

Virtaa hajautetusti ja hallitusti

Elektronisten järjestelmien tehonsyöttö on nykyään usein hajautettu. Se muodostuu lukuisista teholähteistä, jotka toimivat sekä toistensa syöttölähteinä että kuormina. Järjestelmän vakauden ja dynamiikan suunnittelu vaatii huolellisuutta.



Distributed power supply

The use of distributed power supply (DPS) systems is continuously growing to power the industrial applications. The methods to master the stability and performance were originally developed in late seventies and modified in late nineties to reduce the noticed conservatism in the associated design rules.

The rules are based on a certain impedance ratio known as minor-loop gain. Even if the allowed behavior of the minor-loop gain is well defined, the problem arises from the difficulties to define the associated impedances. Therefore, the conservative design rules must be anyway used to ensure adequate performance and robust stability.

To get rid of the interactions affecting the stability and performance was taken as an approach. A buck type converter under peak-current-mode control with optimal compensation or using self-oscillation principle as well as input-voltage-feed-forward method was noticed to produce the necessary dynamical elements. The EMI filter interactions may not be totally removed but the design of them will become more deterministic when the input impedance of a converter is well defined.

The project is a part of ELMO technology program, and carried out in the co-operation of the University of Oulu and the Helsinki University of Technology of Finland. The funding is provided by National Technology Agency TEKES and leading Finnish companies using extensively DPS systems or designing components for them.

The contact person is Teuvo Suntio (teuvo.suntio@ee.oulu.fi).

Teuvo Suntio

Tehonsyöttö voi olla hajautunut jopa yhden piirikortin sisällä johtuen tarvittavista lukuisista eritasoisista jännitteistä ja niiden matalasta tasosta. Teholähde on dynaamisena prosessina vaativa ja häiriöitä luonnostaan tuottava elementti. Näiden häiriöiden kurissa pitäminen edellyttää useimmiten tulosuodattimien käyttöä.

Äärellisten impedanssien johdosta tulosuodattimet voivat heikentää dynaamista käyttäytymistä ja aiheuttaa jopa epävakauden. Kondensaattoreiden avulla impedanssit on mahdollista pitää kurissa, mutta kustannusoptimaalinen toteutus edellyttää komponenttien määrän minimointia.

Hajautetun teholähdearkkitehtuurin (distributed power architecture (DPA), distributed power supply (DPS)) analyysimenetelmien tutkimus ja vakauden varmentamisen menetelmäkäsitys on ollut vilkkaimmillaan vuosittuhannen vaihteen molemmin puolin. Periaatteessa kysymys on ollut kokoajan järjestelmän impedanssien hallinnasta, jonka perusmenetelmät on jo kehitetty 70-luvun puolivälissä (Middlebrook, 1976).

Alkuperäiset suunnittelusäännöt olivat erittäin varovaisia, mikä pakotti käytännössä lisäämään järjestelmään varmuuden vuoksi paljon kondensaattoreita. Nykyiset suunnittelusäännöt (Sudhoff, 2000) sallivat eri impedanssien olevan huomattavasti lähempänä toisiaan, jolloin kondensaattoreiden määrää voidaan teoriassa olennaisesti vähentää. Käytännössä impedanssien riittävän tarkka määrittely on hankalaa tai jopa mahdotonta, jolloin kondensaattoreita lisätään varmuuden vuoksi joka tapauksessa.

Miten hallita vakautta?

Kullakin teholähteellä topologias- ta ja ohjausmuodosta riippuen on ominainen tulojännitteessä olevien häiriöiden vaimennusmekanismi, jonka tehokkuutta kuvataan tulo- ja lähtöjännitteen väli-



Kuva: Artesyn

sellä siirtofunktiolla (line-to-output transfer function, audio-susceptibility). Kyseisellä ominaisuudella on myös merkittävä rooli teholähteen herkkyydessä sieltä tulopuolelle kytkettyjen impedanssien vaikutusta. Jos vaimennus on hyvin suuri, niin teholähde on tiettyyn rajaan asti immuuni tulopuolen häiriöille ja myös kytketyille impedansseille.

Laskevalla hakkurilla (buck converter) voidaan tällainen ominaisuus aikaan saada käyttämällä joko huippuvirtaohjausta (peak-current-mode control) ja sopivaa virtasignaalin kompensointia (artificial compensation) tai sopivalla tulojännitteen myötäkytkenällä (input voltage feed-forward). Molemmista tapauksista teholähteen piensignaalista tuloimpedanssia voidaan kuvata vaiheeltaan 180 asteisella vastuksella (negative incremental resistor), jonka arvo voidaan määrittää teholähteen tulotehon ja -jännitteen avulla.

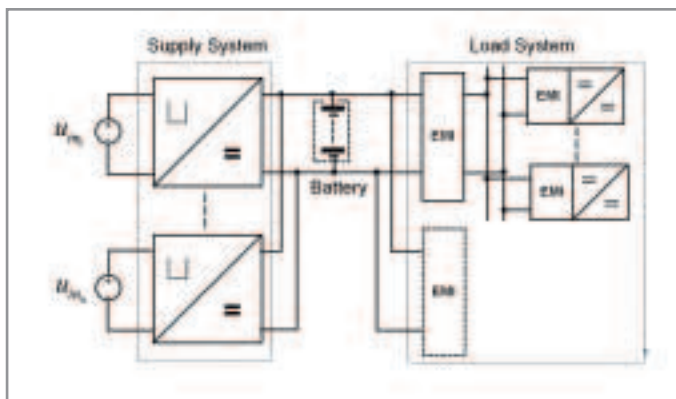
Teholähteen vakauden takaa-

miseksi tuloimpedanssin tulee olla suurempi kuin sen tulosta syöttölähteeseen näkyvä lähtöimpedanssi. Muita vaatimuksia ei periaatteessa ole. Tällainen lähestymistapa tekee systeemin dynamiikan hallinnan mahdolliseksi, koska teholähteiden tuloimpedanssit voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella, ja ottaa huomioon tulosuodattimia suunniteltaessa.

Mitä tutkittu ja saavutettu?

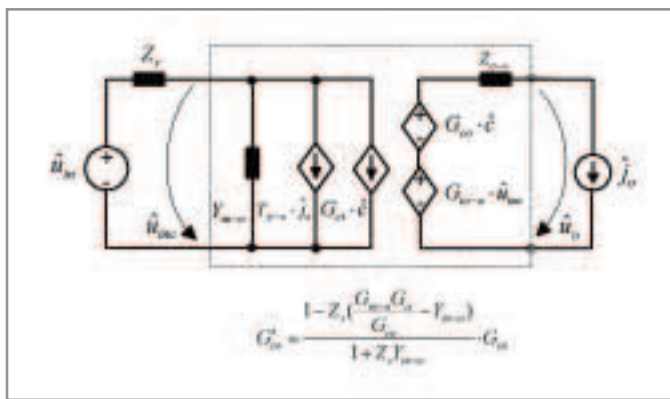
Huomattavaa kehitystä on tapahtunut sitten Middlebrookin aikojen, mutta esitetyt säännöt eivät kuitenkaan ole johtaneet toivottuun tulokseen, koska säännöt oli rakennettu impedanssien suhteelle ja kyseisten impedanssien riittävän tarkka määrittäminen on käytännössä mahdottoman hankalaa.

Eteneminen vaatii uuden lähestymistavan. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että teholähteen tulo- ja lähdön välisellä siirtofunktiolla on merkittävä rooli



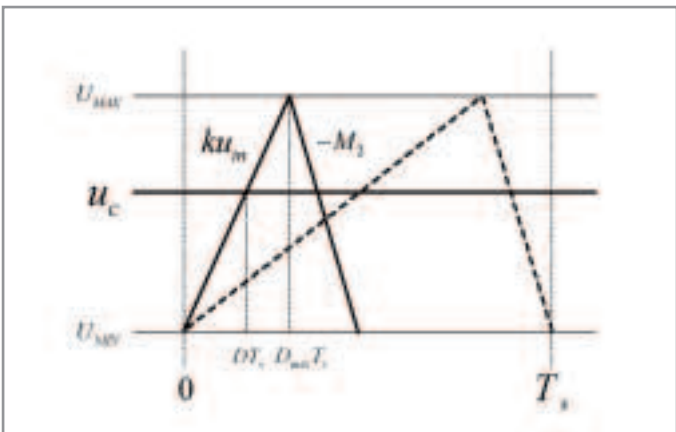
Tyypillinen tietoliikennejärjestelmän hajautettu tehonsyöttö muodostuu rinnankytketyistä AC/DC-tehollähteistä ja mahdollisesti akustosta. Akusto voi edistää järjestelmän vakautta.

Typical distributed power supply (DPS) system used in Telecom application composes of parallel connected AC/DC power supplies and possibly of a storage battery. Depending on the construction of the battery system it may help to ensure the stability of the system.



Syöttölähteen lähtöimpedanssin (Z_s) vaikutus tehollähteen ohjauksen ja lähdön väliseen siirtofunktioon (G_{co}). Jos nimittäjä saa arvon nolla, niin siirtofunktion vahvistuksesta tulee äärettömän suuri, mikä johtaa epävakauteen.

The effect of the source impedance (Z_s) on the control-to-output transfer function (G_{co}) may be presented as shown in the figure. If the denominator term becomes zero, the value of the coefficient will become infinite, in practice, and cause instability.



Kaupallisissa PWM-piireissä käytössä oleva tapa toteuttaa tulojännitteen myötäkytkentä. Maksimipulssisuhteen tulojännitteen arvosta riippuva rajoitus on ilmeinen.

The implementation of the input-voltage-feedforward in a typical commercial PWM integrated circuit. The input voltage dependent maximum usable pulse ratio is obvious.

sen herkkyydessä tulopuolen sekä häiriöihin että myös impedansseihin.

Huippuvirtaohjaus

Huippuvirtaohjauksen on tiedetty pienentävän tätä herkkyyttä. Laskevan hakkurin tapauksessa vaimennuksen on todettu olevan erittäin suuri varsinkin silloin, kun takaisin kytkentäsignaali on kompensoitu niin, että kelan keskiarvovirta säilyy vakiona avoimessa järjestelmässä tulojännitteen arvosta riippumatta. Teoreettinen mallinnus tuottaa yhtälöt, joiden avulla kompensointi voidaan suunnitella.

Tulojännitteen myötäkytkentä

Jos suoraa pulssisuhdeohjausta (direct-duty-ratio control) käytetään laskevan hakkurin pulssinleveysmodulaattorin (Pulse width modulator, PWM) aaltomuodon

nousunopeus tehdään suoraan verrannolliseksi tulojännitteen, niin teoreettisesti saavutetaan optimaalisesti kompensoitua huippuvirtaohjausta vastaava tulon immuniteetti.

Tulojännitteen myötäkytkentä ei vaimenna systeemiä kelavirran takaisin kytkennän lailla, vaan alkuperäinen resonanssi-ilmiö säilyy hakkurin dynamiikassa. Tämän johdosta muutostilanteissa ilmenee jonkin verran värähtelyjä ohjauksen sisäisten viivojen takia. Näiden värähtelyjen vaikutusta vakausrajoihin joudutaan selvittämään käytännön testauksin.

Myötäkytkennän käytännön toteutus heikentää tehollähteen dynamiikkaa, koska toimintapisteen suurin mahdollinen pulssisuhde on rajoitettu. Projektissa on pohdittu menetelmiä, jolla dynamiikan heikennys voitaisiin minimoida.

Vaihtuvataajuinen huippuvirtaohjaus

Kännykkälaturien kaltaiset tuotteet toteutetaan useasti itsevärähtelyperiaatetta (self-oscillation control) käyttäen, jossa hakkurin kytkentäjakso aloitetaan, kun kelavirta saavuttaa arvon nolla. Kytkin suljetaan, kun kelavirta saavuttaa sopivan huippuarvon. Tällöin kelavirran keskiarvo pysyy huippuvirran puolessa välissä.

Laskevalla hakkurilla lähtövirta ja kelavirran keskiarvo ovat yhtä suuret. Näin ollen tilanne on sama kuin optimaalisesti kompensoidulla kiinteätaajuisella huippuvirtaohjauksella hakkurilla, jolloin tulon immuniteetti saavutetaan automaattisesti.

Muut tehollähdetopologiat

Edellä esitetyt menetelmät eivät teoreettisesti anna vastaavia tuloksia nostavilla (boost converter) ja Flyback- (buck-boost converter) hakkureilla. Projektin jatko-osassa pyritään selvittämään näiden teoreettisten rajoitusten vaikutus.

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää menetelmiä, joilla tehollähdējärjestelmien sisäiset riippuvaisuudet voitaisiin hallita entistä paremmin järjestelmän suoritusarvojen ja vakauden takaamiseksi. Tehollähteen ehdollisen immuniteetin tulojännitteessä esiintyvillä häiriöillä on todettu olevan mahdollinen avain tavoitteeseen pääsemiseksi. ■

Aiheesta enemmän

T. Suntio, 'Hajautettu tehollähdējärjestelmä,' *Prosessori*, vol. 24, no 1, tammi-kuu, 2003, ss. 41-43.

R. D. Middlebrook, 'Input filter considerations in design and application of

switching regulators,' in *Proc. IEEE IAS'76*, 1976, pp. 91-107.

S. D. Sudhoff, S. F. Glover, P. T. Lamm, D. H. Schmucker, D. E. Delisle, 'Admittance space stability analysis of power electronics systems,' *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 36, no. 3, July 2000, pp. 965-973.

T. Suntio, I. Gadoura, K. Zenger, 'Input filter interactions in peak-current-mode controlled buck converter operating in CICM,' *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 49, no. 1, February 2002, pp. 76-86.

T. Suntio, I. Gadoura, K. Zenger, 'Input filter interactions in current-mode controlled converters- a unified analysis approach,' in *Proc. IEEE IECON'03*, 2003, pp. 1179-1184.

T. Suntio, K. Kostov, T. Tepsa, J. Kyyrä, 'Using input invariance as a method to facilitate system design in DPS applications,' *Journal of Circuits, Systems and Computers*, in press.

Taustat

Kirjoittaja: professori Teuvo Suntio, Oulun yliopisto

Yhteyshenkilö: teuvo.suntio@ee.oulu.fi

Tutkimus: Hajautetun tehonsyötön vakauden ja dynamiikan suunnittelu

Yhteistyössä: Nokia Networks, PKC-Group, Salcomp, Oulun yliopiston Elektroniikan laboratorio sekä Teknillisen korkeakoulun Systeemiteknikan ja Tehoelektroniikan laboratoriot.

Teknologiaohjelma: ELMO