



BỘ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

MINISTRY OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS
POSTS AND TELECOMMUNICATIONS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ISSN 2525 - 2224

TẠP CHÍ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ON INFORMATION AND COMMUNICATIONS

ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG VÀ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Số 03(CS.01) 2022

TẠP CHÍ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Journal of Science and Technology on Information and Communications

Phó Tổng biên tập/Deputy Editor-in-Chief

Hoàng Đăng Hải, PTIT, VN

Hội đồng biên tập/Editorial council

Nguyễn Thị Minh An, PTIT, VN
Trần Quang Anh, PTIT, VN
Nguyễn Tiến Ban, PTIT, VN
Võ Nguyễn Quốc Bảo, PTITHCM, VN
Đặng Hoài Bắc, PTIT, VN
Nguyễn Bình, PTIT, VN
Đặng Thị Việt Đức, PTIT, VN
Tân Hạnh, PTITHCM, VN
Lê Thị Hằng, PTIT, VN
Vũ Tuấn Lâm, PTIT, VN
Lê Hữu Lập, PTIT, VN
Lê Bá Long, PTIT, VN
Bùi Xuân Phong, PTIT, VN
Từ Minh Phương, PTIT, VN
Tạ Ngọc Tấn, CTC, VN
Lê Nhật Thăng, PTIT, VN
Vũ Văn Yên, HUST, VN

Ban biên tập/Editorial board

Hoàng Đăng Hải, PTIT, VN
Võ Nguyễn Quốc Bảo, PTITHCM, VN
Nguyễn Bình, PTIT, VN
You-Sik Hong, Sangji, KR
Phạm Thế Long, LQDU, VN
Hồ Đắc Lộc, HUTECH, VN
Trần Cao Sơn, NMSU, US
Thorsten Strufe, TU Dresden, DE
Nguyễn Thanh Thủy, VNU, VN

Tạp chí Khoa học công nghệ Thông tin và Truyền thông" là tạp chí chuyên ngành có phân biệt độc lập, được xuất bản thường kỳ nhằm công bố các kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ trong các lĩnh vực đào tạo và nghiên cứu khoa học của Học viện, phục vụ công tác đào tạo, nghiên cứu khoa học của cán bộ, giảng viên, nghiên cứu viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học và sinh viên ở trong và ngoài Học viện.

Bản quyền đã được đăng ký bảo hộ cho Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông. Nghiêm cấm mọi hình thức sao chép, lưu trữ, phổ biến nếu chưa được Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cho phép bằng văn bản. Tuy nhiên, việc sao chép giới hạn các bài báo khoa học của tạp chí nhằm mục đích giáo dục và nghiên cứu có thể không cần xin phép. Việc sao chép các hình ảnh minh họa và trích đoạn bài báo của tạp chí cần phải được sự đồng ý của tác giả và phải dẫn nguồn đầy đủ theo đúng quy định. Việc sao chép số lượng lớn bất kỳ nội dung nào của tạp chí phải được sự đồng ý của Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cho phép theo đúng quy định của pháp luật Việt Nam.

Giấy phép xuất bản số 697/GP-BTTTT ngày 21/12/2015

Tòa soạn: Tầng 2, Nhà A1, Học Viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Km10, Nguyễn Trãi, Hà Đông, Hà Nội
Trang web: <http://jstic.ptit.edu.vn/index.php/jstic>
Email: jst@ptit.edu.vn

Journal of Science and Technology on Information and Communications (JSTIC) is a scientific journal periodically published by Posts and Telecommunications Institute of Technology (PTIT). The goal of the JSTIC is to publish peer reviewed practical and theoretical research papers in the various fields of Information and Communications. We welcome diverse innovative participation of local and international researchers to build a sustainable and high quality scientific journal.

Copyright 2016 by Posts and Telecommunications Institute of Technology. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without the written permission of Posts and Telecommunications Institute of Technology. However, limited photocopies of single articles may be made for private study or research. Illustrations and short extracts from the text of individual contributions may be copied provided that the source is acknowledged, the permission of the authors is obtained and the PTIT is noticed. Multiple copying is permitted by PTIT in accordance with Vietnam laws.

Publication permit No. 697/GP-BTTTT issued Dec. 21, 2015

Editorial office: Floor 2, Posts and Telecommunications Institute of Technology, Km 10, Nguyen Trai Street, Ha Dong, Ha Noi
Website: <http://jstic.ptit.edu.vn/index.php/jstic>
Email: jst@ptit.edu.vn

TẠP CHÍ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

Journal of Science and Technology on Information and Communications

MỤC LỤC/CONTENTS

Lời nói đầu/Preface 3

BÀI BÁO/REGULAR PAPERS

Energy harvesting between UAVS for backhaul connection
Thu thập năng lượng giữa các UAV cho kết nối backhaul
Le Tung Hoa, Nguyen Van Thang, Dang The Ngoc 4

Phân tích và đánh giá hiệu năng hệ thống truyền thông quang không dây liên vệ tinh
Performance analysis and evaluation of inter-satellite optical wireless communication system (ISOWC)
from LEO to GEO
Nguyễn Thị Thu Nga 11

Dead-time compensation for 2-level voltage source inverters based on harmonic current controllers
Bù thời gian an toàn cho biến tần nguồn áp 2 mức dựa trên bộ điều khiển điều hòa dòng điện
Thanh Lich Nguyen, Thanh Loan Pham 19

Đề xuất phương pháp ánh xạ kết hợp với mã polar nhằm cải thiện chất lượng hệ thống truyền tin số vô tuyến
A combination of mapping method and polar code to enhance the performance of digital communication system
Nguyễn Anh Hào, Phạm Xuân Nghĩa, Nguyễn Quách Cơ 24

5.Trích xuất danh mục khóa cạnh sử dụng BERT với hàm mất mát cân bằng
Aspect category extraction using bert with balanced loss functions
Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Ngọc Diệp 31

Điều khiển loại bỏ phản hồi âm thanh sử dụng hai Microphone kết hợp với tiền bộ lọc và nhiễu dò
Acoustic feedback cancellation using two microphones with pre-filter and probe noise
Trần Thị Thục Linh 40

Khuyến nghị bài viết cho diễn đàn trực tuyến sử dụng học sâu
Post recommendation for forum using deep learning
Nguyễn Đỗ Hải, Nguyễn Thị Yến, Ngô Xuân Bách, Từ Minh Phương 47

Phương pháp đảm bảo chất lượng video dựa trên kỹ thuật dự đoán tham số lượng tử
Content-based quantization prediction for consistent video quality
Vũ Hữu Tiến, Nguyễn Thị Hương Thảo 56

Nghiên cứu và thiết kế mô phỏng cách tử bragg sợi cho cảm biến nhiệt độ
Research and numerical design of a temperature sensor based on fiber bragg grating
Trương Cao Dũng 62

Thiết kế anten 5 băng tần cho ứng dụng IoT/IIoT sử dụng cấu trúc vòng cộng hưởng từ
Designing a penta-band antenna using CSRR structure for IoT/ IIoT
Dương Thị Thanh Tú, Nguyễn Thị Hằng, Trần Quang Hưng 71

11. Phương pháp xây dựng và tổ chức hoạt động của mạng cảm biến bay triển khai rộng
Methods for construction and functioning of a flying sensor ubiquitous network
Đình Trường Duy 76

Hệ thống định vị đa điểm và ứng dụng giám sát vị trí
Mutilateralation system in location surveillance application
Nguyễn Đức Việt 84

Nghiên cứu các phương pháp đánh giá khách quan với dữ liệu ảnh light field
A comprehensive study on objective assessment methods with light field image.
Phí Công Huy, Nguyễn Cảnh Châu 91

Nghiên cứu hiệu năng mạng quảng bá đa người dùng sử dụng mã fountain và kỹ thuật tạo nhiễu nhân tạo trên kênh Nakagami-M Performance evaluation of multi-cast networks using fountain codes and cooperative jamming technique <i>Nguyễn Văn Hiền, Trần Trung Duy, Lê Quang Phú, Tân Hạnh</i>	99
Thuật toán di chuyển theo đối tượng trên mặt sàn dựa trên dòng video nhận được từ xe tự hành Proposed objectives on the floor organization based on video received from automatic vehicles <i>Nguyễn Hữu Phát, Nguyễn Tiến Dũng, Hoàng Bảo Hưng, Vũ Tiến Đạt</i>	107
Điều khiển truy nhập phương tiện ưu tiên sử dụng cửa sổ backoff cho mạng cảm biến không dây IoT đa sự kiện Priority-based medium access control using backoff window for multi-event IoT wireless sensor networks. <i>Phí Đức Nguyễn Phương, Lê Hải Châu, Đoàn Thị Linh Chi, Nguyễn Thị Thu Hằng</i>	113
Thiết kế ăng ten thông minh Smart antenna designs <i>Đặng Quang Thịnh</i>	121
Nhận dạng hình trạng bàn tay sử dụng thuật toán YOLOv7 Spectral efficiency enhancement using hybrid beamforming in 5G millimeter-wave systems. <i>Nguyễn Thị Thanh Tâm, Nguyễn Thị Tinh</i>	128
Giám sát lợn tự động từ trang trại sử dụng học sâu Automatically tracking pigs from pig farms using deep learning <i>Dương Trần Đức</i>	135

LỜI NÓI ĐẦU / PREFACE

Theo giấy phép hoạt động báo chí in số 697/GP-BTTTT ngày 21 tháng 12 năm 2015 của Bộ trưởng

Bộ Thông tin và Truyền thông, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (Học viện) đã xuất bản tạp chí với tên gọi Tạp chí Khoa học Công nghệ Thông tin và Truyền thông (mã số ISSN 2525-2224).

Tạp chí đã được Hội đồng Giáo sư Nhà nước tính điểm công trình khoa học. Tạp chí đóng vai trò là tạp chí chuyên ngành có phản biện độc lập, được xuất bản thường kỳ với các mục đích: Công bố các kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ của Học viện; Phổ biến, cập nhật các kiến thức khoa học và công nghệ mới nhất về thông tin và truyền thông trong nước và trên thế giới; Phản ánh các mặt hoạt động giáo dục, đào tạo, nghiên cứu của Học viện trong lĩnh vực thông tin và truyền thông; Phân tích, đánh giá, dự báo phát triển, phát hiện những vấn đề có tính thời sự về thông tin và truyền thông tại Việt Nam, kiến nghị các vấn đề quản lý Nhà nước về thông tin và truyền thông nhằm phát triển bền vững trong thời kỳ hiện đại hóa, công nghiệp hóa và hội nhập quốc tế; Tạo diễn đàn trao đổi, chia sẻ kinh nghiệm về các vấn đề khoa học và công nghệ trong lĩnh vực thông tin và truyền thông.

Tại kỳ xuất bản số 03 (CS.01) năm 2022 này, trong số rất nhiều bài báo khoa học được gửi đến, Ban Biên tập đã chọn được 19 bài báo để duyệt đăng trên Tạp chí. Các bài báo thể hiện kết quả nghiên cứu chuyên sâu của các giảng viên, nghiên cứu viên và các nghiên cứu sinh của Học viện cũng như của các nhà khoa học, nhóm tác giả công tác tại cơ sở nghiên cứu, đào tạo ngoài Học viện và ở nước ngoài làm phong phú thêm các vấn đề khoa học hiện đại, chuyên sâu mà Tạp chí chuyển tải đến cho độc giả. Ban Biên tập đã thực hiện quy trình phản biện và xét chọn các công trình đăng tải theo đúng quy định, bảo đảm chất lượng học thuật của Tạp chí.

Ban Biên tập xin trân trọng cảm ơn các tác giả đã gửi đăng tải công trình nghiên cứu của mình, cảm ơn các nhà khoa học đã tham gia phản biện để xuất bản số Tạp chí này.

Kính chúc tất cả các nhà khoa học và độc giả mạnh khỏe, hạnh phúc và thành công./.

Hà Nội, tháng 10 năm 2022

**PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
PHỤ TRÁCH**



PGS. TSKH. Hoàng Đăng Hải

DEAD-TIME COMPENSATION FOR 2-LEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTERS BASED ON HARMONIC CURRENT CONTROLLERS

Thanh Lich Nguyen*, Thanh Loan Pham#

*University of Transport and Communications

#Hanoi University of Mining and Geology

Abstract: This paper proposes a dead-time compensation method for 2-level voltage source inverters based on harmonic current controllers. The sixth harmonic of the stator current in the synchronous reference frame originated from the dead-time effect is attenuated by using current resonant controllers. The resonant controllers are connected in parallel with the conventional PI current regulator. The resonant controllers calculate a compensation voltage that is equal to the error voltage due to the dead-time, therefore the dead-time effect is mitigated. The proposed method is verified by simulation results.

Keywords: Dead-time compensation, resonant controller.

I. INTRODUCTION

Pulse width modulation (PWM) method is widely used in controlling voltage source inverters (VSI) due to its simplicity. However, the output voltage of the VSI contains harmonics because of the non-linear characteristic of the inverter. The most significant source of the voltage distortion at the low modulation index is the deadtime that is used to prevent the inverter short circuit. To deal with the nonlinear characteristics of the inverter, a variety of methods have already been presented [1]–[11]. In most scenarios, dead-time compensation methods are based on an average value theory. By these methods, the lost voltage due to the dead-time is averaged over an entire period, and the dead-time compensation is done by adding the correspondingly resultant value to the reference voltage of the inverter. However, the complexity of the techniques is increased along with a reduction of noise immunity at the zero-crossing points of the current due to the detection operation of the current polarity.

This paper proposes a method based on harmonic current controllers that can compensate for the voltage reduction caused by the dead-time. Apart from a successful

dead-time compensation, this technique can be adaptive to the motor speed without the modifications of the hardware circuit. In addition, a design based on the root locus method is used to find out the gain K_R at each frequency.

II. THEORETICAL FUNDAMENTAL

According to [1], the dead time causes a voltage distortion in the phase voltages. In the synchronous reference frame, the voltage distortion in the d- and q-axis are given as follows:

$$v_{ds}^{DT} = \frac{4}{\pi} \Delta V \left\{ \frac{12}{35} \sin 6\omega_e t + \frac{24}{143} \sin 12\omega_e t + \dots \right\} \quad (1)$$

$$v_{qs}^{DT} = \frac{4}{\pi} \Delta V \left\{ -1 + \frac{2}{35} \cos 6\omega_e t + \frac{2}{143} \cos 12\omega_e t + \dots \right\} \quad (2)$$

where ω_e is the electrical angular velocity, the superscript “DT” corresponds to dead-time, the subscript “s” denotes the stator quantities, and

$$\Delta V = \frac{-T_d - t_{ON} + t_{OFF}}{2T_s} V_{dc}, \quad i_{as} > 0 \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{T_d + t_{ON} - t_{OFF}}{2T_s} V_{dc}, \quad i_{as} < 0 \quad (4)$$

with T_d , t_{ON} , t_{OFF} are the dead-time, turn on time and turn off time of the switches; T_s is the switching frequency of the current control loop.

The 6th harmonic in the d- and q-axis of the stator currents given in (1) and (2) creates the 6th harmonic in the corresponding current as follows:

$$i_{ds}^{DT} = \frac{4}{\pi} \Delta V \left\{ \frac{12}{35Z_6} \sin (6\omega_e t + \varphi_6) + \frac{24}{143} \sin (12\omega_e t + \varphi_{12}) + \dots \right\} \quad (5)$$

$$i_{qs}^{DT} = \frac{4}{\pi} \Delta V \left\{ -\frac{1}{R_s} + \frac{2}{35Z_6} \cos (6\omega_e t + \varphi_6) + \frac{2}{143} \cos (12\omega_e t + \varphi_{12}) + \dots \right\} \quad (6)$$

Contact author: Thanh Lich Nguyen

Email: lichtn@utc.edu.vn

Manuscript received: 23/3/2022, revised: 28/4/2022, accepted: 11/5/2022.

where $Z_k = \sqrt{R_s^2 + (k\omega_e L)^2}$ is the k^{th} impedance, φ_k is the phase angle corresponding to the k^{th} harmonic.

It is realized that the deadtime compensation is carried out by calculating the compensation voltage. It can be conducted based on the voltage path according to (1)-(2) or the current control loop according to (5)-(6). The compensation method can be conducted if the error voltage ΔV defined by (3)-(4) can be precisely calculated. However, the turn on time t_{ON} and turn off time t_{OFF} are difficult to be defined. Hence, the method based on the current control loop is preferred to the former one.

The idea behind the method based on the current control loop in the synchronous reference frame is to cancel the 6th harmonic and its multiples. The output of the compensation algorithm is also the compensated voltage like (3)-(4). In [1], the authors proposed such a compensation technique, but it is complicated to be carried out as it requires some integrators, a phase-lock loop and the calculation of the harmonic compensation voltages.

In this paper, the harmonic voltage is calculated by a harmonic current controller whose topology and theoretical design will be presented in the following section.

III. HARMONIC CURRENT CONTROLLER FOR THE DEAD TIME COMPENSATION

The topology of the resonant current controller for dealing with the 6th harmonic and its multiples in the stator currents is depicted in Figure 1. The resonant controller is in parallel with the conventional PI controller and is characterized by the fundamental frequency f_r and the gain K_r . The function of the PI controller is to cancel low frequency input noises while that of the resonant controller is to damp a specific harmonic in the input and/or the disturbance.

As the deadtime creates the 6th and its multiples harmonics in the voltage, it can be modelled as a disturbance acting after the inverter, as it is shown in Figure 1. The effect of the resonant component will be analyzed in terms of disturbance rejection, meaning that the transfer function from the current to the voltage disturbance proposed by the dead time will be taken into account.

The Bode diagram from the current $i_d(s)$ to the distortion voltage is depicted in Figure 2. In this example, the resonant frequency is set to $f_r = 90 \text{ Hz}$, and $K_r = 30000$. It can be seen that at the resonant frequency f_r , the gain of $G_{DT}(s)$ is very low. This means that the harmonic corresponding to f_r in the spectrum of $u_{DT}(s)$ has negligible effects on current i_d . In the case the resonant frequency f_r is chosen to be the multiple of the 6th electrical frequency, those harmonics in the spectrum of the current will be cancelled. As a result, the effects of the dead-time and turn on/turn off time of the switches on the phase current are attenuated.

$$G_{DT}(s) = \frac{i_d(s)}{u_{DT}(s)} \quad (7)$$

The remaining question is regarded as the design of the resonant current controller. As frequency f_r is the multiple of the 6th electrical frequency, it will be automatically

updated according to the operating speed of the machine. For the selection of the gain K_r , the root-locus plot will be adopted to realize how the poles of the closed-loop transfer function $G_{DT}(s)$ change according to K_r .

The characteristic equation of $G_{DT}(s)$ is as follows:

$$0 = T_e T_{\text{PWM}} \cdot s^5 + (T_e + T_{\text{PWM}}) \cdot s^4 + (K_e K_p + 1 + \omega_m^2 T_e T_{\text{PWM}}) \cdot s^3 + (K_e K_i + \omega_m^2 (T_e + T_{\text{PWM}}) + K_e K_r) \cdot s^2 + \omega_m^2 (K_e K_p + 1) \cdot s + \omega_m^2 K_e K_i \quad (8)$$

where $\omega_m = 2\pi f_r$.

The root-locus plotting form is obtained by rearrange (8) in the following form:

$$0 = 1 + K_r \cdot \frac{A(s)}{B(s)} \quad (9)$$

where

$$A(s) = K_e \cdot s^2 \quad (10)$$

and

$$B(s) = T_e T_{\text{PWM}} \cdot s^5 + (T_e + T_{\text{PWM}}) \cdot s^4 + (K_e K_p + 1 + \omega_m^2 T_e T_{\text{PWM}}) \cdot s^3 + (K_e K_i + \omega_m^2 (T_e + T_{\text{PWM}})) \cdot s^2 + \omega_m^2 (K_e K_p + 1) \cdot s + \omega_m^2 K_e K_i \quad (11)$$

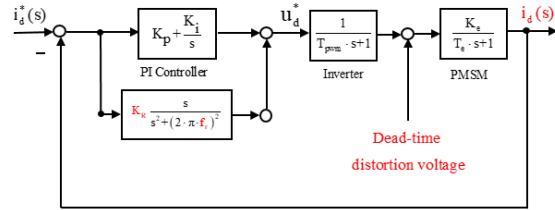


Figure 1. Control structure of the resonant current controller for dead-time compensation
Bode Diagram

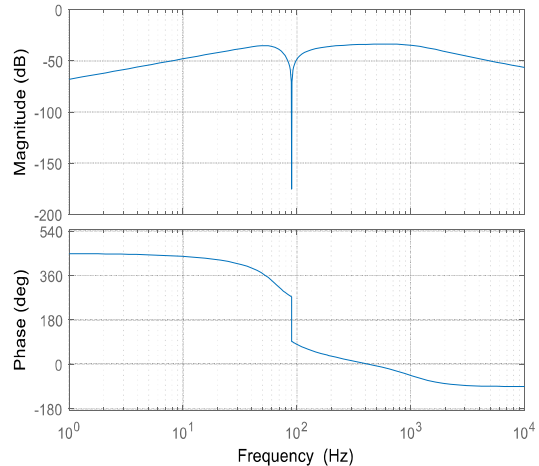


Figure 2. The Bode diagram from the current to the distortion voltage

The root locus of $G_{DT}(s)$ is shown in Figure 3 that depicts five segments corresponding to the locus of the five

roots. Figure 4 shows the zoom-in that contains the dominant poles of $G_{DT}(s)$. From Figure 4, the gain K_R can be chosen to satisfy desired damping and overshoot of the closed loop system. This method can be applied for each frequency to be damped. The gain K_R at each frequency is obtained and is used to build a look-up table for implementing the resonant controller in the whole frequency range.

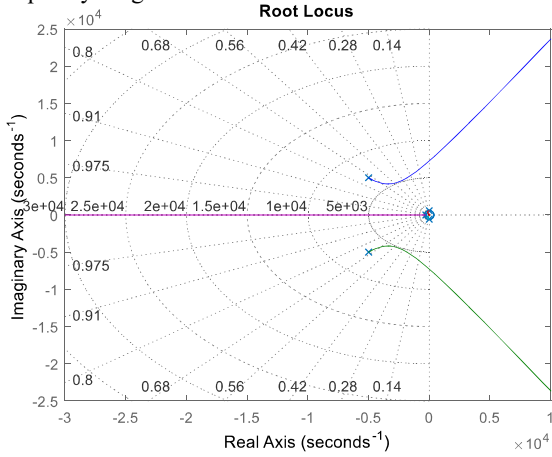


Figure 3. The root locus of the transfer function $G_{DT}(s)$

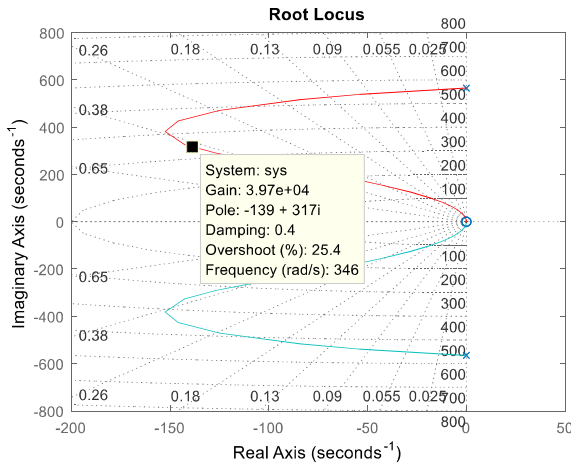


Figure 4. A zoom in of the root locus of the transfer function $G_{DT}(s)$

IV. SIMULATION VERIFICATION

A surface-mounted permanent magnet synchronous machine (SPMSM) is used to verify the effectiveness of the proposed compensation method. The core parameters of the simulation model are given in the following table:

Parameters	Values
Phase resistance	$R_s = 3.2\Omega$
Phase inductance	$L_d = L_q = 10.9 \text{ mH}$
Rated torque	$T_N = 4.9 \text{ Nm}$
Rated speed	$n_N = 3000 \text{ Rpm}$
PWM sampling frequency	$f_{PWM} = 10 \text{ kHz}$
Dead time	$T_{DT} = 2 \mu\text{s}$

Figure 5 shows currents i_a and i_d when the compensation algorithm is inactivated. The spectrum analysis of the i_a as depicted in Figure 6 confirms the fact

that the harmonics of $(6k \pm 1)\omega_e$ are noticeable. This means that harmonics of $6k \cdot \omega_e$ are significant in the spectrum content of i_d . This phenomenon is coincident with the theoretical analysis as given in (5) and (6).

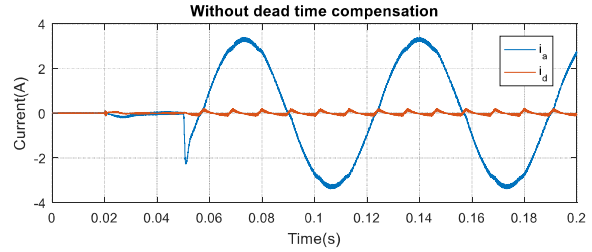


Figure 5. Current phase a and in the d-axis without dead time compensation

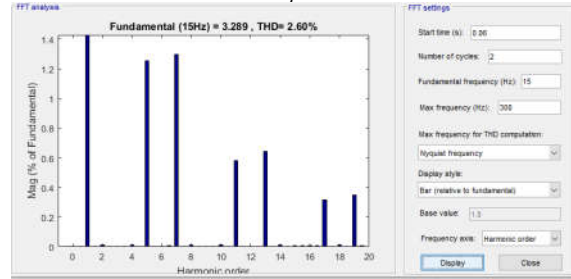


Figure 6. Harmonic orders of current phase a (i_a)

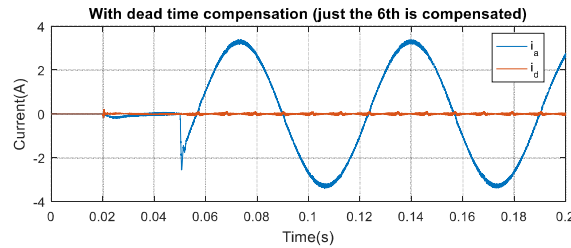


Figure 7. Currents with only the 6th harmonic compensation

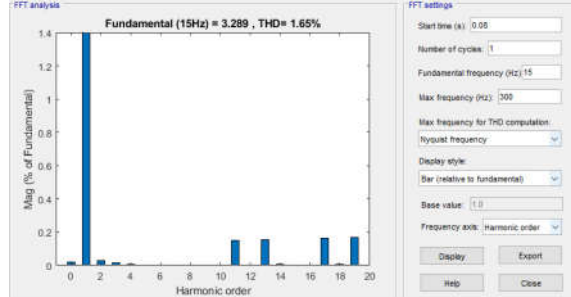


Figure 8. Harmonics current phase a while only the 6th harmonic is compensated

For the case where only the 6th harmonic is compensated, the corresponding results are shown in Figure 7 and Figure 8. It is observed in Figure 8 that harmonics according to the 5th and the 7th were significantly reduced, but the remaining harmonics are not decreased and even boosted up. The current distortion is still visible in both the phase current and the phase on the d-axis of the synchronous reference frame. The reason for this is that only the 6th is controlled. For a more precise dead-time compensation, more harmonics should be considered.

When the 12th harmonic in the d- and q-axis currents is considered along with the 6th, the results are shown in Figure 8 and Figure 9. The phase current depicted in Figure

8 is sinusoidal, meaning that the effect of the dead-time was reduced considerably. The fast Fourier transform (FFT) of the current as shown in Figure 9 demonstrates that the 5th, 7th, 11th and 13th are vanished and the functionality of the resonant controller is confirmed.

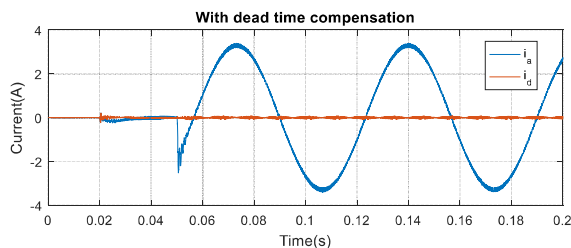


Figure 9. Currents with the 6th and 12th harmonics compensation

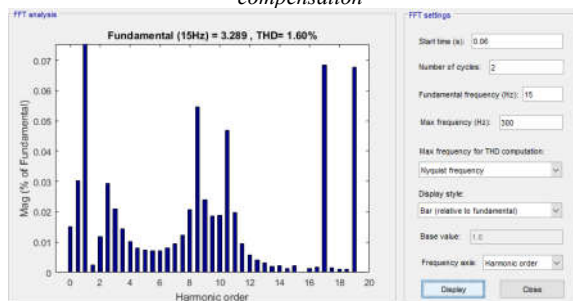


Figure 10. of the current FFT

V. CONCLUSIONS

A dead-time compensation technique based on harmonic current controllers was introduced in this paper. By a combination of the conventional PI current controller and the resonant controller, the sixth harmonic of the stator current in the synchronous reference frame was attenuated. Additionally, the dead-time effect was eliminated due to the resonant controller, in which the compensation voltage was computed to be equal to a reduction of voltage caused by dead-time. The effectiveness of the proposed method was verified by simulation results. The obtained results show smooth transient responses of the output current during switching operation of semiconductor inside the inverter.

REFERENCES

- [1] S.-H. Hwang and J.-M. Kim, "Dead time compensation method for voltage-fed PWM inverter," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–10, Mar. 2010
- [2] S.-G. Jeong and M.-H. Park, "The analysis and compensation of deadtime effects in PWM inverters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 38, no. 2, pp. 108–114, Apr. 1991.
- [3] T. Sukegawa, K. Mizuno, T. Matsui, and T. Okuyama, "Fully digital, vector controlled PWM VSI-fed ac drives with an inverter dead-time compensation strategy," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 27, no. 3, pp. 552–559, May/Jun. 1991.
- [4] J. -W. Choi and S.-K. Sul, "Inverter output voltage synthesis using novel dead time compensation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, no. 2, pp. 221–227, Mar. 1996.

- [5] C. Attaianesi, V. Nardi, and G. Tomasso, "A novel SVM strategy for VSI dead-time-effect reduction," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 6, pp. 1667–1674, Nov./Dec. 2005.
- [6] H. Zhao, Q. M. J. Wu, and A. Kawamura, "An accurate approach of nonlinearity compensation for VSI inverter output voltage," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 14, pp. 1029–1035, Jul. 2004.
- [7] A. C. Oliverra, C. B. Jacobina, and A. M. Lima, "Improved dead-time compensation for sinusoidal PWM inverters operating at high switching frequencies," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 2295–2304, Aug. 2007.
- [8] S. Sayeef and M. F. Rahman, "Improved flux and torque estimators of a direct torque controlled interior PM machine with compensations for dead-time effects and forward voltage drops," *J. Power Electron.*, vol. 9, no. 3, pp. 438–446, May 2009.
- [9] H.-S. Kim, H.-T. Moon, and M.-J. Youn, "On-line dead-time compensation method using disturbance observer," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 6, pp. 1336–1345, Nov. 2003.
- [10] T. J. Summers and R. E. Betz, "Dead-time issues in predictive current control," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 40, no. 3, pp. 835–844, May/Jun. 2004.
- [11] J. Holtz, "Pulsewidth modulation—A survey," in *Proc. IEEE PESC 1992*, pp. 11–18.

BÙ THỜI GIAN AN TOÀN CHO BIẾN TẦN NGUỒN ÁP 2 MỨC DỰA TRÊN BỘ ĐIỀU KHIỂN ĐIỀU HÒA DÒNG ĐIỆN

Tóm tắt: Bài báo đề xuất phương pháp bù thời gian an toàn cho biến tần nguồn áp 2 mức dựa trên bộ điều khiển điều hòa dòng điện. Sóng hài bậc sáu của dòng điện stator trong hệ tọa độ tham chiếu đồng bộ gây ra bởi thời gian an toàn được suy giảm bằng cách dùng bộ điều khiển cộng hưởng. Bộ điều khiển cộng hưởng được mắc song song với bộ điều khiển tích phân tỷ lệ (PI) truyền thống. Bộ điều khiển cộng hưởng sẽ tính toán điện áp bù bằng điện áp bị giảm bởi thời gian an toàn, vì thế loại bỏ được sự ảnh hưởng của thời gian an toàn. Phương pháp đề xuất được kiểm nghiệm bởi các kết quả mô phỏng.

Từ khóa: Bù thời gian an toàn, bộ điều khiển cộng hưởng.



Thanh Lich Nguyen received the bachelor degree in electrical engineering from Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam in 2003 and the master degree in automation from Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam in 2010, and the Ph.D degree in electrical engineering from Technical University of Darmstadt, Darmstadt, Germany in 2019. Currently, he is lecturer at University of Transport and Communications. His current research interests include power electronics, automation, mechatronics, renewable energy conversion systems and microgrid.



Thanh Loan Pham was born in Viet Nam in 1981. She received her B.Sc, M.Sc and Ph.D. in Electrical Engineering from Hanoi University of Science and Technology - HUST and Hanoi University of Mining and Geology – HUMG in 2003, 2005 and 2015, respectively. From 2003 to 2004, she was an automation engineer at Industrial Machinery and Instruments Holding Joint Stock Company. She joined the Automation Department, HUMG in 2004. Her research interests include Automation Control Theory, Modeling and Simulation and Process Control System.