

'n Omvattende nasionale bestuursraamwerk
vir kragstelselbelemmering deur
aaneengeskakelde ontwrigting van
kragontwikkeling in Suid-Afrika

Verhandeling voorgelê vir die graad *Magister in Elektriese en
Elektroniese Ingenieurswese* aan die Noordwes-Universiteit

M Viljoen

(studente no. 22697500)

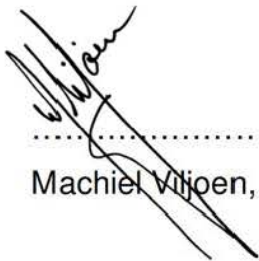
Studieleier: Prof. Jan A de Kock

Maart 2013

Plegtige verklaring

Ek, Machiel Viljoen, verklaar dat hierdie verhandeling 'n aanbieding van my eie oorspronklike werk is, uitgevoer onder die leiding van Prof. J. A. de Kock. Waar bydraes van ander betrokke is, is gepoog om dit as sodanig aan te dui in die litteratuur. Geen deel van hierdie werk was voorheen, of word tans elders ingedien met die bedoeling om 'n graad te verwerf of vir die nasien van 'n kursus by enige ander universiteit nie.

Geteken op die 10de dag van Maart 2013, in Deneysville.



.....
Machiel Viljoen, Pr.Ing.

Opsomming

In die verhandeling gaan getoon word dat 'n unieke klas van netwerkontwrigtings uitgesonder kan word en as 'n onafhanklike klas van ongewenste netwerksteurings beskou kan word. Die spesifieke klas gaan gedefinieer word in terme van die aaneengeskakelde aard waarmee versamelings van kragontwikkelingseenhede ontwrig raak tot die nadeel van die tussenverbinde kragnet om 'n *meereenheidontwrigting* (MEO) te veroorsaak.

Die literatuurstudie bevestig die gebrek aan onderskeid tussen 'n MEO en ander vorme van netwerkontwrigtings en toon dat daar grootliks 'n afwesigheid bestaan van 'n effektiewe en spesifieke bestuursraamwerk om die onderliggende bedreiging te trotseer.

Vervolgens word talle van die eienskappe en aspekte van MEO's ondersoek om die begrip, konteks en omvang daarvan uit te brei. Hierdie gedeelte kwantifiseer die bedreiging vir die netwerk aan die hand van bekende bedryfspraktyke en identifiseer leemtes en kwesbaarhede. Die ewekansigheid, al dan nie, van die voorkoms en omvang van die netwerkversteurings word ondersoek en sekere reëlmatighede word uitgewys.

Dan volg die ontwikkeling van 'n bestuursraamwerk, wat 'n primêre doelstelling van hierdie werk is. Die raamwerk onderskei rolle en verantwoordelikhede, verstrek maatstawwe, definieer nuwe konsepte wat die bestuur van MEO's sal fasiliteer en beskryf 'n basiese raamwerk vir die ondersoek en dokumentering van hierdie tipe ontwrigting.

In die slot word afleidings gemaak en die potensiële waarde van 'n MEO-bestuurstelsel beredeneer voordat moontlikhede vir verdere navorsingswerk uitgewys word.

Sleutelwoorden	Keywords
Aaneengeskakelde ontwigting	Cascade failures
Meereenheidklink	Multiple unit trip
Meereenheidontwigting	Cascade disruption of generation
Tussenverbinde kragnet	Interconnected power system
Gemeenskaplikheid	Commonality
Kwesbaarheid	Vulnerability

Abstract

This desertation shows that a unique class of network disruption exists that can be regarded in isolation of other classes of network disturbances, namely *cascade disruption of generation* (CDG). This class of disturbance is being defined in terms of the cascading effect that it exhibits in terms of the disruption of power generating units in an interconnected power system.

Through a literature survey it is shown that a lack of formal acknowledgement exists in the recognition of this class of disturbance both locally and abroad, and that therefore there is a general absence of a policy framework to manage the threat that is associated with the *cascade disruption of generation*.

The analysis of the records of such events in the Southern African power pool are analysed, and the properties and characteristics of CDG events are explored. The extent of the threat to the interconnected power system that is posed by CDG, as a phenomenon, is quantified in the context of industry practice and weaknesses are identified. It is shown that the occurrence of this class of event is not entirely random, and that statistical methods can be used in the development of mitigation strategies.

A management framework is developed with metrics for the monitoring, evaluation and trending of the phenomenon, and to evaluate the ongoing risk. Roles and responsibilities are suggested and a outline for the systematic investigation of such events is developed.

In the conclusion, the possible benefits of the an CDG managenent framework are discussed and scope for future work in this regard is suggested.

Inhoudsopgawe

Plegtige verklaring	i
Opsomming	ii
Abstract.....	iii
Voorwoord	vii
Afkortings en definisies	x
Afkortings	x
Definisies.....	xi
Sleutelwoorde.....	xv
1 Agtergrond	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Geschiedkundige agtergrond.....	2
1.3 Probleemstelling	3
1.4 Oorsig van verhandeling.....	4
2 Literatuurstudie.....	5
2.1 Waarde van die huidige Suid-Afrikaanse kragstelsel.....	5
2.2 Internasionale MEO's	6
2.3 Suid-Afrikaanse MEO-geskiedenis	10
2.4 Definisie	10
2.5 Huidige plaaslike bestuursraamwerk	12
2.5.1 Eskom	12
2.5.2 NERSA.....	13
2.5.3 KPSA	14
2.6 Noorder-Afrika	16
2.7 Internasionale maatreëls.....	17
2.8 Samevatting.....	18
3 Ontleding	19
3.1 Inligtingsbron	19
3.2 MEO-ontleding – netwerkperspektief	20
3.2.1 Algemene samestelling en eienskappe van MEO's	20
3.2.2 Algemeenheid van voorkoms.....	23
3.2.3 Omvang van ontwigting	25
3.2.4 Doeltreffendheid van MEO-beperking.....	29
3.2.5 Verband tussen netwerkfrequensie en drywingsverlies	35

3.2.6	Identifikasie van die verspreidingskarakteristiek van MEO-geassosieerde drywingsverlies	44
3.2.7	Effek van ingenieurshandeling op die voorkoms van MEO's	52
3.2.8	MEO-voorkoms met ouderdom	54
3.2.9	Effek van menslike aktiwiteit op MEO's.....	57
3.2.10	Genoegsaamheid van netwerkresewe vir MEO's	59
3.2.11	Blaam ten opsigte van die oorsprong van MEO-voorvalle	61
3.3	MEO-ontleding – funksionele perspektief	65
3.3.1	Transmissie.....	65
3.3.2	Inherente vatbaarheid	68
3.3.3	MEO-kwesbaarhede van kragstasies.....	71
3.3.4	Konfigurasie	74
3.3.5	Onderliggende aspekte	80
3.4	MEO-ontleding – voorvalondersoek.....	94
3.5	Samevatting.....	95
4	Sintese	97
4.1	Rolle en verantwoordelikhede.....	98
4.2	Ontwerp van kragstasies	104
4.3	Integrasie van kragstasies	107
4.4	Operasionele handelinge by kragstasies	108
4.5	Operasionele netwerke	111
4.6	Operasionele tussenverbinde kragnet	112
4.7	Monitering en aanwysers	113
4.8	Klassifikasie en maatstawwe	114
4.8.1	Karakterisering.....	114
4.8.2	Grootheid (G)	115
4.8.3	Tussenverbinde kragnetontwrigting	117
4.8.4	Intensiteit (I)	118
4.8.5	Dinamiese restitusie (R).....	121
4.9	Ondersoekraamwerk vir MEO's	123
4.9.1	Voorafgaande omstandighede	124
4.9.2	Die MEO-voorval self	127
4.9.3	Restourasie en ondersoek	144
4.9.4	Parameters	147
4.10	Samevatting.....	150

5	Slot en gevolgtrekking	152
5.1	Ontginning van waarde	152
5.2	Samevatting	154
5.3	Gevolgtrekking	155
5.4	Moontlike toekomstige navorsingsfokus	156
6	Bylaag: Lys van aangetekende MEO's in Suidelike-Afrika	158
7	Bronnelys	164

Voorwoord

Die besef van die noodsaaklikheid van hierdie werk het gekom gedurende 'n periode van buitengewone openbare druk op die elektrisiteitsvoorsienings-industrie, waartydens die kwesbaarheid van die voorsieningsketting by verskeie geleenthede ooglopend geraak het en die media dit op sensasionele wyse geëksploiteer het. Eskom, as die eienaar van die meerderheidsbelang in terme van die skaal van bates en aktiwiteit binne die Suid-Afrikaanse kragstelsel, het mildelik hulpbronne beskikbaar gemaak om hierdie probleem te bestuur. Die probleem raak egter toenemend meer omvangryk met meer partye as bloot Eskom wat geaffekteer word. Dit het geblyk dat die gereguleerde omgewing wat 'n wesentlike omwenteling in die toekoms van kragvoorsiening en verspreiding in Suid-Afrika noodsaak, aangepas moet word om die verantwoordelikhede rakende die bestuur van grootskaalse ontwigting in die toekoms korrek toe te wys.

'n Groot kragstelsel soos die een wat in Suid-Afrika bedryf word, ervaar steurings op 'n daaglikse basis. Die dagjoernaal wat deur operateurs in streke of op nasionale vlak gehou word, getuig van tientalle voorvalle elke dag wat feitlik sonder uitsondering die stelsel affekteer. Die meeste van hierdie voorvalle het egter slegs 'n geringe mate van ontwigting en hou geen ernstige bedreiging in nie.

Van tyd-tot-tyd vind daar egter meer omvangryke voorvalle plaas wat 'n wesentlike gevaar inhou met die moontlikheid van vërreikende gevolge. Sulke voorvalle is van meer belang en geniet dikwels die fokus van indringende ondersoek. Oor tyd het die versameling van sulke voorvalle gegroei tot 'n aansienlike rekord, maar wat elk hoofsaaklik afsonderlik aangewend is, om gebreke en tekortkominge doelmatig te verbeter.

Daar is egter 'n leemte geïdentifiseer in soverre daar geen samevattende inisiatief bestaan om die totale rekord van voorvalle te ontleed en as 'n populasie te benut nie. Meer spesifiek het dit geblyk dat voorvalle waar kragontwikkeling 'n substansiële rol of betrokkenheid gehad het in die voorval,

sulke voorvalle selfs nog minder aandag geniet – waarskynlik weens die addisionele mate van kompleksiteit en die groter afwesigheid van insig vanuit 'n kragstelsel perspektief.

'n Werk met die omvang van hierdie aard gaan egter nie sonder opoffering gepaard nie. Dit sou eweneens naïef wees om te meen dat só 'n werk vermag sou kon word sonder beduidende buite invloed deur 'n verskeidenheid van rolspelers. Ek wens om graag 'n paar hiervan te vermeld en te bedank in erkenning vir hul onmiskenbare rol in die uitvoer van hierdie studie.

Vir Eskom, wat op volgehoue wyse my oogmerke van opleiding en selfverwesentliking ondersteun het en wat die bronmateriaal vir hierdie studie tot my beskikking gestel het. Spesifiek aan Dhiraj Bhimma, my bestuurder, wat sonder huiwering die middele wat hiervoor nodig was aan my toegesê het.

Aan my studieleier, Prof. J. A. de Kock, wat met uitnemendheid leiding verskaf het maar nooit beperkend opgetree het nie. En aan sy gade wat met groot skrandigheid taalverbeteringe aanbeveel het.

Aan my pa, Prof. M. F. Viljoen, wat aan my die voorbeeld gestel het van die waarde van opleiding en hoër studie in die beoefening van 'n akademiese loopbaan en aan my ma wat dit vir hom moontlik gemaak het om so 'n goeie voorbeeld vir sy kinders te wees.

Aan Gert J. Coetzee, wat die eerste was om die spesifieke veld van bedreiging waaroor hierdie werk handel aan my toe te lig en só die saadjie te plant wat tot hierdie studie sou lei.

Aan my vrou, Amanda, wat my aangespoor en vurig ondersteun het om in te skryf en hierdie studie te onderneem, maar wat my ontval het gedurende die uitvoer daarvan. Dit is onwaarskynlik dat ek dit sou aanpak indien dit nie vir haar was nie...

Aan my drie kinders vir dít wat deur hulle opgeoffer moes word.

Aan my Skepper wat talente gee asook geleenthede om dit aan te wend. Wat krag gee in moeilike tye en insig aan dié wat Hom daarvoor vra. Aan Hom al die eer!

Afkortings en definisies

Hierdie werk gebruik verskeie vakterme wat nie algemeen gebruik word nie en spesifieke verwysingsbronne is vir die doel aangewend [68]. Nuwe terme, waarvoor daar nie terme gevind kon word nie of wat nie bekend is nie, word voorgestel en gebruik in hierdie werk. Dit is nodig om die spesifieke gebruik daarvan duidelik te maak en in sekere gevalle die konteks waarbinne die terme verstaan moet word, uit te klaar.

Afkortings

MEK	Meereenheidklink (sien 3.4)
MUT	<i>Multiple unit trip [1]</i>
MEO	Meereenheidontwrigting (sien 3.4)
CDG	<i>Cascade disruption of generation [2]</i>
TK	Tussenverbinde kragstelsel
IPS	<i>Interconnected power system</i>
SO	Stelseloperator
SO	<i>System operator [3]</i>
SAOG	Suider-Afrikaanse Ontwikkelingsgemeenskap
SADC	<i>Southern African development community</i>
NERSA	Nasionale Energiereguleerder van Suid-Afrika
NERSA	<i>National Energy Regulator of South Africa</i>
KPSA	Kragpoel van Suider-Afrika
SAPP	<i>Southern African power pool</i>
MW	megawatt (10^6 watt)
GW	gigawatt (10^9 watt)

dB	desibel
Hz	hertz
HS	Hoogspanning (elektriese potensiaalverskil van meer as 1kV)
<i>HV</i>	<i>High voltage (electrical potential in excess of 1kV)</i>

Definisies

Eenheid	'n Onafhanklike samestelling van toerusting en stelsels by 'n kragstasie om elektriese energie te ontwikkel en wat aan die tussenverbinde kragnet gekoppel is om die elektriese energie daaraan te lewer. Die oogmerk is dat 'n ontwinging van een eenheid geen direkte uitwerking op ander eenhede van 'n kragstasie behoort te hê nie, vanweë hul onderlinge onafhanklikheid. Verskeie eenhede, hoewel onafhanklik van mekaar, is egter wel gesamentlik afhanklik van sekere gedeelde dienste en die infrastruktuur van die kragstasie.
<i>Unit</i>	<i>An independent assembly of systems and equipment at a power station that is capable of generating electric energy and delivering it into the interconnected power system. The prime intent is that a disruption of such a unit will not affect the power generation at other units at that power station due to their inherent independence. However, although units are essentially independent on one another, they remain communally dependant on other common power station systems and infrastructure that are shared.</i>

Buiteaanleg	Die versameling van gedeelde dienste en die infrastruktuur van 'n kragstasie wat nie vir elke eenheid gedupliseer is nie. Die verskeie eenhede van 'n kragstasie is dus gesamentlik afhanklik van die buiteaanleg, maar nie van mekaar nie.
<i>Outside plant</i>	<i>Also known as common plant or balance of plant. It is the collective set of services and infrastructure of a power station that is not duplicated for each unit. Various units at a power station are mutually dependant on these services and systems, but not on one another.</i>
Kragstasie	'n Versameling van gewoonlik meer as een eenheid met 'n ondersteunende buiteaanleg, wat by dieselfde geografiese ligging gesetel is met die bedoeling om elektriese energie te ontwikkel en dit aan die tussenverbinde kragnet te lewer.
<i>Power station</i>	<i>A collection of generating units at the same geographic location that are employed to generate electric energy and to deliver it to the interconnected power system [3].</i>
Tussenverbinde kragnet	Die tussenverbinde kragnet is die elektriese transmissie- en distribusiestruktuur wat kragontwikkelaars, kraggebruikers en verspreiders aan mekaar koppel en waardeur elektriese energie vervoer word. Die tussenverbinde kragnet word deur die stelseloperateur beheer.

*Interconnected
power system*

The transmission and distribution networks through which electrical energy is transported and that connects power generators, distributors and power users together. The interconnected power system is controlled by the system operator.

Klink

Dit is die uitbedryfstelling van 'n toestel, stelsel, proses, aanleg om dit te beveilig teen ongunstige toestande wat tot skade kan lei of wat mense kan beseer. Wanneer 'n kragontwikkelingseenheid klink, word dit ontkoppel van die tussenverbinde kragnet en die eenheid se proses van kragontwikkeling word gestaak sodat dit van vooraf aan die gang gesit moet word wanneer dit later weer elektriese energie moet opwek.

Trip

The switching out and shutting down of equipment, systems, processes or plant for the purpose of protecting it against undesirable conditions that may result in damage or injury. When a generating unit trips, it is disconnected from the interconnected power system and the process of power generation is ceased, resulting in the need to be entirely restarted when it is required for service once more.

Afsondering

Dit is die outomatiese ontkoppeling van 'n kragontwikkelingseenheid vanaf die tussenverbinde kragstelsel, op só 'n wyse dat die eenheid se kragontwikkelingsprosesse nie gestaak word nie, maar steeds voortgaan om elektriese energie op te wek om slegs die eenheid self (en moontlik gemeenskaplike aanlegte of prosesse) bekragtig te hou. So 'n eenheid raak dus selfonderhoudend en

is in staat om spoedig weer aan die tussenverbinde kragnet gekoppel te word vir die restourasie van die tussenverbinde kragstelsel.

Islanding

The automatic disconnection of a generating unit from the interconnected power system in such a fashion that the power generation process is not ceased, but rather that the unit continues to supply power for its own auxiliaries and thus remain operational to facilitate rapid reconnection to the interconnected power system during restoration procedures [3].

Ondersteuningsdienste

Dienste wat gelewer word ten voordeel van die effektiewe bedryf van 'n kragstelsel en vir die gemoedsrus van die operateurs en waarvoor daar vergoeding verskuldig is aan die leweransier van die diens. Hierdie dienste sluit elektrisiteitsverkope self uit. Koördinasie van ondersteuningsdienste word gewoonlik deur die stelseloperator onderneem.

Ancillary services

Services that are delivered for the benefit of the interconnected power system and for assurance purposes. Such services are coordinated and contracted by the system operator with the relevant service provider, for compensation.

Omslote

Kragontwikkelaar

'n Kragontwikkeliningsinstallasie (soos 'n kragstasie) wat omsluit is binne 'n distribusienetwerk, 'n munisipale netwerk of 'n nywerheid wat primêr 'n verbruiker van elektriese energie is.

Embedded generator *A producer of electric energy (e.g. a power station) that is embedded in the distribution network, the municipal network or the reticulation system of an electricity user.*

Afgeleë toevoer 'n Kragtoevoer vir 'n kragstasie, of die kragontwikkelingsfasiliteit van 'n omslote kragontwikkelaar, waardeur elektriese energie ingevoer kan word onder abnormale of noodtoestande.

Off-site supply *A power supply to a power station that is used to provide power for purposes of maintenance, start-up or during emergency conditions or abnormal situations.*

Sleutelwoorde

Sleutelwoorde	Keywords
Aaneengeskakelde ontwigting	Cascade failures
Meereenheidklink	Multiple unit trip
Meereenheidontwigting	Cascade disruption of generation
Tussenverbinde kragnet	Interconnected power system
Gemeenskaplikheid	Commonality
Kwesbaarheid	Vulnerability