

Bepaling van 'n werkspanning vir nie-lineêre kapasitore as afskakelgapsers in drywingselektroniese skakelaars

ABSTRACT

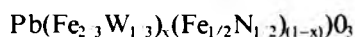
Determination of the operating voltage for non-linear capacitors as turn-off snubbers in power electronic switches

The use of non-linear capacitors improves the efficiency of turn-off snubbers for power electronic switches. The parameters for the determination of non-linear ferro-electric capacitors are discussed and a novel measuring method for the determination of the maximum operating voltage is suggested. The procedure to select ferro-electric capacitors is also discussed.

Elektroniese drywingskakelaars wat by hoë frekwensies werk en vinnig met lae verliese aan- en afskakel, word meer en meer in die nywerheid gebruik.¹ Vir die verbetering van die skakellokus van hierdie skakelaars in die stroom-spanningsvlak word sogenaamde aanskakel- en afskakelgapsers gebruik.² Die gebruik van 'n nie-lineêre kapasitor as energiestoorelement in die afskakelgapsers hou groot voordele in,³ maar baie min is nog oor die gedrag van hierdie kapasitore onder dié omstandighede bekend.

'n Nie-lineêre verhouding van die diëlektriese konstante versus elektriese veldsterkte is reeds lank bekend.⁵ Dit is ook bekend dat die nie-lineariteit, wat vir hierdie toepassing 'n gewenste eienskap is, besonder groot is naby die Curiepunt van 'n ferro-elektriese materiaal.⁶ Die graad van nie-lineariteit neem af indien die werktemperatuur hoër as die Curietemperatuur is.

Diëlektriese materiale met Curiepunte tussen -20°C en $+40^{\circ}\text{C}$ kan bv. met die volgende materiaal vervaardig word.⁷



Die bogenoemde materiaal is ferro-elektries en het 'n besonder hoë relatiewe permittiwiteit – tussen 10 000 en 18 000.

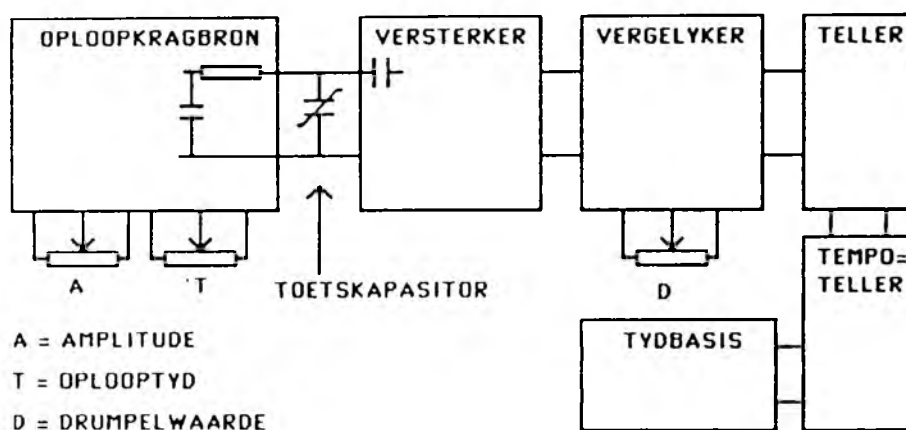
Dit lyk dus asof kapasitore vir nie-lineêre toepassings in drywingskakelaars vervaardig moet word, wat 'n Curiepunt by kamertemperatuur of by die werktemperatuur van die stroombaan het. Ongelukkig is die diëlektriese konstante naby die Curiepunt

ook besonder temperatuurafhanklik. Daar moet dus 'n kompromis gemaak word tussen die gewenste graad van nie-lineariteit, die ongewenste temperatuurafhanklikheid en die toelaatbare elektriese veldsterkte of werkspanning.

Vir die bestaande lineêre kapasitore wat 'n ferro-elektriese diëlektrikum het, word 'n maksimaal toelaatbare bedryfspanning gespesifiseer. Hierdie spesifikasie is ten opsigte van konstante kapasitansie gemaak, d.w.s. vir 'n kapasitansie wat vir alle bedryfspannings nie meer as die toleransie afwyk nie. Hierdie bedryfspannings het vir 'n toepassing vir nie-lineêre kapasitore nie 'n duidelike betekenis nie.⁴ Ten einde 'n kapasitor met 'n gewenste graad van nie-lineariteit te kan vervaardig, moet die gedrag van die keramiese diëlektrikum onder hoë veldsterkte ondersoek word. 'n Diëlektriese gebeurtenissteller is vir hierdie doel ontwikkel. As 'n neweproduk uit hierdie navorsing het 'n unieke metode ontstaan wat dit vir die eerste keer moontlik maak om 'n sinvolle waarde vir die werkspanning te kan bepaal.

Die apparaat bestaan uit 'n hoogspanningsbron wat deur 'n oploopbaan met 'n hoë interne impedansie beheer word (sien fig. 1) en wat met die nie-lineêre kapasiteit wat getoets moet word, verbind word. Verder is die kapasiteit oor 'n lineêre koppelkapasitor met die ingang van 'n wyeband-versterker verbind. Die uitgang van die versterker dryf: 1) 'n luidspreker, 2) 'n teller en 3) 'n tempoteller aan.

Die spanningsbron se uitgang word deur 'n geskikte stroombaan met 'n bepaalde dV/dt van nul



FIGUUR 1: Diagrammatiese voorstelling van apparaat.

na 'n bepaalde maksimale spanning verhoog. Gedurende die spanningsverandering en ook gedurende 'n konstante spanning word waargeneem dat pulse in die kapasitor ontstaan wat deur die teller getel word. Dit kan soos volg beskryf word:

'n Kapasitor wat nog nie aan die toets onderwerp is nie, lewer die volgende diëlektriese tel-geschiedenis:

By 'n lae spanning word geen pulse getel nie. Oorskry die spanning egter 'n sekere waarde, wat tipies 5 keer dié van die "nominale bedryfspanning" is, word 'n eksponensieële styging in die voorkoms van pulsgebeurtenisse waargeneem. Word die spanning verminder en daarna weer verhoog, word gebeurtenisse eers getel indien die spanning die vorige waarde oorskry. Hierdie verskynsel is in toenemende stappe waargeneem – op voorwaarde dat die maksimale spanning minder as 'n tipiese waarde waar 'n "katastrofiese" verskynsel plaasvind, bly (kyk hieronder).

Word die spanning verder verhoog, tipies 10 tot 20 keer die "nominale" bedryfspanning, dan vind 'n diëlektriese "katastrofe" plaas. Baie pulse met 'n hoë pulsherhaalfrekwensie, wat natuurlik steeds statisties varieer, is getel. Met 'n verdere verhoging van die spanning vind 'n uniforme elektriese deurbraak oor die hele diëlektriese gebied plaas en die kapasitor word 'n permanente geleier.

Word 'n konstante spanning oor die kapasitor aangelê, word ongeveer 5 pulse in die eerste 10 sekondes getel by 'n spanning wat laer was as die spanning wat die katastrofe inlei.

Ons kan dus die volgende gevolgtrekking t.o.v. maksimale spanning, (of meer korrek, van maksimale veldsterkte) maak.

1. By relatief lae spannings, maar wat tipies 10 keer groter as die "nominale" maksimale bedryfspanning is, word enkele klein leemtes (voids) in die ferro-elektriese kapasitor geëlimineer. Die veldsterkte in 'n leemte is tipies vir 'n sferiese

vorm $3/2$ hoër binne die leemte as die veldsterkte wat buite die leemte heers. Waarskynlik word die leemte deur 'n geleidende pad kortgesluit, met ander woorde: die kapasitansie word vir gebruik gekondisioneer.

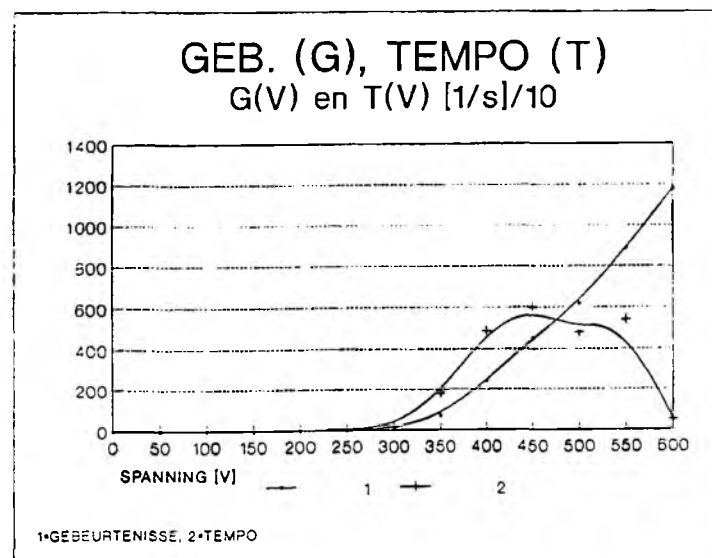
2. Met behulp van die gebeurtenisteller kan ons 'n nuwe maksimale bedryfspanning bepaal, waarby die nie-lineêre kapasitansie in die drywingskakelaar gebruik kan word, sonder gevaar van 'n elektriese deurbraak. Hierdie spanning word bepaal deur die puls- en veral die tempotelling vas te lê waarby algehele deurbraak nog nie voorkom nie.
3. Net kapasitore met tempotellings wat by hoë spannings stabiliseer (kyk fig. 2), is bruikbaar. 'n Steeds toenemende tempo voer gewoonlik na 'n elektriese deurbraak.

Vir die vervaardiging van nie-lineêre kapasitore vir die toepassing in drywingstroombane kan ons die volgende stellings maak:

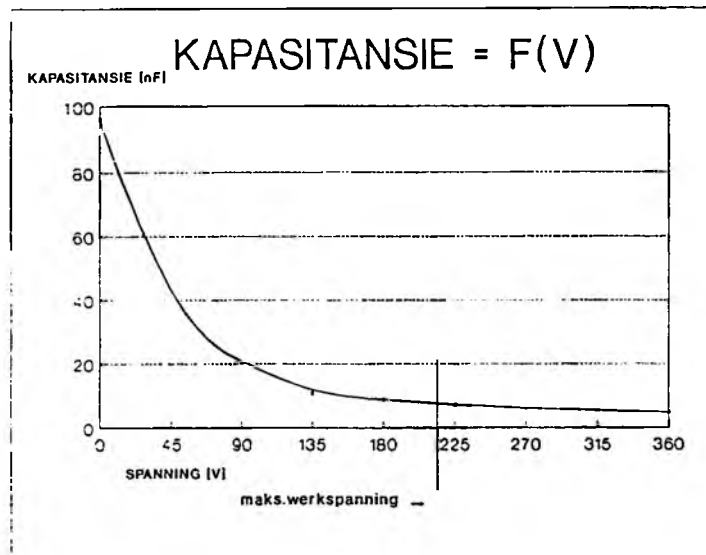
- A. 'n Ferro-elektriese materiaal moet gebruik word met 'n Curietemperatuur, wat met 'n bepaalde waarde onder die werktemperatuur lê.
- B. 'n Kapasitor met die bogenoemde ferro-elektriese materiaal moet verkieslik gekondisioneer word om enkele swak gebiede in die diëlektriese materiaal uit te skakel.
- C. Die kapasitore vir nie-lineêre toepassings in drywingskakelaars moet vir 'n hoër veldsterkte as dié wat vir lineêre toepassings gebruik word, vervaardig word.
- D. Langdurige leeftydtoetse van die komponent bepaal finaal die beste kompromis tussen gewenste nie-lineariteit, die maksimale toelaatbare elektriese veldsterkte en die keuse van 'n optimale ferro-elektriese materiaal (Curiepunt).

Indien die metode dus aangewend word om die werkspanning van die kapasitor in die gapsertoepassing te bepaal, word eksperimenteel soos volg te werk gegaan:

Die keramiese kapasitor word aan die apparaat



FIGUUR 2: Aantal gebeurtenisse en tempo van gebeurtenisse as funksie van aangelegde spanning.



FIGUUR 3: Kapasitansie as funksie van spanning vir die ferro-elektriese kapasitore soos ondersoek.

verbind en die telling van pulse waargeneem. Ons gebruik die voorbeeld van 'n komponent met nominale kapasitansie en spanning van 100 nF en 50 V.

Fig. 2 wys die gebeurtenisse (1) en die tempo (2) as 'n funksie van die aangelegde spanning. Vanaf ongeveer 250 V word gebeurtenisse wat eksponensieel toeneem, getel, terwyl die tempotelling eers toeneem en daarna teen die maksimale spanning van 600 V (in ons voorbeeld) na nul stabiliseer.

Uit fig. 2 kan afgelei word dat die kapasiteit met 'n nominale spanning van 50 V tot ongeveer 200 V vir nie-lineêre doeleindes gebruik kan word. Fig. 3 wys die kapasiteit as funksie van die aangelegde gelykspanning. In hierdie voorbeeld word 'n maksimale bedryfspanning van 200 V vir toepassing in gapserbane gekies. Die verhouding van kapasiteit by die spanning 0 tot 200 V is ongeveer 11, wat as 'n bruikbare verhouding beskou word (fig. 3).

**A.G.K. LUTSCH*, J.J. SCHOEMAN en
J.D. VAN WYK**

Laboratorium vir Energie, Fakulteit Ingenieurswese,

* Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word

Randse Afrikaanse Universiteit, Johannesburg 2000

Ontvang 14 Maart 1988; aanvaar 28 Maart 1988

VERWYSINGS

1. Van Wyk, J.D., Skudelný, H. -Ch. & Müller-Hellmann, A. (1986). Power electronics, control of the electromechanical energy conversion process and some applications, *IEE Proceedings*, 133 Pt. B, (6), 369-399.
2. Boehringer, A. & Knöll, H. (1979). Transistorschalter im Bereich hoher Leistungen und Frequenzen. *ETZ*, 100 (13) 664-670.
3. Steyn, C.G. & Van Wyk, J.D. (1986). Study and application of non-linear turn-off snubbers for power electronic switches, *IEEE Trans. IA-22* (3) May/June, 471-477.
4. Steyn, C.G. & Van Wyk, J.D. (1985). 'n Nie-lineêre afskakelgapser vir drywingselektroniese skakelaars, *Die Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*, 4 (4), 143-146.
5. Von Hippel, A.R. (1950). Ferroelectricity, Domain Structure, and phase Transitions of Barium Titanate. *Review of Modern Physics*, 22(3), July, 221-237.
6. Burfoot, J.C. (1967). *Ferroelectrics, An Introduction to the Physical Principles*. D. van Nostrand.
7. Takamizawa, H., Utsumi, K., Yonezawa, M. & Ohno, T. (1981). Large Capacitance Multilayer Ceramic Capacitor. *IEEE Transactions on Components and Manufacturing Technology*. Vol. CHMT-4, No. 4, Dec., 345-349.