



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ.....

ที่.....วันที่.....23 มีนาคม 2561.....

เรื่อง รายงานผลการไปประชุม/การอบรม/การสัมมนา/การศึกษาดูงาน  
เรียน คณบดี

ตามคำสั่งที่ 2934/2560 ลงวันที่ 16 ธันวาคม 2560 ให้ข้าพเจ้านายวรพงษ์ ไพรินทร์ เดินทางไปประชุมวิชาการนานาชาติ Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2018) ณ เมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น เรื่อง The Equalisation Technique for Five-Level Diode-Clamped Multilevel Converter with Contactless Power Transfer in DC Microgrid System ระหว่าง วันที่ 6 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 8 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 จัดโดย Higher Education Forum, Taipei, Taiwan รวมเป็นเวลา 3 วัน

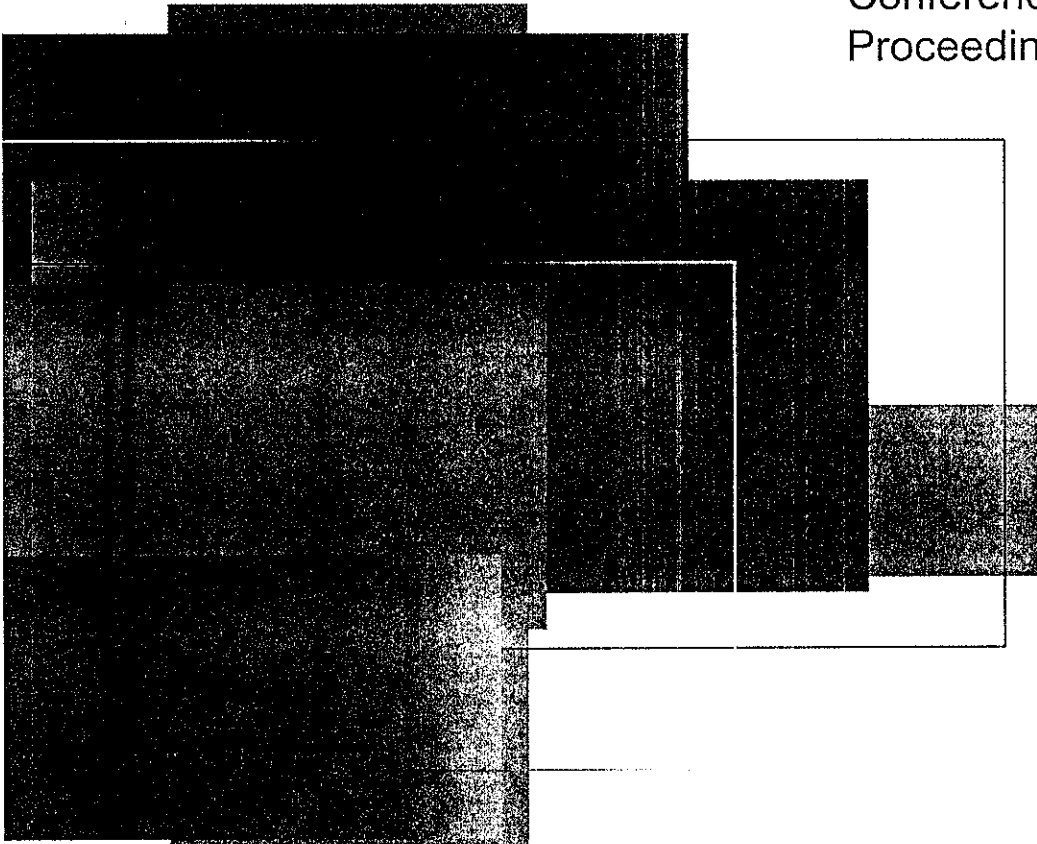
- อนุมัติให้ใช้งบประมาณ เป็นค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปราชการครั้งนี้ จำนวน 50,000บาท (ห้าหมื่นบาทถ้วน)
- ไม่ใช้งบประมาณ
- ใช้งบประมาณส่วนตัว

บัดนี้ การปฏิบัติหน้าที่ราชการที่ได้รับมอบหมายได้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ข้าพเจ้าขอรายงานผลการไปประชุมวิชาการนานาชาติ ดังต่อไปนี้

การประชุมวิชาการนานาชาติ Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2018) ระหว่าง วันที่ 6-8 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ณ เมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น โดยมีการประชุมวิชาการและนำเสนองานวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มีกำหนดการในการประชุมดังนี้ วันแรก 6 กุมภาพันธ์ 2561 ลงทะเบียน วันที่สอง 7 กุมภาพันธ์ 2561 ช่วงเช้าบรรยาย โดย Dr.Chee-Ming Chan เรื่อง Undergraduate Entrepreneurship Course For Civil Engineering Technology Students. ช่วงบ่าย นำเสนองานวิจัยแบบโปสเตอร์ วันที่สาม 8 กุมภาพันธ์ 2561 เวลา 15.00 -15.15 น. ข้าพเจ้านำเสนองานวิจัยแบบปากเปล่าเรื่อง The Equalisation Technique for Five-Level Diode-Clamped Multilevel Converter with Contactless Power Transfer in DC Microgrid System โดยนำเสนอ 10 นาที เนื้อหาของงานวิจัยเป็นการออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้ากำลัง กระแสตรงที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการส่งจ่าย โดยมีการเพิ่มวงจรปรับสมดุลแรงดันเพื่อให้ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นไซน์มีค่าต่ำลง ผลที่ได้คือ ระบบการส่งกำลังที่มีขนาดเล็กลง พร้อมทั้งประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ผู้เข้าร่วมประชุมให้ความสนใจซักถาม 5 นาที



- หมายเหตุ
1. แนบสำเนาประกาศนียบัตร หนังสือสำคัญ หรือหนังสือรับรองการเข้ารับการฝึกอบรม สัมมนา/ประชุมทางวิชาการและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการฝึกอบรม/สัมมนา/ประชุมทาง วิชาการ ไปกับรายงานฉบับนี้ด้วย
  2. ส่งรายงานพร้อมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วน ภายใน 7 วัน หลังสิ้นสุดการฝึกอบรม, ศึกษาหรือดูงาน, ประชุมเชิงปฏิบัติการหรือการสัมมนา
  3. กรณีไปนำเสนอผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ หรือการได้รับการตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ ขอให้จัดส่งไฟล์งาน (Proceeding จากการตีพิมพ์, วารสาร/ปก, เนื้อหาในส่วนตีพิมพ์ มายัง e-mail: kannika.sroy@vru.ac.th)



Conference  
Proceedings

**OSAKA  
JAPAN**

**ACENS**

Asian Conference on Engineering and Natural Sciences

**ISFAS**

The International Symposium on Fundamental and Applied Sciences

ACENS-0032

## The Equalisation Technique for Five-Level Diode-Clamped Multilevel Converter with Contactless Power Transfer in DC Microgrid System

Worapong Pairindra

Department of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University, Pathumthani,  
Thailand

E-mail: [worapong73@hotmail.com](mailto:worapong73@hotmail.com)

### Abstract

The proposed paper is dealing with the balancing circuit topology for five-level diode clamped multilevel converter with contactless power transfer in dc micro-grid, and providing a sinusoidal waveform via the air core transformer in household power consuming. Generally, the dc power converter with low %THD is considered and interested by many researchers. The voltage balancing auxiliary circuit for five-level diode clamped is added in the front stage for controlling the capacitor voltage. The resonant switching capacitor converter (RSCC) consists of 2 half-bridge connected converter and operates in the resonant frequency zone. A 1kW 200kHz single phase five-level diode clamped multilevel converter with the RSCC balancing circuit connected is simulated with MATLAB/Simulink. The output can be investigated in both with and without the compensating circuit.

Keywords— Resonant Switching Capacitor Converter, DC Microgrid, Smart-grid, Diode Clamped Multilevel Converter

### 1. Introduction

Nowadays, the conventional fuel such as fossil fuel for generating the electricity in the power distribution is focused by public attentions. Due to the international agreement on the consuming reduction of the greenhouse effect, the clean energy source has become more attractive to the world community. The smart-grid with the intelligent network has been introduced for more efficient power distribution, combines with the renewable energy sources such as wind, solar or thermal energy.

Generally, the smart-grid consists of ac-micro grid and dc-micro grid, depending on the source location appropriateness. The proposed paper is dealing with the integrated source in household power distribution with the dc link input power and sinusoidal waveform shape output. The five-level diode clamped multilevel is introduced for power conversion in the domestic home power distribution with high frequency switching in order to deliver power through the air by using the inductive power transfer mythology[1-6]. However, the main problem with the unbalancing level voltage has become major problems for each capacitor voltage level. According to the

unequally step voltage, the output voltage can be missed function as a sinusoidal converter and generates high percentage in total harmonic distortion or the %THD.

Fig. 1. illustrated the additional Resonant Switching Capacitor Converter (RSCC) circuit in the front side connected to the five-level diode clamped converter at the rear side. Apparently, the input dc link bus can provide the power in low %THD with this schematic circuit diagram with high frequency.

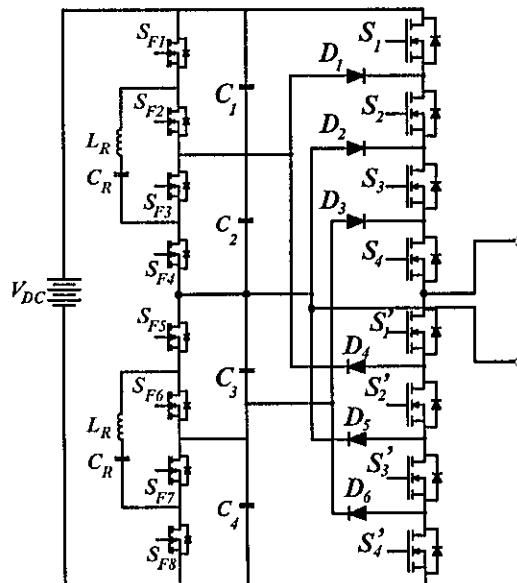


Figure 1. The RSCC balancing converter with five-level diode clamped multilevel converter

## 2. Balancing Circuit for Five-Level Diode Clamped Multilevel Converter

### 2.1 Diode Clamped Multilevel Converter

The basic concept of the multilevel converter is to achieve the higher power with the series connecting of the switching devices with several low voltage dc sources which can be synthesized as a staircase voltage waveform [7-8]. There are many advantages of using the multilevel converter comparing to the old fashion converter. Firstly, the multilevel converter can generate high quality staircase waveform signal with low distortion and can also reduce the  $dv/dt$  stress in switching devices. Secondly, the input current of the multilevel converter and low distortion. Finally, the converter can be operated in both fundamental switching frequency and high switching PWM. In this proposed paper, the diode clamped multilevel converter has been chosen for the power converter because of the advantage in dc common supply. Table I. shows the switching states of the diode clamped multilevel converter to achieve the five-level output voltage at the primary coil of the inductive power transformer. The output voltage of the

converter can be determined by changing the alpha( $\alpha$ ) angle of the switching devices as illustrated in Fig. 2. and can be calculated from equation 1, for L-level converter.

Odd value

$$V_{out,n} = \frac{4}{n\pi} [V_{dc} \cos(n\alpha_1) + V_{dc} \cos(n\alpha_2) + \dots + V_{dc} \cos(n\alpha_{(L-1)/2})] \quad (1)$$

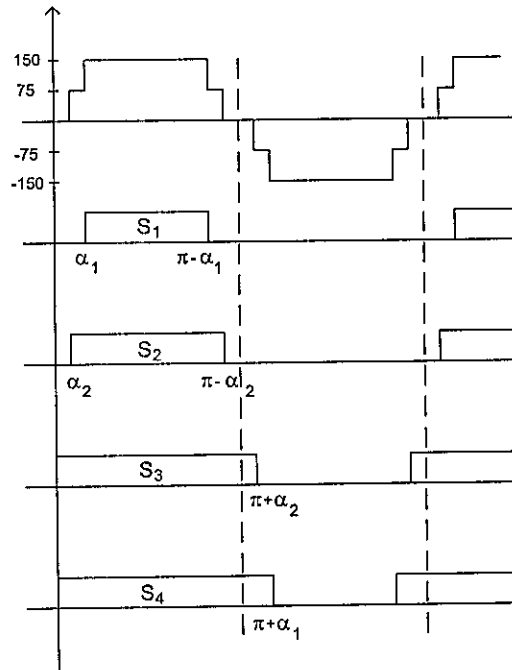


Figure 2. The five-level diode clamped switching topology

Table 1: Diode clamped multilevel switching state

$V_{out}$	Switching state							
	s1	s2	s3	s4	s1'	s2'	s3'	s4'
150 V	1	1	1	1	0	0	0	0
75 V	0	1	1	1	1	0	0	0
0 V	0	0	1	1	1	1	0	0
-75 V	0	0	0	1	1	1	1	0
-150 V	0	0	0	0	1	1	1	1

The operating staircase voltage is illustrated in Fig. 3, and can be written in terms of Fourier

series equation and can be described as the following equation:

Fundamental component of the output voltage,  $V_{f1}$  representing the fundamental harmonic:

$$V_{f1} = \frac{4V_{DC}}{\pi} \sum_{i=1}^N \cos(\alpha_i) \quad (2)$$

The  $(2l - 1)$  - th harmonic components of the output voltage can be found by this given equation:

$$V_{h(2l-1)} = \frac{4V_{DC}}{(2l - 1)\pi} \sum_{i=1}^N \cos((2l - 1)\alpha_i) \quad (3)$$

$N$  level,  $l=1,2,3,4,\dots$

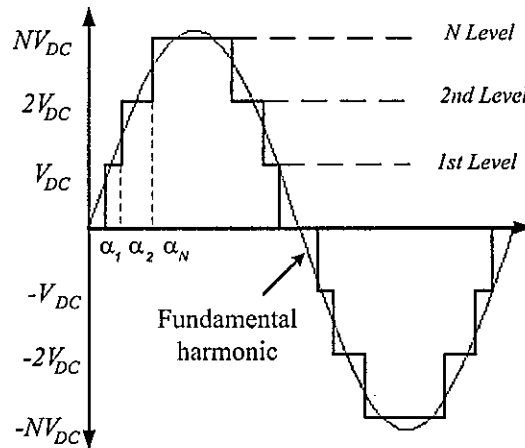


Figure 3. The N-level diode clamped multilevel converter

## 2.2 Resonant Switched Capacitor Converter

For this particular proposed case, we use the auxiliary conventional circuitry to balance the separated capacitor voltage. The introduced method with voltage balancing circuit based on resonant switched capacitor converter (RSCC) in [9] is deployed in the front stage of five-level diode clamped multilevel converter to regulate the deviated level capacitor voltage with variable load adjustment. The additional circuit for voltage regulator consists of two connected half-bridge in Fig. 4, the inverter  $S_1$ - $S_4$  with series resonant connected as shown in Fig. 5(a.), the current can flow in bidirectional between two capacitors. Generally, the  $V_{C1}$  is assumed to be higher than  $V_{C2}$ , the switching duty cycle is constantly set at 50% with constant resonant frequency, which are the advantages of this topology. The square wave from the half-bridge switching is applied across the resonant circuit and  $i_r$  and the sinusoidal waveform is flown through the resonant circuit as shown



in Fig. 5(b.). Therefore, the resonant current  $i_r$  will be discharged from  $C_1$  to  $C_2$  due to different voltage levels of  $C_1$  and  $C_2$ . The amplitude of the resonant current is proportional to the voltage difference between  $V_{C1}$  and  $V_{C2}$  and the polarity could be changed according to the voltage difference. Thus, this topology has been proven that, it is possible to automatically balance the separated five-level capacitor voltage without the feedback controller algorithm or any additional function of control.

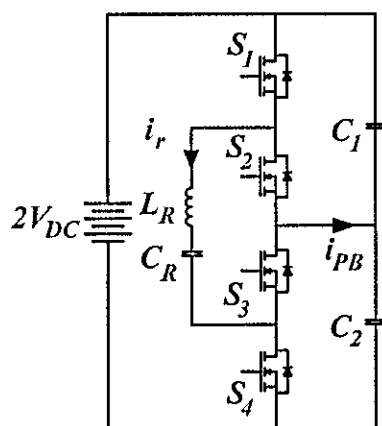


Figure 4. The resonant switching capacitor converter

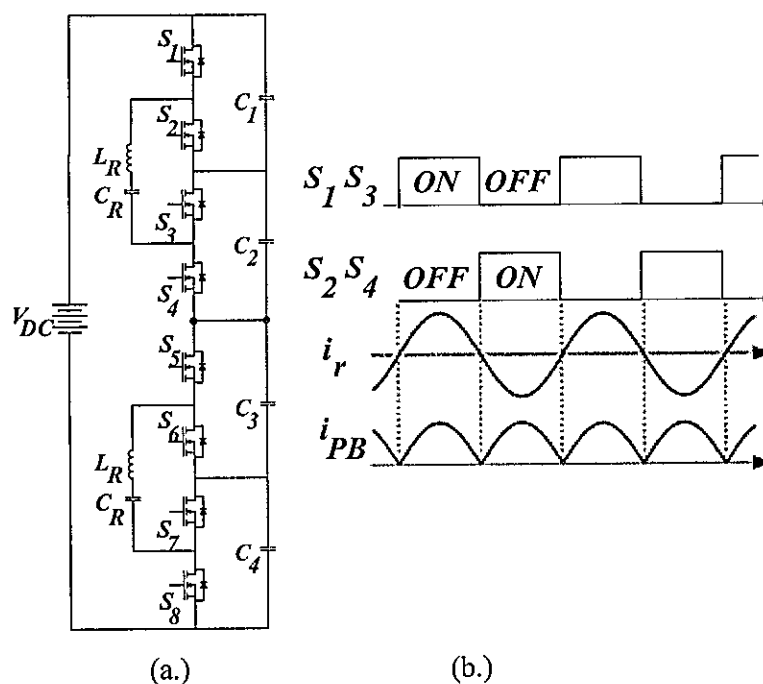
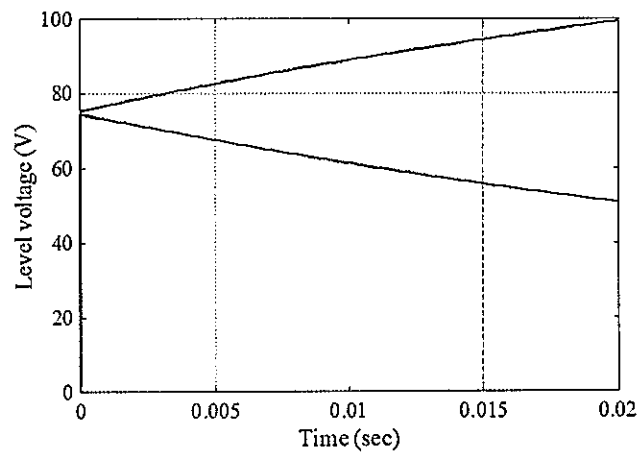


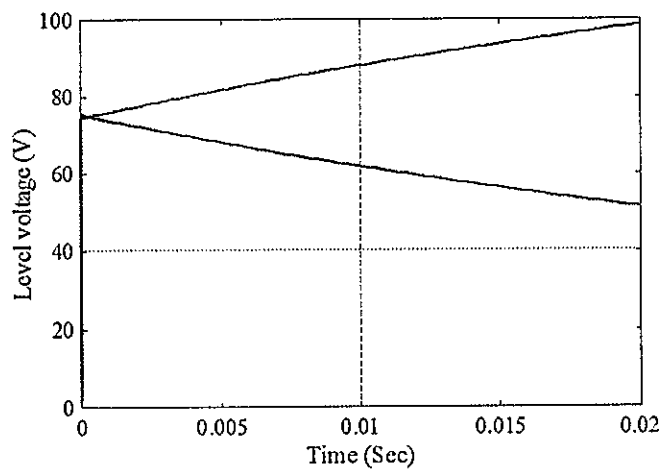
Figure 5. The resonant switching capacitor converter for five-level diode clamped multilevel converter

### 3. Simulation Results

The balancing circuitry has been set up with the RSCC in the front stage for controlling the capacitor level voltage and the five-level multilevel converter in the rear stage side of the converter. Without the compensating circuit, the output voltage of each capacitor can be obviously seen in Fig.6 (a.) and (b.). According to the load fluctuation, the level voltage can be unstable as a constant or fixed value and causes the %THD to increase due to the unbalancing voltage. Conversely, after the RSCC is operated, the output capacitor voltages can be controlled and illustrated in Fig 7(a.) to (d.).

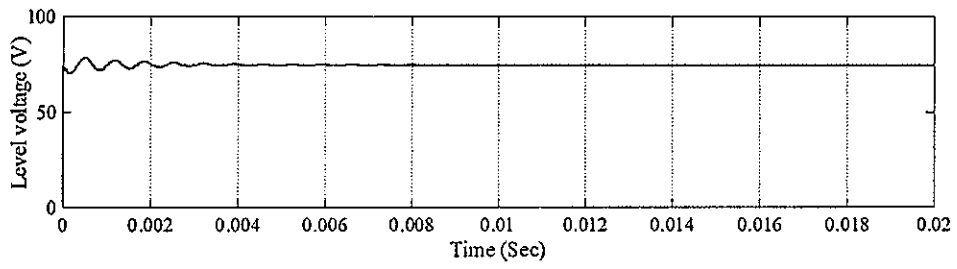


(a.)

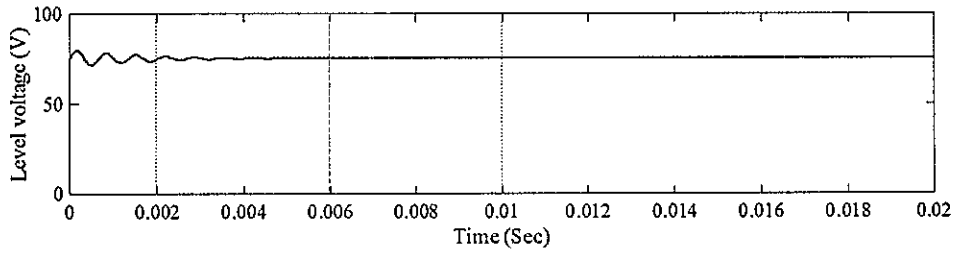


(b.)

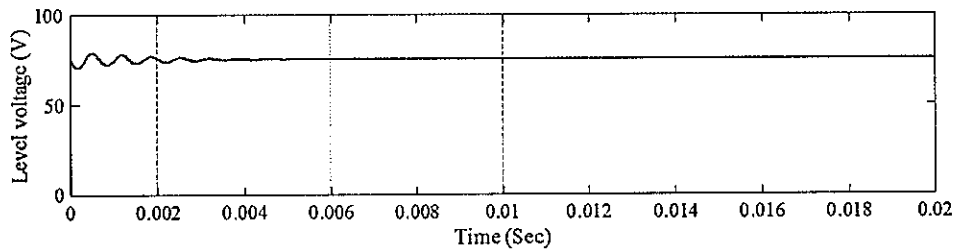
Figure 6. The uncontrolled level capacitor voltage (a.)  $V_{C1}$  and  $V_{C2}$  (b.)  $V_{C3}$  and  $V_{C4}$



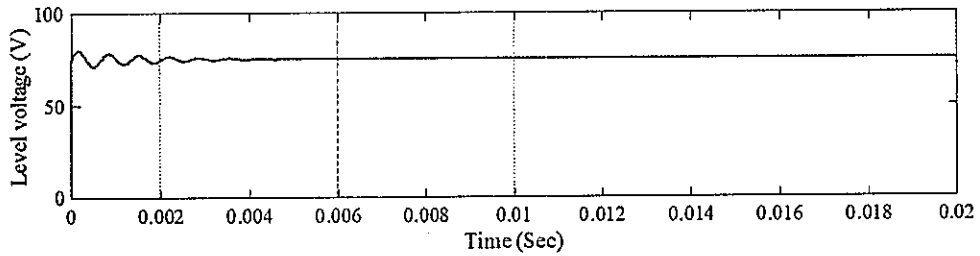
(a.)



(b.)



(c.)



(d.)

Figure 7. The controlled level capacitor voltage (a.)  $V_{C1}$  (b.)  $V_{C2}$  (c.)  $V_{C3}$  (d.)  $V_{C4}$

#### 4. Conclusion

The inductive power transfer with the sinusoidal wave form was setup with the RSCC and the five-level diode clamped multilevel converter. The output capacitor voltage could be monitored by using the MATLAB/Simulink program. To achieve the high power density for transferring

the power through the air media, the %THD had become the main issue for this task. Apparently, from the simulation results, the unbalancing capacitor voltage in the load fluctuation condition was the major setback. In order to overcome the problem, the RSCC with simple robustness controlled topology had been installed and terminated the deviated capacitor voltage. However, the additional circuitry may practically cause the penalty of power loss in the switches. Although, with the new switching devices technology such as SiC MOSFET with low conducting resistance may be the best results for the multiple switching devices in the near future.

## 5. References

- Yushi Miiura, Satoshi Ojika, Tomofumi Ise, "Voltage Control of Inductive Contactless Power Transfer System with Coaxial Coreless Transformer for DC Power Distribution," IPEC-Hiroshima 2014, Japan, 18-21 May 2014, page 1430 - 1437
- Satoshi OJIKA, Yushi MIURA and Toshifumi ISE, "Inductive Contactless Power Transfer System with Coaxial Careless Transformer for DC Power Distribution," ECCE Asia Downunder (ECCE Asia) IEEE, Melbourne, Australia, 3-6 June 2013, page 1046 - 1051
- Yusuke Hayashi, Hajime Toyoda, Toshifumi Ise and Akira Matsumoto, "Contactless DC Connector Based on GaN LLC Converter for Next-Generation Data Centers," *IEEE Trans. on Industry applications*, vol 51, No. 4, pp. 3244-3253, July/August 2015
- P. Worapong, K. Surin, "The Optimization of Series Resonant LLC Half-Bridge Converter with Coreless Transformer Design in a Low Voltage DC Distribution System," ECTI-CON 2015, Hua Hin, Thailand, 24-27 June 2015, page 1-5
- P. Worapong, K. Surin, "The Enhancement of Multilevel Converter for Coaxial Inductive Power Transfer in Low Voltage DC Power Distribution," in *Proceedings of IEEE ECTI-CON 2016*, Chiangmai, Thailand, June 2016.
- P. Worapong, K. Surin, "Development of a Cascaded Half-Bridge Converter with Contactless Transformer in DC Microgrid," iEECON 2016, Chiangmai, Thailand, 2-4 March 2016
- D. Graham Holmes, Thomas A. Lipo, *Pulse width modulation for power converter*, A John Wiley & Son, 2003.
- S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," Chapter 17, *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition, Elsevier, ISBN 978-0-12-088479-7, pp. 451-482, 2007.
- Sano, K., and H. Fujita. 2008. "Voltage-Balancing Circuit Based on a Resonant Switched-Capacitor Converter for Multilevel Inverters," *IEEE Transactions on industry applications* 44 (6): 1768 - 1776.