsels, en nie slegs aan aktiewe drywing, wat die tempo van die oordrag van elektriese energie aandui nie.

PROBLEME MET BESTAANDE DEFINISIES VAN ELEKTRIESE DRYWING

Die klassieke komplekse-fasor-definisie van elektriese drywing

Elektriese drywing word verdeel in drie komponente, naamlik skyndrywing,¹ aktiewe drywing en reaktiewe drywing, saamgevat in terme van die komplekse drywing getoon in vergelyking 1.

$$S = U \cdot I^* \quad (1)$$

met I^* die komplekse toegevoegde van die stroomfasor I , en U die spanningsfasor. Die skyndrywing word uitgedruk in terme van twee ortogonale komponente, nl. aktiewe en reaktiewe drywing.

$$S = P + jQ \quad (2)$$

Aktiewe drywing P word geassosieer met die gemiddelde tempo van energie-oordrag vanaf die bron na die lineêre las. Reaktiewe drywing Q word beskou as die oorblywende gedeelte van die skyndrywing S en hou verband met die ossillerende drywingsvloei tussen bron en las onder toestande van sinusvormige golfvorms vir stroom en spanning. Hierdie klassieke definisie van elektriese drywing kan drywing onder toestande van sinusvormige golfvorms van stroom en spanning beskryf, maar is egter ontoereikend om drywing onder nie-sinusvormige golfvorms van stroom en spanning te karakteriseer.

Definisie van drywing in die frekwensiedomein

Onder toestande waar die golfvorms van stroom en spanning nie sinusvormig is nie, is dit onmoontlik om drywing in slegs twee ortogonale komponente te beskryf. Budeanu² het oorspronklik drywing, onder toestande van nie-sinusvormige golfvorms van stroom en spanning, uitgedruk in terme van die harmonieke van die stroom en spanningsgolfvorms.² Die spanning- en stroomgolfvorms kan onder bestendige toestande uitgedruk word in terme van hulle harmonieke, soos getoon in vergelykings 3 en 4 respektiewelik.

$$u(t) = \sum_n \sqrt{2} \cdot U_n \cos(\omega_n t + \alpha_n) \quad (3)$$

$$i(t) = \sum_k \sqrt{2} \cdot I_k \cos(\omega_k t + \beta_k) \quad (4)$$

Onder hierdie gestadigde periodiese golfvorms van stroom en spanningsgolfvorms het Budeanu nog 'n komponent van elektriese drywing voorgestel, naamlik vervormingsdrywing D . Vervormingsdrywing kan nie gekarakteriseer word as enige van die vorige komponente nie, en word getoon in vergelyking 8.

$$S = \left[\sum_n U_n^2 \cdot \sum_k I_k^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$P = \sum_n U_n \cdot I_n \cos(\alpha_n - \beta_n) \quad (6)$$

$$Q = \sum_n U_n \cdot I_n \sin(\alpha_n - \beta_n) \quad (7)$$

$$D = \left\{ \sum_{n \neq k} (U_n^2 \cdot I_k^2 + U_k^2 \cdot I_n^2 - 2U_n U_k I_n I_k \cos(\phi_n - \phi_k)) \right\}^{1/2}$$

met $\phi = (\alpha_i - \beta_i)$ (8)

Skyndrywing S word gedefinieer uit die vierkantswortel van die som van al die kwadrate van al die effektiwe waardes van die stroom- en spanningsharmonieke, oor die wye frekwensiespektrum. Die fisiese interpretasie van reaktiewe drywing Q en vervormingsdrywing D word nie geassosieer met die ekwivalente las van die netwerk nie,¹⁹ maar word bereken uit die binneproduk van spanning en stroom se harmoniese komponente van dieselfde frekwensie, en harmoniese komponente van verskillende frekwensies onderskeidelik, getoon in vergelykings 7 en 8.^{24,9}

Die fundamentele beperking van die frekwensietransformasie, wat as basis 'n periode impliseer, het tot gevolg dat sowel die stroom as spanning periodies moet wees vir die definisie om te geld. Dit plaas 'n onaanvaarbare beperking op hierdie definisie, aangesien byna al die stroomgolfvorms in werklikheid wel aperiodies is. Ook kan die fisiese groothede van die drywingskomponente nie gemeet word nie, maar is slegs 'n wiskundige transformasie van die tyddomein-inligting en hou geensins verband met die netwerk nie, daarom kan dit nie gebruik word om vervorming in 'n netwerk te kompenseer of te meet nie.¹⁹

Verskeie ander outeurs³⁻⁹ het sekere fasette van die werk verder ondersoek, wat veral op die implementering van die definisie op praktiese stelsels berus. Die fisiese interpretasie skiet egter so ver tekort, dat hierdie definisie onaanvaarbaar is vir die karakterisering van vervorming in elektriese stelsels. Die harmoniekanalietegnieke kan wel aangewend word om harmoniese verliese onder gestadigde toestande te bereken, maar is totaal ontoereikend as 'n fundamentele drywingsdefinisie.¹⁹

Die realisering van die frekwensietransform skep heelwat praktiese probleme, omdat 'n presiese periode geneem moet word in die seinanalises, anders word onakkurate resultate verkry. Dit skep veral probleme indien daar 'n klein dryf in die fundamentele frekwensie is. Met die praktiese frekwensietransforms, soos die bekende FFT-algoritme, word probleme ondervind wat onakkurate resultate lewer sodra daar modulاسie van stroom plaasvind, soos algemeen die geval in praktiese energiestelsels is. Om hierdie redes blyk dit dat die tyddomeinbenadering veel beter resultate sal lewer in die analise en karakterisering van vervorming in elektriese energiestelsels.

Definisie van drywing in die tyddomein

Die tyddomein is eerste deur die Poolse navorser, Fryze, in 1932¹⁰ ingespan om elektriese drywing te definieer. In die benadering van Fryze word die tydweergawe van die stroomgolfvorm, $i(t)$, aan die hand van 'n ekwivalente laskonduktansie, G , in twee ortogonale komponente verdeel, nl:

- (i) aktiewe stroom $i_a(t)$ (die eerste ortogonale komponent) met dieselfde golfvorm as die spanning $u(t)$ en amplitude bepaal deur die ekwivalente laskonduktansie G ;
- (ii) fiktiewe stroom $i_f(t)$ (die tweede ortogonale komponent) is die verskilstroom tussen $i(t)$ en $i_a(t)$, wat ten alle tye ortogonaliteit op die aktiewe stroom $i_a(t)$ impliseer.

$$i_a(t) = G \cdot u(t) \quad (9)$$

$$\text{met } i_a \cdot i_f = 0 \text{ en } i = i_a + i_f$$

Met behulp van die wortel-gemiddeld-kwadraatwaarde (wgk) van hierdie tydfunksies van stroom en spanning is daar twee komponente van elektriese drywing deur Fryze gedefinieer, soos getoon in vergelykings 10 en 11:

$$P = I_a \cdot U \quad (10)$$

$$F = I_f \cdot U \quad (11)$$

Die aktiewe drywing P in vergelyking 10 is 'n aanduiding van die gemiddelde tempo van energie-oordrag tussen die bron en las, terwyl die fiktiewe drywing F in vergelyking 11 'n aanduiding is van die komponent van die skyndrywing S , wat geen netto energie-oordrag tussen bron en las tot gevolg het nie.

$$S^2 = P^2 + F^2 \quad (12)$$

Die ortogonaliteit tussen die twee drywingskomponente kom na vore in vergelyking 12, waar die drywingskomponente kwadratiese gesommeer word om die skyndrywing S te lewer. Die benadering maak egter nie voorsiening vir 'n verdere verdeling van die fiktiewe drywing in verdere drywingskomponente nie. In die realisering van hierdie benadering skep die bepaling van die ekwivalente konduktansie G ook baie probleme.

Die benadering wat hierbo bespreek word, vorm die oorspronklike werk wat verder deur verskeie outeurs uitgebrei is,¹¹⁻¹⁸ elkeen met sy eie konnotasies en verdeelde komponente.

In die tyddomein is die verdeling van Depenbrock¹² gebaseer op die verdeling van die las en bron in 'n verskeidenheid van onderling ortogonale komponente. Die bron word eerstens verdeel in periodiese, modulاسie- en reskomponente, waarna die las in elk van hierdie komponente verder verdeel word volgens Fryze, met 'n verdere verdeling in die sogenaamde reaktiewe drywing, wat egter slegs die reaktiewe drywing in die fundamentele frekwensie voorstel. Die verdeling skep baie moontlikhede, maar is egter moeilik realiseerbaar en bly inherent steeds pe-

riodies, terwyl die reaktiewe drywing nie gedefinieer is oor die totale frekwensiespektrum nie.

Die tyddomeinverdeling van Nowomiejski¹⁵ is slegs gebaseer op die las en word gekarakteriseer aan hand van die feit dat korrelasietegnieke en 'n Hilbert-transform voorgestel word vir die definisie van drywing. Dit impliseer dat reaktiewe drywing oor die totale frekwensiespektrum gedefinieer is, en sodoende ortogonaliteit oor die totale frekwensiespektrum voorstaan. Die implementering van veral die Hilbert-transform skep heelwat probleme en word nie in die referaat aangespreek nie. Filipski en Page^{16, 14} maak 'n bydrae deur die Hilbert-transform te realiseer deur middel van analoogelektronika. Die beperking wat op die bandwydte en die frekwensiespektrum gestel word, is egter nog onaanvaarbaar.

Kusters en Moore¹³ beskryf die fiktiewe drywing in terme van kapasitiewe, induktiewe en reskomponente. Elkeen, die induktiewe en kapasitiewe komponente, kan dan gekompenseer word deur slegs van reaktiewe elemente gebruik te maak. Die reaktiewe drywing word slegs in terme van die fundamentele frekwensie gedefinieer.

VOORGESTELDE DEFINISIE VAN ELEKTRIESE DRYWING

Die voorgestelde definisie van elektriese drywing word, na aanleiding van Fryze,¹⁰ slegs in twee ortogonale komponente verdeel, **aktiewe drywing P** en **fiktiewe drywing F**. In 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 netwerkparameters gerugsteun. In ander werk word die meting en fisiese realisering van hierdie verdeling aangespreek.¹⁸

DEFINISIE VAN BELADINGSDRYWING

Beladingsdrywing S, ekwivalent aan skyndrywing, word in verband met belading van die elektriese netwerk gebring en word bereken uit die effektiewe waardes van stroom en spanning oor 'n meettydsinterval, δT . Die beladingsdrywing word uitgedruk in terme van die ekwivalente netwerkadmitansie Y oor die meettydsinterval δT .

$$S = U \cdot I = U^2 \cdot Y \quad (13)$$

In die meet van die effektiewe waardes van spanning $u(t)$ en stroom $i(t)$ oor die tydsinterval δT word 'n tyddomeinoutokorrelasie voorgestel.²⁴ Die gebruik van 'n outokorrelasie is ekwivalent aan die definisie van die gemiddelde kwadraatwaarde, soos uitgewys aan die hand van vergelykings 14 en 15. Die outokorrelasie oor die tydsinterval δT word in vergelyking 15 getoon. Indien die korrelasieparameter τ as nul geneem word en die tydsinterval δT dieselfde as die periode T , is die twee vergelykings 14 en 15 ekwivalent.

$$U^2 = 1/T \int_0^T u^2(t) dt \quad (14)$$

$$R_{uu}(\tau) = 1/\delta T \int_0^{\delta T} u(t) \cdot u(t-\tau) dt \quad (15)$$

Dit impliseer dat effektiewe waardes van enige golfvorm bereken kan word deur van 'n outokorrelasie gebruik te maak:

$$U = [R_{uu}(0)]^{1/2} |_{\delta T} \quad (16)$$

$$I = [R_{ii}(0)]^{1/2} |_{\delta T} \quad (17)$$

Die beladingsdrywing van die netwerk word met die ekwivalente admitansie Y van die netwerk geassosieer. Die effektiewe stroom I is verantwoordelik vir die beladingsdrywing S in die netwerk met effektiewe spanning U .

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 energie-oordrag tussen bron en las oor die tydsinterval δT .¹⁰⁻¹⁹ Aktiewe drywing, geneem oor 'n tydsinterval δT , word bereken uit die kruiskorrelasie tussen stroom en spanning²⁴ soos getoon in vergelykings 18 en 19. Aktiewe drywing oor 'n fundamentele periode T word in vergelyking 18 getoon, terwyl die kruiskorrelasie tussen stroom en spanning oor 'n arbitrêre gekose tydsinterval δT in vergelyking 19 getoon word. Indien kruiskorrelasie parameter τ as nul geneem word en die tydsinterval δT gelyk aan die fundamentele periode T gestel word, is vergelyking 19 identies aan vergelyking 18:

$$P = 1/T \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (18)$$

$$R_{ui}(\tau) = 1/\delta T \int_0^{\delta T} u(t) \cdot i(t-\tau) dt \quad (19)$$

Dit impliseer dat aktiewe drywing deur middel van 'n kruiskorrelasie tussen stroom en spanning oor enige tydsinterval δT bereken kan word. Die resultaat word in vergelyking 20 getoon:

$$P = R_{ui}(0) |_{\delta T} \quad (20)$$

Die aktiewe drywing word met die las geassosieer in terme van die ekwivalente konduktansie G . Die **aktiewe stroom i_a** is verantwoordelik vir die netto oordrag van energie vanaf bron na die ekwivalente konduktansie G in die las.

$$P = U^2 \cdot G = U \cdot I_a \quad (21)$$

met I_a die effektiewe waarde van die aktiewe stroom $i_a(t)$. Die aktiewe stroom $i_a(t)$ het dieselfde golfvorm as die spanning $u(t)$ met amplitude bepaal deur die konduktansie G :

$$i_a(t) = G \cdot u(t) \quad (22)$$

DEFINISIE VAN FIKTIEWE DRYWING

Fiktiewe drywing, F , word bereken uit die ortogonaliteit wat heers tussen die onderskeie drywingskomponente.¹⁻¹⁹ Die fiktiewe stroom $i_f(t)$ is verantwoordelik vir die fiktiewe drywing wat bestaan in die netwerk.

$$F = [S^2 - P^2]^{1/2} = U \cdot I_f \quad (23)$$

met I_f die effektiewe waarde van die fiktiewe stroom $i_f(t)$. Vir doeleindes van die karakterisering en beheer van fiktiewe drywing word 'n verdere verdeling van fiktiewe drywing voorgestel. Fiktiewe drywing word in twee onderling ortogonale komponente verdeel: **reaktiewe drywing** Q en **deaktiewe drywing** D . Die verdeling word regstreeks uit die kruiskorrelasie tussen stroom en spanning bepaal.

(a) **Reaktiewe drywing** Q . Reaktiewe drywing word met die ossillatoriese energievloei tussen bron en las geassosieer, sonder netto oordrag van energie tussen bron en las oor die meettydsinterval δT . Reaktiewe drywing word gekarakteriseer deur middel van 'n ekwivalente netwerkparameter, susseptansie B . Ortogonaliteit tussen die geassosieerde reaktiewe stroom $i_r(t)$, deaktiewe stroom $i_d(t)$ en aktiewe stroom $i_a(t)$ is 'n primêre voorvereiste. Die ossillatoriese energievloei en daarom omkeerbaarheid kan uitgedruk word in terme van 'n tydsverskuiwing tussen die golfvorms van stroom en spanning, terwyl daar steeds 'n mate van korrelasie tussen die onderlinge golfvorms mag wees. Dit is juis die gekorreleerdheid tussen die stroom en spanning wat 'n bydrae tot die reaktiewe drywing lewer, terwyl die ongekorreleerdheid tussen die golfvorms die deaktiewe drywing daarstel.

Die maksimum waarde van die kruiskorrelasie tussen stroom en spanning $\wedge R_{ui}(\tau)$ verkry oor die tydsinterval δT , stel die punt voor waar daar maksimum ooreenkoms tussen die stroom en spanningsgolfvorms bestaan. Die punt op die kruiskorrelasiefunksie stel die aktiewe drywing voor wat sou voorgekom het indien die tydsverskuiwing van die stroom ten opsigte van die spanning weggelaat sou word, en is daarom 'n aanduiding van die gekorreleerde fiktiewe drywing of kortweg die reaktiewe drywing. Die reaktiewe drywing word in vergelyking 24 uit die kruiskorrelasie gedefinieer.

$$Q = [\wedge R_{ui}^2(\tau) - R_{ui}^2(0)]^{1/2} \quad (24)$$

Die ekwivalente netwerksusseptansie B word geassosieer met die reaktiewe drywing Q , terwyl die **reaktiewe stroom** i_r verantwoordelik is vir die reaktiewe drywing en energie ossillerend tussen die bron en susseptansie slinger.

Die golfvorm van die reaktiewe stroom moet ortogonaal wees op die ander komponente van die stroom, geneem oor die meettydsinterval. Die kruiskorrelasie, die spanning en die susseptansie B word gebruik om die tydweergawe van die reaktiewe stroom $i_r(t)$ te bepaal:

$$Q = U^2 \cdot B = U \cdot I_r \quad (25)$$

$$B = Q/U^2 = \frac{[\wedge R_{ui}^2(\tau) - R_{ui}^2(0)]^{1/2}}{[R_{uu}(0)]} \quad (26)$$

$$\text{met } i_a \cdot i_r = 0 \text{ en } I_r = B \cdot U \quad (27)$$

$$i_r = i - i_a - i_d \quad (28)$$

Die oomblikswaarde van die reaktiewe stroom $i_r(t)$ word bereken uit die tydweergawe van die ander stroomkomponente, soos in vergelyking 28 getoon word. Die reaktiewe stroom is steeds 'n gekorreleerde komponent terwyl die deaktiewe stroom die ongekorreleerde stroomkomponent voorstel. Die deaktiewe stroom i_d word direk uit die korrelasiefunksie bereken.

Vir periodiese golfvorms kan die reaktiewe drywing verder vereel word in die kapasitiewe of induktiewe reaktiewe drywing, of soos voorgestel fundamentele reaktiewe drywing Q_r en die resgedeelte reaktiewe drywing Q_d .¹³ Dit het die voordeel dat die reaktiewe drywing in die grondkomponent deur middel van 'n kapasitor of induktor gekompenseer kan word.^{13, 17}

(b) **Deaktiewe Drywing** D . Die tweede ortogonale komponent van fiktiewe drywing word geassosieer met die ongekorreleerdheid tussen die golfvorms van stroom en spanning. Met die verdeling van fiktiewe drywing uit vergelyking 25, in reaktiewe drywing, is daar juis die feit 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 behels. Uit die korrelasie tussen stroom en spanning¹⁸ is dit duidelik dat 'n sekere komponent van die beladingsdrywing veroorsaak word deur die ongekorreleerdheid van die stroomgolfvorm ten opsigte van die spanningsgolfvorm.

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

$$D = [S^2 - P^2 - Q^2]^{1/2} \quad (29)$$

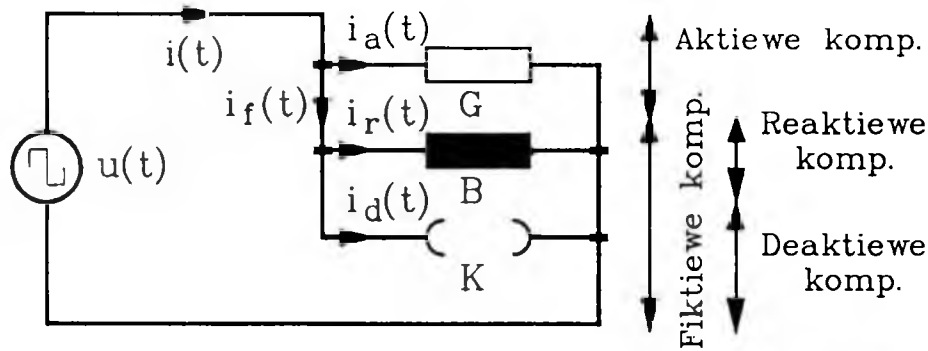
'n Nuut-gedefinieerde netwerkparameter disseptansie K word geassosieer met die nie-lineêre eenskappe van die las. Die admitansie Y geassosieer met die totale nie-lineêre las, word uitgedruk in terme van die drie ekwivalente netwerkparameters, G , B en K .

$$Y^2 = G^2 + B^2 + K^2 \quad (30)$$

Deaktiewe stroom i_d is verantwoordelik vir die deaktiewe drywing D geassosieer met die disseptansie van die las.

$$D = U^2 \cdot K = U \cdot I_d \quad (31)$$

met $i_r \cdot i_d = 0$; $i_d = i - \sqrt{[B^2 + G^2]} \cdot u(t - \wedge \tau)$ en $\wedge \tau$ die tydsverskuiwing in die korrelasiefunksie waar



$$I = Y \cdot U \quad i_a(t) = G \cdot u(t) \quad I_a = G \cdot U$$

$$i_d(t) = i(t) - \sqrt{G^2 + B^2} \cdot u(t - \tau) \quad I_r = B \cdot U$$

$$i_r(t) = i(t) - i_a(t) - i_d(t) \quad I_d = K \cdot U$$

FIGUUR 1: Ekwivalente netwerkparameters.

maksimum korrelasie tussen stroom en spanning bestaan, $\hat{R}_{ii}(\tau)$. Die effektiewe waarde van die deaktiewe stroom word voorgestel deur I_d .

EKWIVALENTE NETWERKPARAMETERS ONDER TOESTANDE VAN NIE-SINUSVORMIGE STROOM- EN SPANNINGSGOLFOORMS

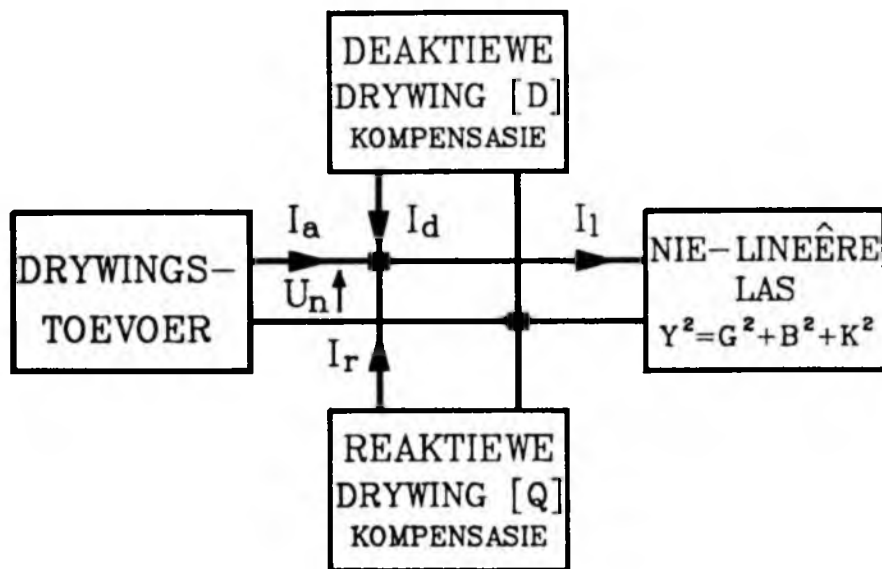
Soos aangetoon in die vorige paragraaf word al die komponente van elektriese drywing geassosieer met 'n ekwivalente netwerkparameter. Figuur 1 toon die verwantskappe van al die verskillende parameters.

Elke ekwivalente parameter het 'n geassosieerde drywingskomponent. Dit impliseer dat elke komponent van drywing geassosieer kan word met 'n ekwivalente netwerkparameter. Elkeen van die komponente dra by tot die unieke karakterisering van die totale netwerk.

TOEPASSINGS VAN DIE TYDDOMEIN-DEFINISIE VAN ELEKTRIESE DRYWING

Filosofie van Fiktiewe Drywingskompensasie

Elkeen van die bogenoemde komponente van elektriese drywing word geassosieer met 'n unieke ekwivalent netwerkparameter, wat impliseer dat die kompensasie van sodanige nie-lineêre netwerk bewerkstellig kan word deur die effektiewe kansellering van sodanige ongewenste netwerkparameters, om dan die las in die ideale geval suiwer resistief te laat. Sincrone masjiene, arbeidsfaktor-kompensasie-kapasitorbanke, harmoniese drywingsfilters, tiristorbeheerde reaktiewe drywingsbronne en dinamiese drywingsfilters,^{18, 20-22} elkeen met sy eie inherente voordele, kan gesamentlik of apart aangewend word om een of meer van die ongewenste netwerkparameters te kanselleer.



FIGUUR 2: Blokdiagramvoorstelling van die filosofie van fiktiewe drywingskompensasie.

Die beheerfilosofie van hierdie kompensasi-apparaat is daarom een van die belangrikste uitvloeisels van die voorgestelde definisie van elektriese drywing. Ter illustrasie word die kompensasielilosofie blokdiagrammaties in figuur 2 getoon.

Die totale kompensasiestelsel moet in die algemeen uit 'n susseptansie- en disseptansiegedeelte bestaan. Die reaktiewe drywing in die netwerk word gekompenseer deur middel van 'n susseptansie B terwyl die deaktiewe drywing gekompenseer word deur middel van 'n ekwivalente dispetansie K, sodat die totale ekwivalent netwerk slegs uit 'n konduktansie G bestaan.

Die stelsel verantwoordelik vir reaktiewe drywingskompensasi genereer die stroom $i_r(t)$ terwyl die stelsel verantwoordelik vir deaktiewe drywingskompensasi, die stroom $i_d(t)$ genereer en slegs die aktiewe stroom $i_a(t)$ word van die toevoerbron geneem.

KARAKTERISERING VAN ELEKTRIESE ENERGIESTELSLS

In elektriese energiestelsels met vervormde stroom- en spanningsgolfvorms skep die karakterisering van die netwerk en die meet van die vervormingsbron geweldige probleme.^{13, 17-19, 22} Met bogenoemde voorgestelde definisie van elektriese drywing word elke komponent van elektriese drywing beskryf deur die geassosieerde ekwivalente netwerkparameter. Elke parameter beskryf weer op sy beurt eenduidig die eienskappe van die netwerk, dit wil sê die mate van omkeerbaarheid van die netwerk, die nie-lineêre eienskappe van die netwerk en die benutting van die netwerk. Dit is dus moontlik om die netwerk akkuraat te karakteriseer.

SAMEVATTING

Die artikel het gepoog om 'n tyddomein-definisie van elektriese drywing te ontplooi. Dié definisie is 'n nuwe bydrae tot die teorie van vervormingskompensasi wat die moontlikheid van netwerkkompensasi en -karakterisering akkurater en met 'n getrouer weergawe hanteer. Hierdie analise-tegniek is van toepassing in die algemeen, maar meer spesifiek waar die golfvorms van stroom en spanning vervorm word vanaf die normale sinusvormige funksies, en in die algemeen aperiodes is.

VERWYSINGS

1. Buchhoiz, F. (1921). Untersuchung über die Darstellung der Begriffe "Scheinleistung" und "Scheinarbeit" sowie ihrer Unterbegriffe bei Mehrphasenstrom, *Licht und Kraft*, Org. Elektrotechn. Verein München, no. 22, 1-6.
2. Budeanu, C.I. (1927). The different options and conceptions regarding active power in non-sinusoidal systems, Rumanian National Institute (Bucharest, Rumania), publ. no. 2 & 4.
3. Rissik, H. (1935). The influence of mercury arc rectifiers upon the powerfactor of the supply system, *J. IEE*, vol. 72, May, 435-455.

4. Quade, W. (1937). Zusammensetzung der Wirk-, Blind- und Scheinleistung bei Wechselstromen beliebiger Kurvenform und neue Leistungsdefinition für unsymmetrische Mehrphasenstrome beliebiger Kurvenform, *ETZ*, vol. 58, 1315-1341.
5. Shepherd, W. & Zakikhani, P. (1972, 1973). Suggested definition of reactive power in nonsinusoidal system. *Proc. IEE*, vol. 119, 1361-1362, & vol. 120, 706-798. July.
6. Sharon, D. (1973). Reactive power definition and power factor improvement in non-linear systems, *Proc. IEE*, vol. 120 704-706.
7. Emanuel, A.E. (1977). Energetical factors in power systems with nonlinear loads, *Archiv für Electrotechnik*, vol. 59, 183-189.
8. Gretsch, R. & Krost, G. (1981). Betrags- und winkelrichtige Messung von Spannungs- und Stromharmonischen, *ETZ Archiv*, vol. 3, no. 5, 149-152.
9. Fischer, H.D. (1985). Leistungsbegriffe für Mehrphasensysteme. Teil 1: Die Leistungsbegriffe nach Buchholz und nach Quade *Siemens Forsch. - u. Entwickl.-Ber.*, vol. 14, no. 5, 245-251 & Teil 2: Vergleich der Leistungsbegriffe nach Buchholz und nach Quade, vol. 14, no. 6, 299-305.
10. Fryze, S. (1932). Wirk-, Blind-, und Scheinleistung in Elektrisch Stromkreisen mit nichtsinusoidalformigen Verlauf von Strom und Spannung, *ETZ*, vol. 53, no. 25, 596-599, 625-627, 700-702.
11. Oberdorfer, G. (1963). Begriffserklärung und Erläuterung der Blindleistung, *VDE-Verlag GmbH-Berlin*, VDE-Buchreihe, Band 10, Blindleistung Vorträge, p. 12-34, 27-28 März, München.
12. Depenbrock, M. (1979). Wirk- und Blindleistungen periodischer Ströme in Ein- und Mehrphasensystemen mit periodischen Spannungen beliebiger Kurvenform, *VDE-Verlag GmbH-Berlin*, ETG-Fachberichte no. 6, Vorträge der ETG-Fachtagung, Blindleistung, 17-62, 1-2 Oktober, Aachen.
13. 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, no. 5, 1845-1854.
14. Page, C.H. (1980). Reactive power in nonsinusoidal situations, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-29, no. 4, 420-423.
15. Nowomiejski, Z. (1981). Generalized theory of electric power, *Archiv für Electrotechnik*, vol. 63, 177-182.
16. Filipski, P. (1984). The measurement of distortion current and distortion power, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-33, no. 1.
17. Czarnecki, L.S. (1985). Considerations on reactive power in nonsinusoidal situations, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-34, no. 3, 399-404.
18. Enslin, J.H.R. & Van Wyk, J.D. (1987). Digital signal processing in power systems: Calculation of power under nonsinusoidal voltage and current conditions, 5de SA Seinverwerkingsimposium, Grahamstad, RSA pp. 1.5.1 - 1.5.6, Julie.
19. Czarnecki, L.S. (1987). What is wrong with the Budeanu concept of reactive power and why it should be abandoned, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-36, no. 3, 834-837.
20. Harashima, F., Inaba, H. & Tsuboi, K. (1976). A closed-loop control system for the reduction of reactive power required by electronic converters, *IEEE Trans. Ind. Electron Control Instrum.*, vol. IECI-23, no. 2 162-166.
21. Van Wyk, J.D., Marshall, D.A. & Boshoff, S. (1986). Simulation and experimental study of a reactively loaded PWM converter as a fast source of reactive power, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-22, no. 6, 1082-1089.
22. Van Wyk, J.D. Skudelny, H.-Ch. & Müller-Hellmann, A. (1986). Power electronics, control of the electro-mechanical energy conversion process and some applications, *IEE Proc.*, vol., 133, Pt.B, no. 6, 369-399.
23. McClellan, J.H., Parks, T.W. & Rabiner, L.R. (1973). A computer program for desinging FIR linear phase digital filters, *IEEE Trans. Audio a. Electroacoustics*, vol. AU-21, no. 6, 506-562.
24. Papoulis, A. (1962). *The Fourier integral and its applications*, chapters 4, 10, 12 (McGraw-Hill, New York).