การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

ธีระพล ฤทธิศาสตร์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
พฤษภาคม 2565

การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

ธีระพล ฤทธิศาสตร์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
พฤษภาคม 2565

DEVELOPMENT OF HIGH STEP-UP BOOST CONVERTERS FOR ENERGY HARVESTING SYSTEMS

TEERAPOL RITTISAD

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Engineering Degree in Electrical Engineering

May 2022

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง
สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

ของ ธีระพล ฤทธิศาสตร์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ศาสตราจารย์ ดร. เมธีพจน์ พัฒนศักดิ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ อมรเดชาพล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. เชวศักดิ์ รักเป็นไทย)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงษ์ โปธิ)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(รองศาสตราจารย์ ดร. จงลักษณ์ พาหะซา)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)

เรื่อง: การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัย: ธีระพล ฤทธิศาสตร์, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ อมรเดชาพล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. เชวศักดิ์ รักเป็นไทย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ โปธิ

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน, อัตราการขยาย, วงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงและมีค่าสูญเสียต่ำโดยใช้เทคนิคการเกิดสวิทช์แบบนุ่มนวลเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดอัตราการขยายแรงดันที่มีค่าไม่สูงพอที่จะนำไปใช้งานร่วมกับไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในการเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยที่วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงที่นำเสนอนั้นใช้วิธีฝากแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์ซึ่งสามารถขยายแรงดันได้เป็นจำนวน เท่า ขึ้นอยู่กับการต่อชุดไดโอดและคาปาซิเตอร์และได้ทำการลดค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจรโดยติดตั้งวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากการสวิทช์โดยใช้เทคนิคการเกิดสวิทช์แบบนุ่มนวลซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ของอินดักเตอร์สนับเบอร์และคาปาซิเตอร์สนับเบอร์โดยมีไดโอดทำหน้าที่หยุดสภาวะเรโซแนนซ์ การจำลองการทำงานของวงจรใช้โปรแกรม PSIM โดยจำลองการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340W กับวงจรที่นำเสนอที่ความถี่สวิทช์ 50kHz ค่าอินดักเตอร์ 1mH และค่าคาปาซิเตอร์ 1uF รวมไปถึงอินดักเตอร์สนับเบอร์ 16uH และคาปาซิเตอร์สนับเบอร์ 5nF ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่นำเสนอสามารถเพิ่มอัตราการขยายได้จริงและสามารถลดการสูญเสียที่เกิดจากการสวิทช์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรได้จริง

Title: DEVELOPMENT OF HIGH STEP-UP BOOST CONVERTERS FOR ENERGY HARVESTING SYSTEMS

Author: Teerapol Rittisad, Thesis: M.Eng. (Electrical Engineering), University of Phayao, 2021

Advisor: Assistant Professor Dr. Damrong Amorndechaphon Co-advisor Associate Professor Dr.Chawasak Rakpenthai Assistant Professor Dr.Nattapong Pothi

Keywords: Performance enhancement, Solar photovoltaic, Dc to Dc boost converter, Gain, Passive lossless snubber

ABSTRACT

This research presents a DC-to-DC boost converter circuit with high voltage gain and low loss by using soft-switching technique to solve the limitation of the voltage gain rate that is not high enough to be used in conjunction with a micro-inverter that supplies AC power to the energy harvesting power system. The proposed high voltage gain DC-to-DC boost converter circuit deposits a voltage at the capacitor which can be amplified by a certain number of N times depending on the connection of diodes and capacitors. This also reduces the loss incurred in the circuit by installing a passive lossless snubber circuit to reduce the loss caused by the switch by using a soft-switch technique. This is a result of the resonance of the snubber inductor and the snubber capacitor with the diode acting to stop the resonance condition. Circuit simulation using PSIM program simulated the use of a 340W solar panel with a circuit presented at a switch frequency of 50kHz, a 1mH inductor and a 1uF capacitor as well as an 16uH inductor snubber and 5nF capacitor snubber. The results of the simulation show that the proposed voltage boosted DC-to-DC converter circuit can actually increase the gain and can reduce the switching losses in order to enhance the efficiency of the circuit

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณา ช่วยแหลือ และให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงค์ อมรเดชาพล และอาจารย์กรวิน สุวรรณภักดิ์ รวมไปถึงอาจารย์ทุกท่านของคณะวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2562 โครงการสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาด้านอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2562 ที่ กอ.สอ.010/2562

ธีระพล ฤทธิศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานในปัจจุบันมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวันและการผลิตภาคอุตสาหกรรม เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ การผลิตไฟฟ้าในช่วงที่ผ่านมานิยมสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานจากฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็นถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติ ในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมาประเทศต่าง ๆ ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาด เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าที่กระจายตัวเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลายแห่ง สำหรับนโยบายภาครัฐของประเทศไทยนั้นมีการส่งเสริมสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนมาอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดี เนื่องจากพื้นที่ตั้งของประเทศใกล้เส้นศูนย์สูตร และมีแดดเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องได้ตลอดปี เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวัน และเป็นการช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy Harvesting) เป็นแนวโน้มพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจในยุคนี้ ด้วยเป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากมายรอบตัวเรา การเก็บเกี่ยวพลังงาน จัดเป็นอีกช่องทางหนึ่งสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต การเก็บเกี่ยวพลังงานนั้น จะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด พลังงาน และวัสดุอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานทดแทน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามแหล่งที่มา คือ พลังงานทดแทนชนิดสิ้นเปลือง ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น และพลังงานทดแทนชนิดหมุนเวียน ซึ่งสามารถหมุนเวียนใช้ได้อีก แหล่งพลังงานทดแทนชนิดหลังนี้จัดเป็นพลังงานสะอาด สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามขนาดของพลังงานที่ได้รับ คือ 1) แหล่งพลังงานขนาดใหญ่ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น และ 2) แหล่งพลังงานขนาดเล็ก ได้แก่ พลังงานที่เหลือใช้ เช่น พลังงานความร้อน หรือพลังงานการสั่นจากร่างกายของคน เครื่องยนต์ เครื่องจักร เป็นต้น แหล่งพลังงานทดแทนแบบมหัพภาคที่ได้รับความสนใจ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ อาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) แปลงพลังงานจากแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้า จัดเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ค่าความหนาแน่นพลังงานมากสุด (ในกรณีรับแสงโดยตรง) มีค่า 15,000 ไมโครวัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ($\mu W/cm^3$)

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนั้น เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่มีมลภาวะทางเสียง ไม่ก่อให้เกิดสภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิต มีการบำรุงรักษาน้อย และเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนและไม่มีวันสิ้นสุด กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถนำมาใช้อย่างอิสระกับภาระไฟฟ้าโดยทั่วไป (Stan-alone PV system) หรือการป้อนพลังงานกลับสู่ระบบไฟฟ้า (Grid-connected PV system)

สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่สายส่งของระบบไฟฟ้านั้น จะต้องยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นก่อนที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบสายส่ง ด้วยวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันประสิทธิภาพสูง ซึ่งใช้วิธีลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะโดยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์แบบนุ่มนวลที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูง สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเพื่อทำการจ่ายกลับคืนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันประสิทธิภาพสูงที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูง สำหรับการใช้งานกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมโยงเข้ากริดของการไฟฟ้า (Grid-connected PV Systems)

2. ออกแบบและพัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่สามารถทำงานได้ดีขณะที่อัตราการขยายแรงดันมีค่าสูง โดยที่ค่าประสิทธิภาพของวงจรไม่ได้ลดค่าลง

3. ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของคอนเวอร์เตอร์โดยการเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ที่ให้อัตราการขยายแรงดันค่าสูงแต่มีค่าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะต่ำ โดยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์แบบนุ่มนวล (Soft switching techniques) ที่เหมาะสม

สมมติฐานของการวิจัย

1. วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์สามารถให้อัตราขยายที่มีแรงดันค่าสูง

2. วงจรสนับเบอร์แบบพาสซีพสามารถทำให้อุปกรณ์สวิทช์ทำงานภายใต้สภาวะการสลับแบบนุ่มนวลเพื่อลดค่าความสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะได้อย่างสมบูรณ์

ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันประสิทธิภาพสูงที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงสำหรับใช้เชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกไม่เกิน 50VDC เข้าสู่ระบบไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กชนิดเฟสเดียว โดยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่บัสไฟตรงมีค่าไม่เกิน 400VDC กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 300 W

2. ใช้เทคนิคการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์แบบนุ่มนวลแบบพาสซีฟ (Passive Soft-switching techniques) ในวงจรกำลังของคอนเวอร์เตอร์

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาหลักการพื้นฐานการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์

2. ศึกษาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูงชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

3. ศึกษาวิธีการต่าง ๆ ของหลักการเปลี่ยนสถานะแบบนุ่มนวลที่เหมาะสมจะนำมาใช้ร่วมกับดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง

4. จำลองการทำงานของดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูงที่ใช้เทคนิคการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ที่นุ่มนวล โดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาทิเช่น PSIM, Matlab และ OrCAD

5. ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูงที่ใช้เทคนิคการเปลี่ยนสถานะที่นุ่มนวล

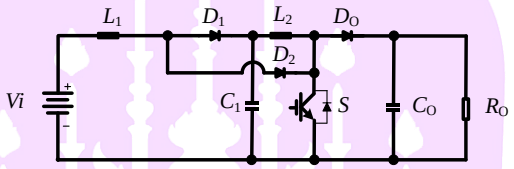
6. ทำการทดลองการทำงานของเครื่องต้นแบบและเปรียบเทียบผลการทำงานที่ได้กับผลจากการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์

7. ประเมินและสรุปผลการทำงานของวิธีการที่นำเสนอ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

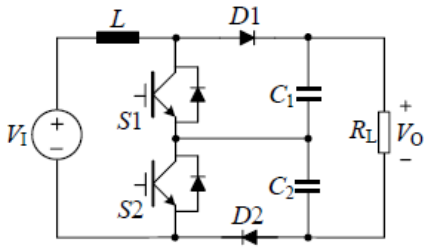
สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Figueiredo, Tofoli and Alves (2011) นำเสนอ Comparison of nonisolated dc–dc converters from the efficiency point of view เป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Single–switch quadratic boost converter ตามภาพ 1 เพื่อเพิ่มแรงดันโดยการนำตัวเหนี่ยวนำอีกชุดมาต่อเรียงกันกับตัวเหนี่ยวนำชุดเดิม โดยใช้อุปกรณ์สวิทช์เพียงหนึ่งตัว ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบ การทำงานโดยจ่ายแรงดันอินพุต 50VDC ที่ความถี่สวิทช์ 50kHz โหลด 100W ได้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุต 100VDC ซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้



ภาพ 1 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Single–switch quadratic boost converte

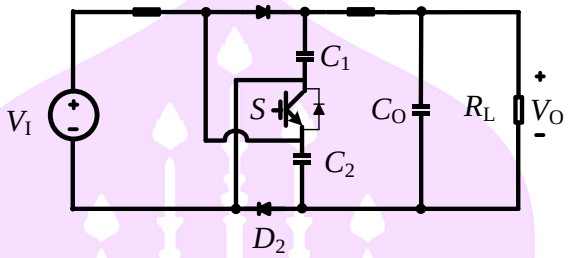
Lin and Hsin–Hung (1999) นำเสนอ Single–phase three–level PWM rectifier เป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ ตามภาพ 2 การพัฒนา คือ การนำส่วนประกอบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันมาต่อแทรกเข้าไปกับคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันชุดเดิมและควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังของทั้งสองให้เหลื่อมกันออกไป ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานโดยจ่ายแรงดันอินพุต 110VAC ผ่านไดโอดเพื่อเรียงกระแสก่อนจะเข้าสู่วงจรทดสอบที่โหลด 1kW ได้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุต 220VDC ซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้



ภาพ 2 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ three–level

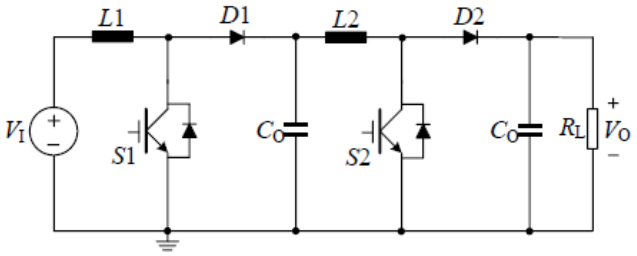
Axelrod, Berkovich and Ioinovici (2003) นำเสนอ Transformerless dc–dc converters with a very high dc line–to–load voltage ratio เป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์–

คาปาซิเตอร์ ตามภาพ 3 เป็นวงจรที่ทำงานบนพื้นฐานของวงจรยกระดับแรงดันโดยมีการนำตัวเก็บประจุแทรกต่อเข้าไปในวงจรเพื่อนำแรงดันไปฝากไว้ที่ตัวเก็บประจุ ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานโดย จ่ายแรงดันอินพุต 12VDC ที่ความถี่สวิทช์ 50kHz ที่วัฏจักรงาน 0.76 โหลด 35W ได้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุต 75VDC ซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้



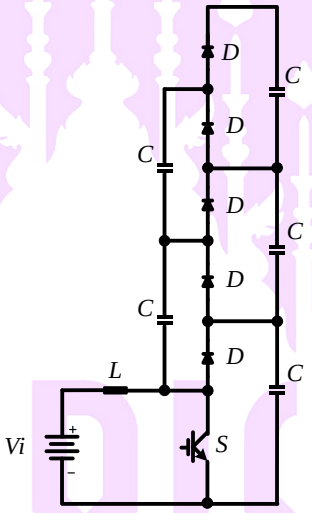
ภาพ 3 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์–คาปาซิเตอร์

Huber and Jovanovic (2000) นำเสนอ A design approach for server power supplies for networking applications เป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ ตามภาพ 4 ซึ่งเป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน โดยการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันอีกชุดมาต่อเรียงกันไปกับคอนเวอร์เตอร์ชุดเดิม ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานโดยจ่ายแรงดันอินพุต 40–75VDC โหลด 50–1200W ได้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุต 375VDC ซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้



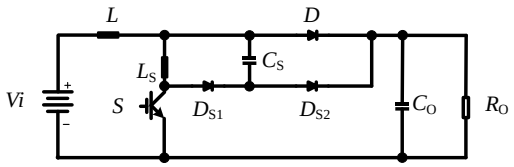
ภาพ 4 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Cascade

Rosas–Caro, Ramirez and Peng (2010) ได้นำเสนอ A DC–DC multilevel boost converter ตามภาพ 5 ซึ่งมีรูปแบบของวงจรที่รวมกันระหว่างวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบพื้นฐาน และวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบสวิทช์คาปาซิเตอร์ เพื่อให้แรงดันเอาท์พุตมีอัตราขยายแรงดันค่าสูง โดยใช้อุปกรณ์สวิทช์เพียงหนึ่งตัว ข้อดีของวงจรที่นำเสนอ คือ มีอัตราขยายแรงดันค่าสูงที่วัฏจักรงานไม่สูงมาก และไม่มีหม้อแปลงซึ่งส่งผลให้ขนาดของวงจรเล็กลง ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานโดยใช้สัญญาณ PWM แบบลูปเปิดขนาด 100kHz ที่วัฏจักรงาน 0.5 ให้กับสวิทช์ซึ่งอุปกรณ์สวิทช์ใช้ IGBT โดยจ่ายแรงดันด้านอินพุต 30VDC ซึ่งได้ค่าแรงดันด้านเอาท์พุต 300VDC เพื่อยืนยันผลการทำงานของวงจร



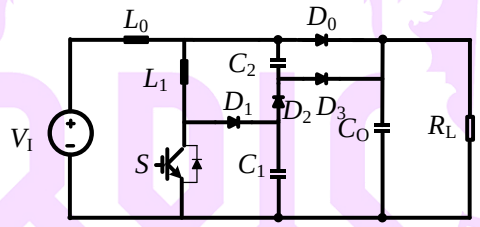
ภาพ 5 แสดงวงจร DC–DC multilevel boost converter

Brian and Jovanovic (2002) ได้นำเสนอ Analysis, Design, and Performance Evaluation of Flying–Capacitor Passive Lossless Snubber Applied to PFC Boost Converter ตามภาพ 6 ที่มีการนำเสนอวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะ โดยอุปกรณ์สวิทช์ จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันขนาด 500W ความถี่สวิทช์ 80kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



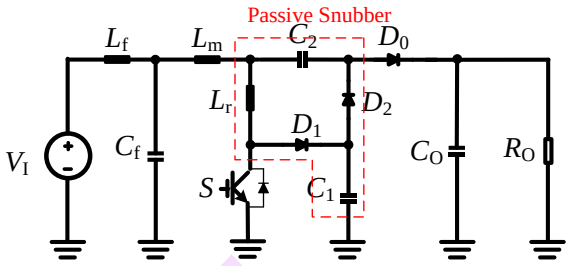
ภาพ 6 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ PFC ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Nakamura and Shimada (2001) ได้นำเสนอ Performance Evaluations on Soft-Switching Boost Power Converter with a Single Auxiliary Passive Resonant Snubber ตามภาพ 7 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะ โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching โดยการบังคับไม่ให้กระแสและแรงดันที่สวิทช์ชนกัน ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ที่แรงดันอินพุต 200VDC ขนาดค่าความต้านทางโหลด 100Ω ความถี่สวิทช์ 100kHz ที่วัฏจักรงาน 0.5 ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



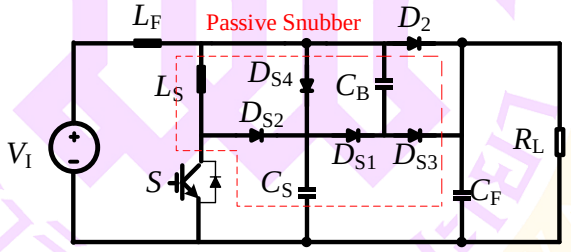
ภาพ 7 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Hyung-Jin, Yoo-Chae and Chang-Hyeon (2014) ได้นำเสนอ Passive Snubber for Reducing Switching-Power Losses of an IGBT in a DC–DC Boost Converter ตามภาพ 8 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน ใช้อินดักเตอร์สนับเบอร์ต่ออนุกรมกับสวิทช์และคาปาซิเตอร์สนับเบอร์ต่อขนานกับสวิทช์ โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่แรงดันอินพุต 200VDC แรงดันเอาท์พุต 300VDC ขนาด 300W ความถี่สวิทช์ 180kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



ภาพ 8 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

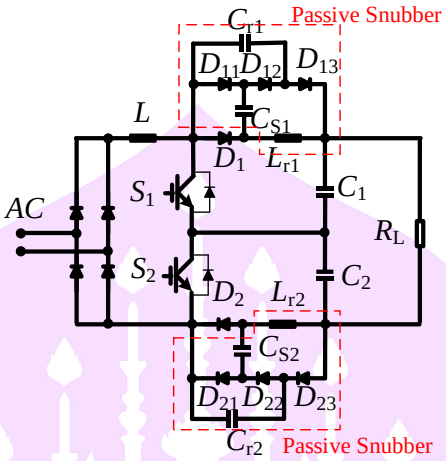
Haci and Huseyin (2013) ได้นำเสนอ An Improved Lossless Passive Snubber Cell for PFC Boost Converter ตามภาพ 9 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน PFC ใช้อินดักเตอร์สนับเบอร์ต่ออนุกรมกับสวิทช์ และคาปาซิเตอร์สนับเบอร์ต่อขนานกับสวิทช์ โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่แรงดันอินพุต 220VAC แรงดันเอาท์พุต 400VDC ขนาด 1kW ความถี่สวิทช์ 50kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



ภาพ 9 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

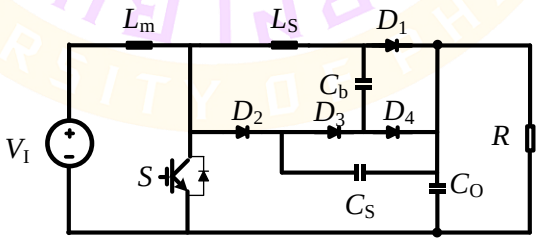
Hongyang and Xiangning (2002) ได้นำเสนอ A Novel Single Phase Three-level Power Factor Correction with Passive Lossless Snubber ตามภาพ 10 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดันแบบ Three-level PFC โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ของสวิทช์ทั้งสองตัว ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่แรงดันอินพุต 220VAC แรงดันเอาท์พุต 400VDC ขนาด 2kW ความถี่สวิทช์

40kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



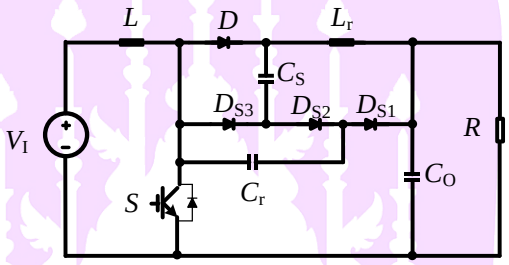
ภาพ 10 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Ching-Jung, Tseng and Chern-Lin (1998) ได้นำเสนอ A Passive Lossless Snubber Cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters ตามภาพ 11 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 1kW ความถี่สวิทช์ 100kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



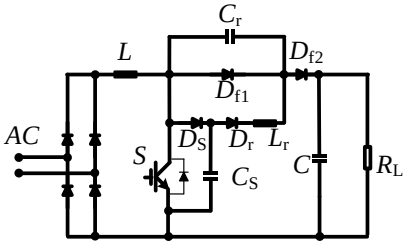
ภาพ 11 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Smith and Smedley (2001) ได้นำเสนอ Engineering Design of Lossless Passive Soft Switching Methods for PWM Converters—Part I: With Minimum Voltage Stress Circuit Cells ตามภาพ 12 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอน–เวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 750kW แรงดันอินพุต 110Vrms แรงดันเอาท์พุต 250VDC ความถี่สวิทช์ 100kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



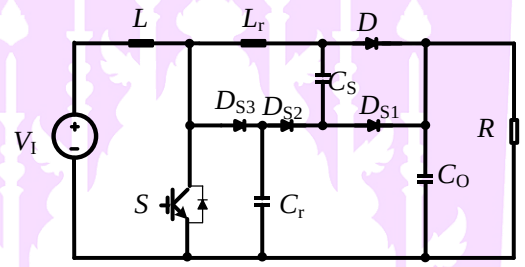
ภาพ 12 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Matsumoto and Neba (2001) ได้นำเสนอ Sinusoidal Input DCM Boost Rectifier With Lossless Snubber Topology ตามภาพ 13 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาดค่าความต้านทานโหลด 99Ω แรงดันอินพุต 50VDC แรงดันเอาท์พุต 150VDC ความถี่สวิทช์ 10kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรที่ติดตั้งวงจร RCD Snubber



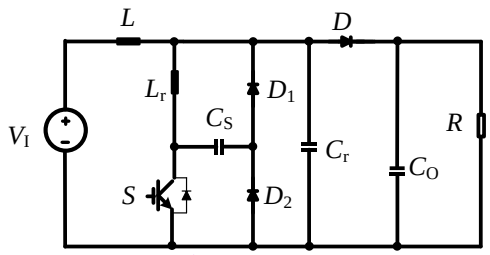
ภาพ 13 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Smith and Smedley (2001) ได้นำเสนอ Engineering Design of Lossless Passive Soft Switching Methods for PWM Converters—Part I: With Minimum Voltage Stress Circuit Cells ตามภาพ 14 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching โดยมีการเปรี่ยนตำแหน่งอินดักเตอร์สนับเบอร์และคาปาซิเตอร์-สนับเบอร์ เพื่อทำสอบการเกิด Soft Switch ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทู-ดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 750W แรงดันอินพุต 110Vrms แรงดันเอาท์พุต 250VDC ความถี่สวิทช์ 100kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



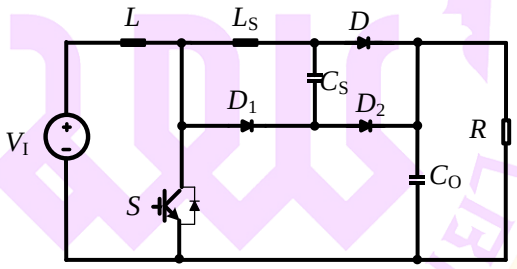
ภาพ 14 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Doo-Yong and Young-Hyok (2011) ได้นำเสนอ Interleaved Soft-Switching Boost Converter for Photovoltaic Power-Generation System ตามภาพ 15 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์ เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดันแบบ Interleaved ซึ่งนำมาใช้งานร่วมกับ MPPT แบบ P&O โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และ Zero Voltage Switching โดยมีการเปรี่ยนตำแหน่งอินดักเตอร์สนับเบอร์และคาปาซิเตอร์สนับเบอร์ เพื่อทำสอบการเกิด Soft Switch ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 1.2kW แรงดันอินพุต 200-350VDC แรงดันเอาท์พุต 400VDC ความถี่สวิทช์ 30kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



ภาพ 15 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

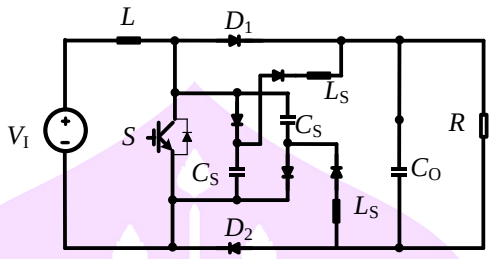
Chen and Tseng (1998) ได้นำเสนอ Passive Lossless Snubber for DC/DC Converters ตามภาพ 16 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Voltage Switching ในขณะสวิทช์ปิด ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 1kW แรงดันอินพุต 220VDC แรงดันเอาท์พุต 400VDC ความถี่สวิทช์ 100kHz ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



ภาพ 16 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

Hiroshi and Kenichiro (1998) ได้นำเสนอ A Loss-less Passive Snubber for Soft-Switching Boast-tylpe Converters ตามภาพ 17 ที่มีการนำพัฒนาวงจรสนับเบอร์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์เปลี่ยนสถานะในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยอุปกรณ์สวิทช์จะทำงานภายใต้สภาวะ Zero Current Switching และZero Voltage Switching ในขณะสวิทช์ปิดและเปิด ผู้นำเสนอได้ทำการทดสอบการทำงานในวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน ขนาด 600W แรงดันอินพุต 100VDC แรงดันเอาท์พุต 200VDC ความถี่สวิทช์ 20kHz ที่วัฏจักรงาน

0.5 ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber



ภาพ 17 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์ติดตั้งวงจร Passive Lossless Snubber

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงแนวทางการพัฒนาระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงโดยผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่และเป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเพื่อทำการจ่ายกลับคืนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

2. ได้แบบจำลองระบบที่ได้พัฒนาขึ้นที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าระบบเดิม ๆ ด้วยผลของการแก้ไขปัญหาของค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นในวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ คือ

1. การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมจากเซลล์แสงอาทิตย์
2. ทฤษฎีและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
3. พื้นฐานการทำงานของระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบวิธีการรบกวนและสังเกต
4. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
5. การจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบสายส่ง
6. ผลกระทบจากการเกิดเงาบังบางส่วน
7. คุณลักษณะและหลักการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์
8. การสูญเสียในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
9. ทฤษฎีและหลักการของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูง
10. ทฤษฎีและหลักการของวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม (Energy Harvesting)

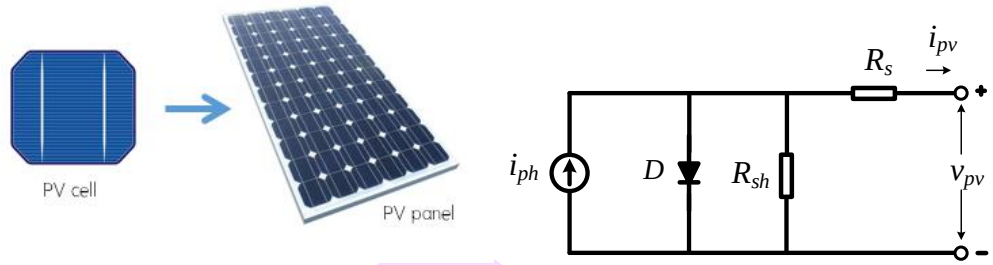
เอนเนอร์จีฮาร์เวสติ้ง คือ การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากมายหลายรูปแบบรอบตัวเรา เช่น การเก็บเกี่ยวพลังงานจากน้ำ โดยใช้พลังของน้ำไปหมุนกังหันเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมโดยใช้พลังลมหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้ถือว่าเป็นพลังงานสะอาดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจอันเนื่องมาจากพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด หาได้ง่ายที่สุดในธรรมชาติ และให้ค่าความหนาแน่นพลังงานมาก ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข็มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่า มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m^2 –day ดังนั้นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน

ภาพ 18 แสดงระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมของพลังงานทดแทน ชนิดหมุนเวียน

ทฤษฎีและหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV panel) ที่ใช้งานโดยทั่วไป แสดงในภาพ 19 ก) ถูกประกอบขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลล์ประกอบเข้าด้วยกัน โดยนำมาต่ออนุกรมจนได้ขนาดกำลังไฟฟ้าตามต้องการ คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear characteristic) โดยเปลี่ยนแปลงตามอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar irradiation) และอุณหภูมิแวดล้อม วงจรเสมือน (Equivalent circuit) ของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังภาพ 19 ข) ประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแส i_{ph} ต่อขนานอยู่กับไดโอด D และตัวต้านทาน R_{sh} จากนั้นไปอนุกรมกับตัวต้านทาน R_s โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือ i_{pv} แสดงได้ตามสมการที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แสดงในตาราง 1

$$i_{pv} = i_L - i_0 \left[\exp\left(\frac{q\left(v_{pv} + i_{pv}R_s\right)}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{v_{pv} + i_{pv}R_s}{R_{sh}} \qquad (2.1)$$



- ก) ข)

ภาพ 19 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์

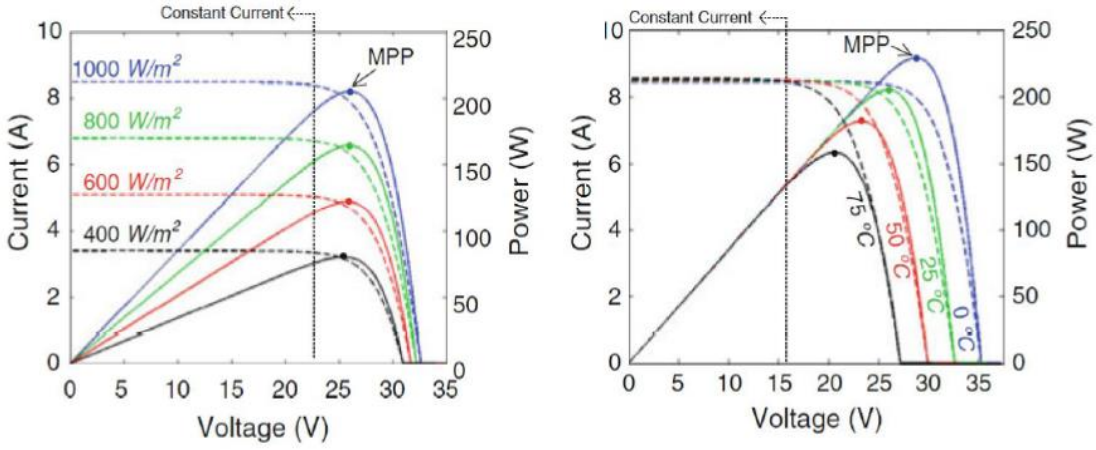
หมายเหตุ: ก) ส่วนประกอบจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงแสงอาทิตย์ ข) วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ตาราง 1 แสดงพารามิเตอร์ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (PV cell)

Variable	Parameter
v_{PV}	Cell output voltage (V)
i_{PV}	Cell output current (A)
R_s	Cell series parasitic resistance (Ω)
R_{sh}	Cell series parasitic resistance (Ω)
q	Electronic charge: 1.6 x 10^{-19} (Coulombs)
K	Boltzmann constant: 1.38 x 10^{-23} (J/K)
T	Absolute temperature (K)
n	Diode ideality factor: ideally n = 1
i_0	Cell reverse saturation current: 10–12 (A/cm^2)

เส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I–V curve) และคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P–V curve) แสดงในภาพ 20 ดูเหมือนว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพฤติกรรมเหมือนกับแหล่งจ่ายกระแสที่มีค่าคงที่ (DC current source) แม้ว่าแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่พบว่า

เมื่อแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นเกินค่า ๆ หนึ่ง กระแสด้านออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ไม่เป็นเชิงเส้น กระแสด้านออกจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกต่อแบบเปิดวงจรกับระบบหรือภาระไฟฟ้า (Open circuit) และแรงดันด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับแรงดันเปิดวงจร (Open–circuit voltage: voc) นอกจากนี้ แรงดันด้านออกนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันหากด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร แรงดันด้านออกจะมีค่าเป็นศูนย์แต่กระแสด้านออกจะมีค่าเท่ากับกระแสลัดวงจร (Shortcircuit current: isc)



ก) ข)

ภาพ 20 แสดงคุณลักษณะทางแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, และกำลังไฟฟ้าของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

หมายเหตุ: ก) เมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงแต่อุณหภูมิคงที่ที่ 25°C ข) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแต่ความเข้มแสงคงที่ที่ 1000W/m²

จากเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P–V curve) พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (dp/dv) จะมีอยู่ 3 ลักษณะ ดังนี้ (1) dp/dv > 0: ในลักษณะนี้พบว่าจะเป็นย่านที่กระแสด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าคงที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงที่ (2) dp/dv < 0: เป็นบริเวณที่เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานใกล้กับจุดที่เปิดวงจร (Open circuit) (3) dp/dv = 0:

เป็นบริเวณที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) ระดับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า แรงดันที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power voltage: vmp) ซึ่งค่าแรงดันนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยสรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีที่ความเข้มแสงมากและที่อุณหภูมิต่ำ

พื้นฐานการทำงานของระบบการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบวิธีการรบกวนและสังเกต

โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดการทำงานที่ดีที่สุดเพียงหนึ่งจุดที่ภาวะใด ๆ กล่าวคือ เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้แก่โหลดที่ตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าค่าหนึ่ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลดังกล่าวคือ ความเข้มแสงและอุณหภูมิ ซึ่งมีความไม่แน่นอนสามารถเปลี่ยนแปลงตามสิ่งแวดล้อมตามที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น ดังนั้นการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อช่วยดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบนั้นเป็นหน้าที่ของคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งวิธีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบการรบกวนและสังเกตนั้นเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนทำงานเป็นคาบเวลา การดึงพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการใช้อัลกอริธึมทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าเดิมเพื่อทำการปรับค่าวัฏจักรงานของสวิทช์หลักเพื่อลดหรือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อกำหนดจุดทำงานให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดซึ่งจะทำให้สามารถดึงกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

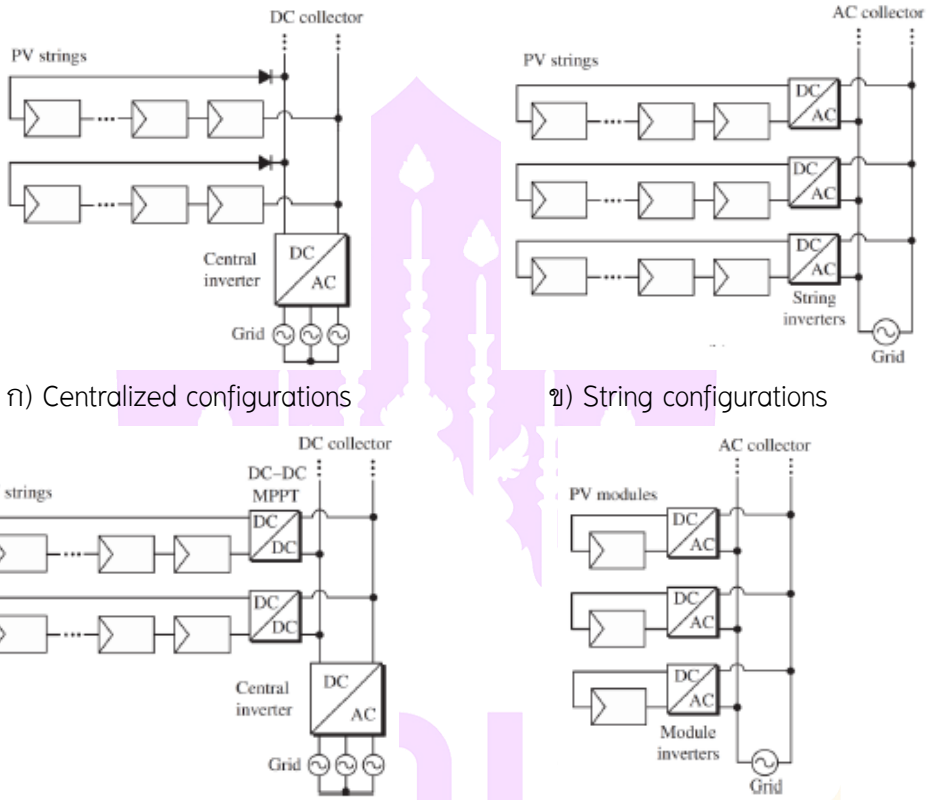
ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบ power systems ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ แบบออฟกริด และแบบออนกริด ออฟกริดเป็นระบบสแตนอะโลน มีแบตเตอรี่เก็บพลังงาน ไม่ได้เชื่อมต่อเข้ากับสายส่งของการไฟฟ้า ส่วนออนกริดเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้า ซึ่งจะมีอุปกรณ์ในการปรับเปลี่ยนแรงดันและกระแสเพื่อที่จะเชื่อมต่อกับสายส่ง ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาระบบออนกริด

การจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบสายส่ง

การจำแนกระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และทำการจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบสายส่งของระบบไฟฟ้านั้น โดยปกติจำแนกออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ

ตามลักษณะการใช้งานซึ่งประกอบไปด้วย (1) Centralized configurations (2) String configurations (3) Multi–string configuration และ (4) AC module configuration แสดงได้ดังภาพ 21



- ก) Centralized configurations ข) String configurations

ค) Multi–string configuration ง) AC–module configuration หรือ Micro inverter

ภาพ 21 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และจ่ายกลับคืนสู่สายส่งของระบบไฟฟ้า (Grid–connected PV Systems) ชนิดต่างๆ

โดยในประเภท Centralized configurations และ String configurations มักใช้งานกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 1–10kW แต่สำหรับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับติดตั้งบนหลังคา (Small scale roof–top systems) ในปัจจุบันมักจะเลือกใช้ประเภท AC–module configuration หรืออาจเรียกว่า microinverter หรือ ไมโครอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพ 21 (ง) ในประเภทนี้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละแผงจะต่อเข้ากับ module inverter โดยตรง โดยแต่ละวงจรของ module inverter ที่ต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะทำงานในโหมดที่สามารถติดตามการทำงานที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่เป็นอย่างอิสระของแต่ละแผงเอง ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาของแสงเงา

ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบ centralize, string และ multi-string ได้ และหากชุดใดชุดหนึ่งเสียหายหรือไม่ทำงาน ระบบการผลิตไฟฟ้ารวมย่อมไม่กระทบใด ๆ เนื่องจาก AC module ชุดอื่น ๆ ยังคงทำงานต่อไปได้อย่างอิสระ โดยเหตุผลดังกล่าวทำให้ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าบนหลังคา โดยใช้ AC-module หรือไมโครอินเวอร์เตอร์มีความนิยมมากขึ้น ในตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของไมโครอินเวอร์เตอร์จากผู้ผลิตรายต่าง ๆ จาก Siemens, Omnik และ LG พบว่า ปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาไมโครอินเวอร์เตอร์จากผู้ผลิตแต่ละรายนั้น ค่าประสิทธิภาพของการทำงาน (Efficiency) และการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (MPPT) เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตคำนึงถึงในการพัฒนาสินค้าของตัวเองเพื่อมาแข่งขันในท้องตลาดได้โดยทัดเทียมกับผู้ผลิตรายอื่น ภาพ 22 แสดงถึงการติดตั้งและการใช้งานไมโครอินเวอร์เตอร์

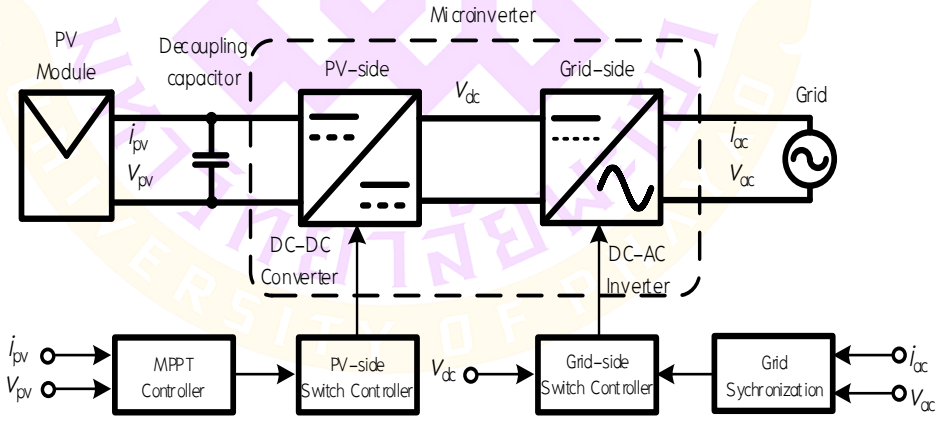
ตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบไมโครอินเวอร์เตอร์จากผู้ผลิตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปในปัจจุบัน

Parameter	Siemens	Omnik	LG
DC Operating Parameters			
MPPT voltage range	22-36V	26-40V	24-48V
Operating Range	16-36V	22-50V	22-60V
Maximum DC input voltage	45V	50V	50V
Maximum DC input current	10.5A	10A	11.5A
Independent MPPT	1 per module	1 per module	1 per module
AC Operating Parameters			
Maximum AC output Power (-40 to 65 °C)	300W	300W	300W
Output power factor	0.95	0.99	0.95
Nominal AC output voltage range	211-264V	200-280V	180-280V
Maximum AC output current	1.3A	1.11A	1.3A
Nominal AC output frequency	50Hz	50Hz	50Hz
Efficiency	95%	95,5%	95%

ภาพ 22 แสดงไมโครอินเวอร์เตอร์และการติดตั้งใช้งาน

คุณลักษณะและหลักการทำงานของไมโครอินเวอร์เตอร์

การนำเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานจำเป็นต้องทำให้แรงดันด้านออกของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าที่จุดทำงานที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเสมอ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้วงจรแปรผันกำลังไฟฟ้า (Power converter) มาต่อร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพ 23 ประกอบด้วย วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ และวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไมโครอินเวอร์เตอร์



ภาพ 23 แสดงความต้องการทั่วไปของไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

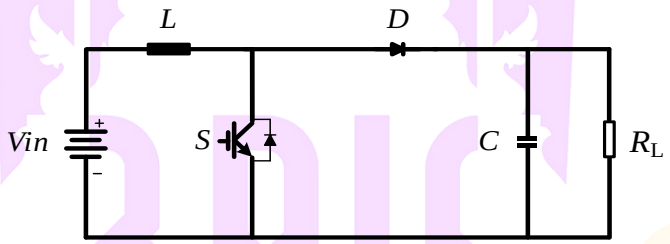
วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ จะมีอัตราขยายแรงดันค่าสูง (High step-up) ซึ่งสามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีค่าแรงดันประมาณ 15-50VDC ขึ้นไป เป็นประมาณ 400VDC ที่บัสไฟตรง (DC bus) นอกจากวงจรนี้จะทำการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นแล้ว ยังต้องมีความสามารถให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีค่าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดออกมาด้วย จากนั้นวงจรดีซีทูเอซี-อินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า (Grid) ต่อไป การควบคุมการทำงานของไมโคร-อินเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และจ่ายกลับคืนสู่สายส่งของระบบไฟฟ้า การควบคุม แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV side) และส่วนที่ต่อเข้ากับสายส่งของระบบไฟฟ้า (Grid side) ในส่วนที่ต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ระบบควบคุมจะต้องทำการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์และคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยอัลกอริทึมของการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสูด (MPPT algorithms) จากนั้นจะส่งสัญญาณไปควบคุมให้ดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ สามารถทำงานขณะที่แรงด้นด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ในขณะที่ส่วนที่ต่อกับระบบไฟฟ้านั้น ระบบควบคุมจะทำการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าและคำนวณก่อนที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมให้ดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์ทำงานสัมพันธ์กับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบไฟฟ้า (Synchronization) และจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้กลับคืนสู่ระบบไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์

ทฤษฎีและหลักการของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูง

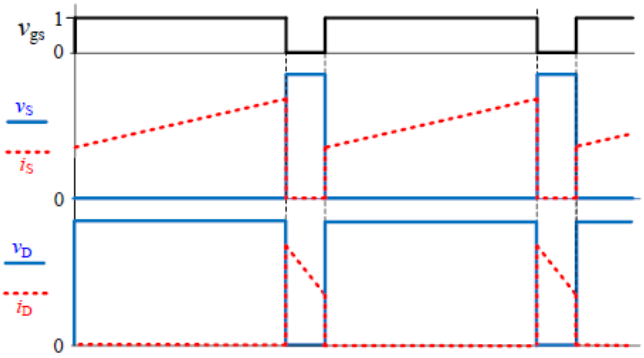
วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันในปัจจุบันถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แบบ Isolated และ Nonisolated งานวิจัยนี้จะศึกษาดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันแบบ Nonisolated ซึ่งมีข้อดีกว่าแบบ Isolated คือ ไม่ต้องใช้หม้อแปลงในการแยกส่วนไฟฟ้า จึงส่งผลให้ระบบมีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา ต้นทุนการผลิตต่ำ เหมาะสำหรับนำไปใช้กับงานเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมจากเซลล์แสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ระดับแรงดันด้านออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติจะมีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 15-50VDC แต่จะถูกยกระดับให้มีค่าสูงขึ้นประมาณ 400VDC ด้วยวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน จากนั้นวงจรดีซีทูเอซี-อินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า (Grid) ต่อไป โดยปกติวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์

ดังแสดงในภาพ 24 มักถูกนำไปใช้กับวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor correction: PFC) เนื่องจากการควบคุมการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก ภาพ 25 แสดงถึงรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์กำลังและไดโอดกำลังของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ทำงานในช่วงที่อัตราขยายแรงดันมีค่าสูง พบว่า ช่วงเวลาขณะที่สวิตช์หยุดทำงานจะมีระยะเวลาที่สั้นกว่าช่วงเวลาที่สวิตช์ทำงานอยู่ อันเนื่องมาจากค่าวัฏจักรงาน (Duty cycle) ของวงจรมีค่าสูงมากจนเกือบเท่ากับหนึ่ง เป็นผลให้อัตราการกระเพื่อมของกระแส (Current ripples) ที่ไหลผ่านสวิตช์มีค่าสูงในขณะที่อัตราการเพิ่มแรงดันมีค่าที่สูง ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะสวิตช์และไดโอดทำงาน (Conduction losses) จะมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ ค่าความเค้นของแรงดัน (Voltage stress) ของสวิตช์และไดโอดจะมีค่าสูงเท่ากับแรงดันด้านออกของวงจร ส่งผลต่อตัวสวิตช์และไดโอดที่ถูกนำมาใช้ในวงจรย่อมมีราคาที่สูงขึ้น สรุปได้ว่าวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบทั่ว ๆ ไปนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานที่ต้องการอัตราการขยายแรงดันที่มีค่าสูง ดังนั้นการใช้งานวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ธรรมดาทั่วไปนี้กับไมโครอินเวอร์เตอร์ ย่อมเป็นผลที่ไม่ดีต่อค่าประสิทธิภาพของวงจร



ภาพ 24 แสดงวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันแบบดั้งเดิม



ภาพ 25 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่สวิตช์กำลังและไดโอดกำลังของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงานในช่วงที่อัตราขยายแรงดันมีค่าสูง

หลักการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดัน จากภาพ 26 (ก) การทำงานของวงจรขณะสวิทช์นำกระแส $t_{on} = DT_S$ กระแสจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L และผ่านอุปกรณ์สวิทช์ I_S แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ V_L เท่ากับแรงดันตกคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ V_{PV} ทำให้ตัวเหนี่ยวนำประจุพลังงานไฟฟ้าในขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ พิจารณาตามกฎเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตามสมการที่ 2.2 จากภาพ 26 (ข) การทำงานของวงจรขณะสวิทช์ไม่นำกระแส $t_{off} = (1-D)T_S$ กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ I_L จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงขอบคาบเวลาในการสวิทช์ T_S ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแสทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่า $V_{PV} - V_{out}$ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ตามสมการที่ 2.3

$$-V_{PV} + V_{Lb} = 0 \tag{2.2}$$

$$V_L = V_{PV} - V_{out} \tag{2.3}$$

พิจารณา V_L ตลอดช่วงการทำงานของสวิทช์ T_S โดยนำพื้นที่ใต้กราฟรวมกันจัดสมการเท่ากับศูนย์จะได้

$$(V_{PV})t_{on} + (V_{PV} - V_{out})t_{off} = 0 \tag{2.4}$$

$$(V_{PV})(DT_s) + (V_{PV} - V_{out})(1-D)T_s = 0$$

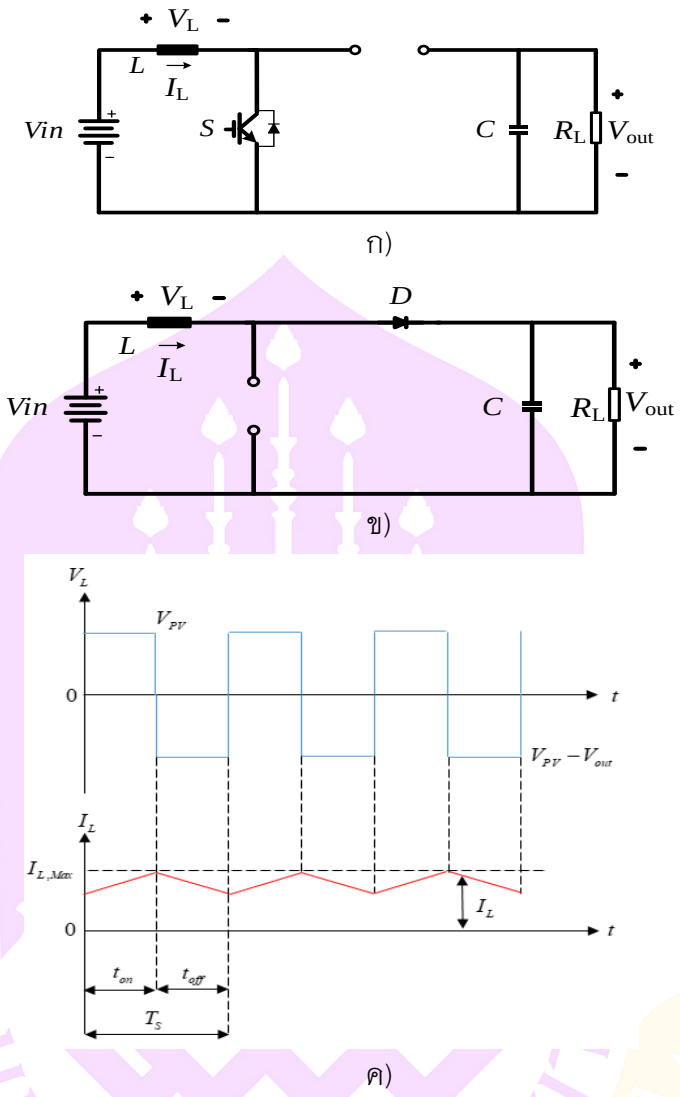
$$V_{PV} = V_{out}(1-D)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{PV}} = \frac{1}{(1-D)} \tag{2.5}$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำค่าเล็กที่สุดของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบยกระดับแรงดันสามารถเขียนได้ดังนี้

$$I_{L,\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f_s} \tag{2.6}$$

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าด้านเอาท์พุตต่อแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต สามารถหาได้จากแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละช่วงคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ และการปรับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาท์พุตสามารถทำได้โดยการปรับค่าการควบคุมวัฏจักรงาน (D) ซึ่งในขณะเดียวกันค่าตัวเหนี่ยวนำเล็กที่สุด $L_{\min}$ จะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวต้านทาน R และค่าความถี่สวิทช์ f_s



ภาพ 26 แสดงการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันแบบดั้งเดิม

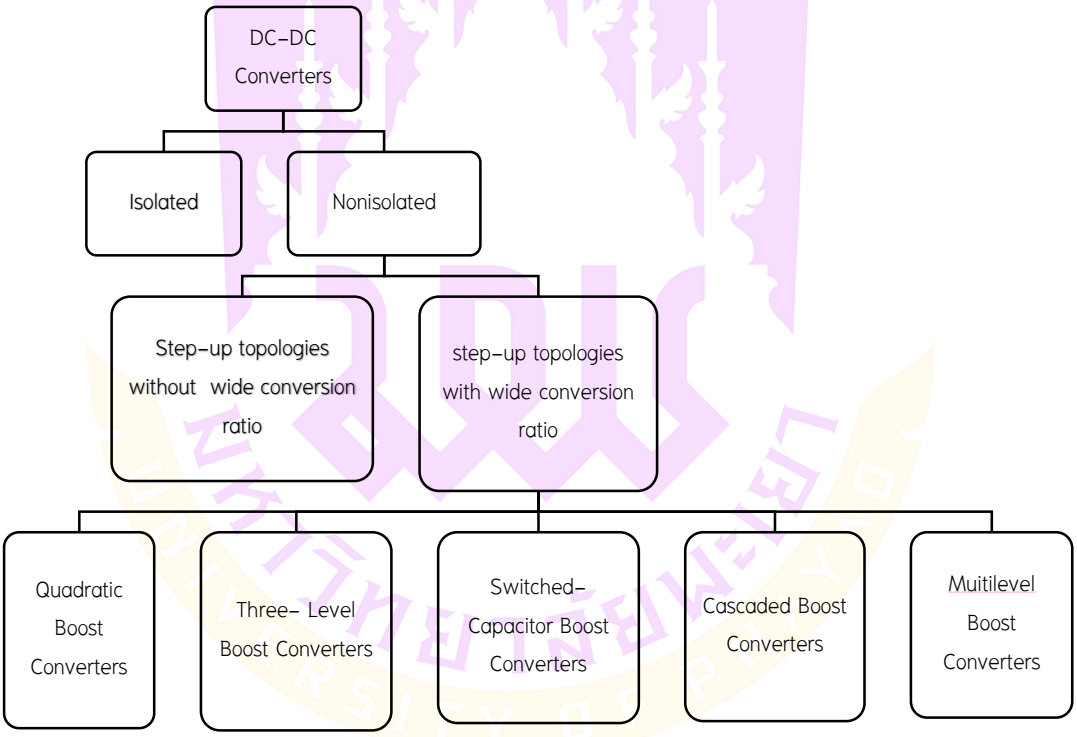
หมายเหตุ: ก) วงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

ข) วงจรดีซีทูดีซีบูสคอนเวอร์เตอร์ขณะหยุดนำกระแส

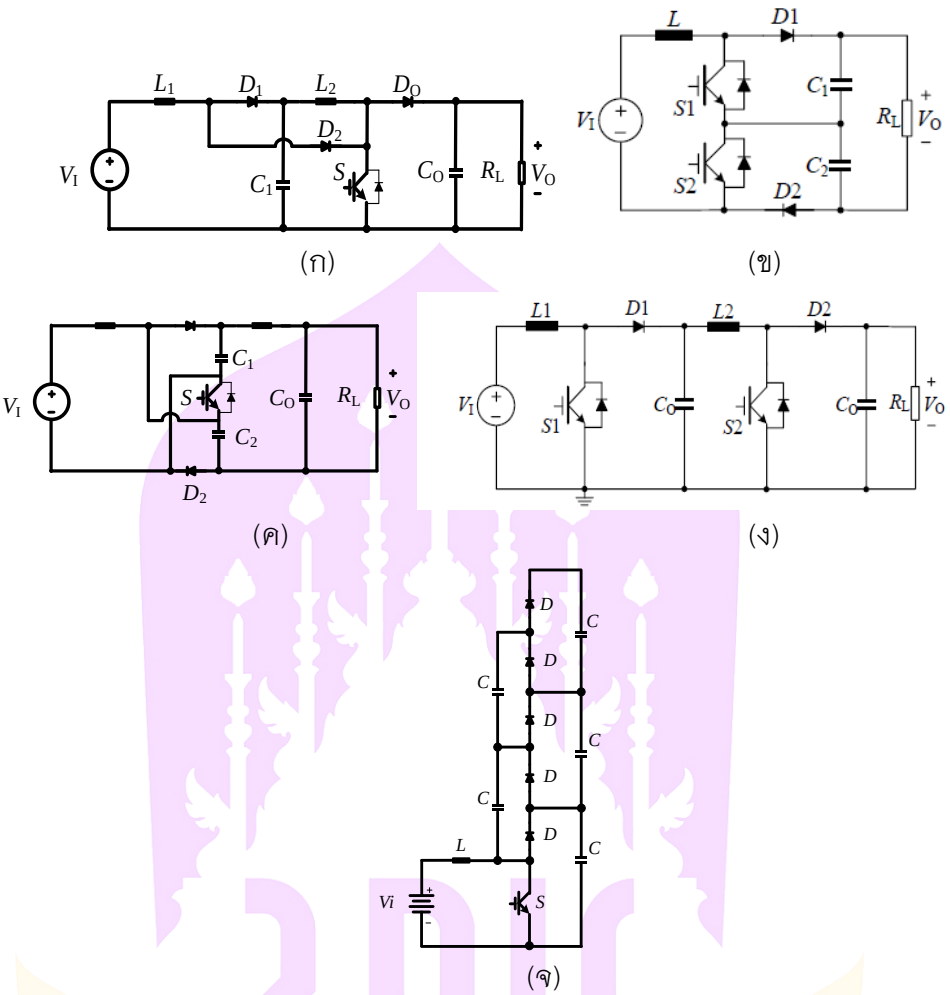
ค) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันให้มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงจากอดีตถึงปัจจุบันแบบที่นิยมใช้มีหลากหลายวิธีดังแสดงในภาพ 27 อาทิเช่น Quadratic Boost Converters [1] ดังภาพ 28 (ก) โดยการเพิ่มอินดักเตอร์และไดโอด อีก 1 ชุด ในการยกระดับแรงดัน โดยใช้สวิทช์เพียงตัวเดียว วงจร three-level boost converter [2] แสดงได้ดังภาพ 28 (ข)

อีกแนวทางในการพัฒนา คือ การนำส่วนประกอบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันมาต่อแทรกเข้าไปกับคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันชุดเดิม และควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังของทั้งสองให้เหลื่อมกันออกไป ต่อมาเป็นวงจร Switched-Capacitor Boost Converters [3] แสดงได้ดังภาพ 28 (ค) เป็นวงจรที่ทำงานบนพื้นฐานของวงจรยกระดับแรงดัน โดยมีการนำตัวเก็บประจุแทรกต่อเข้าไปในวงจรเพื่อนำแรงดันไปฝากไว้ที่ตัวเก็บประจุ วงจร Cascade boost converter [4] ดังแสดงในภาพ 28 (ง) ซึ่งเป็นการพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันโดยการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันอีกชุดมาต่อเรียงกันไปกับคอนเวอร์เตอร์ชุดเดิม และวงจร Muitilevel Boost Converters [5] ดังแสดงในภาพ 28 (จ) เป็นการฝากแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์ เพื่อช่วยในการยกระดับแรงดันให้มีค่าสูงขึ้น โดยการเพิ่มคาปาซิเตอร์และไดโอดเพิ่มในวงจร



ภาพ 27 แสดงเทคนิคการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์ชนิดต่าง ๆ ที่นิยมในปัจจุบัน



ภาพ 28 แสดงวงจรต่าง ๆ ของคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูง

หมายเหตุ: (ก) Quadratic Boost Converters (ข) Three–level boost converter (ค) Switched–Capacitor Boost Converters (ง) Cascade boost converter (จ) Muitilevel Boost Converters

โดยวงจรที่ได้กล่าวมาทั้ง 5 รูปแบบนั้น โดยสรุปได้ว่า วงจร Quadratic Boost Converters มีแรงดันเครียดที่อุปกรณ์สวิทช์สูง มีอัตราการขยายสูง มีรูปแบบวงจรและการควบไม่ซับซ้อน วงจร Three–level boost converter มีแรงดันเครียดที่อุปกรณ์สวิทช์สูง มีอัตราการขยายต่ำ รูปแบบวงจรและการควบซับซ้อน วงจร Switched–Capacitor Boost Converters มีแรงดันเครียด

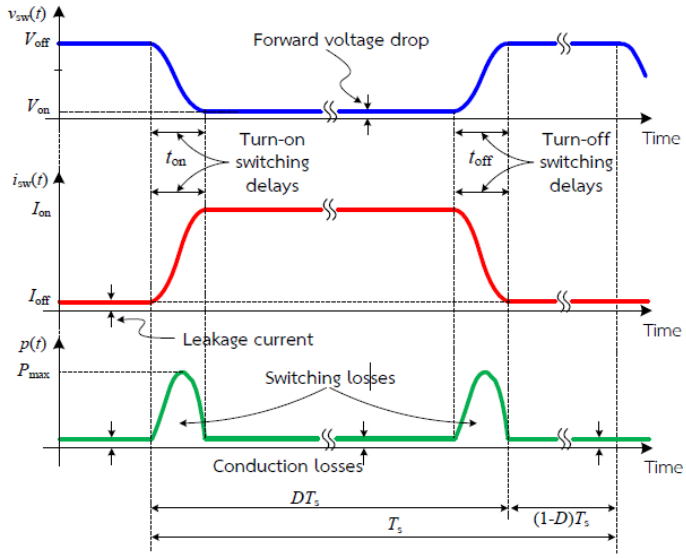
ที่อุปกรณ์สวิทช์สูง มีอัตราการขยายต่ำ รูปแบบวงจรและการควบไม่ซับซ้อน วงจร Cascade boost converter มีแรงดันเครียดที่อุปกรณ์สวิทช์สูง มีอัตราการขยายสูง รูปแบบวงจรและการควบไม่ซับซ้อน และวงจร Muitilevel Boost Converters มีแรงดันเครียดที่อุปกรณ์สวิทช์ต่ำ มีอัตราการขยายสูง รูปแบบวงจรและการควบไม่ซับซ้อน โดยสรุปได้ว่าวงจร Muitilevel Boost Converters มีข้อดีกว่าวงจรอื่น ผู้ศึกษาจึงได้เลือกใช้ในงานวิจัย

ทฤษฎีและหลักการของวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ

การสูญเสียที่อุปกรณ์สวิทช์สารกึ่งตัวนำนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ค่าความสูญเสียที่เกิดจาก**กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานภายในของ**อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Conduction Loss) ซึ่งมีค่าแปรผันตามขนาดกระแสยกกำลังสองคูณกับ**ความต้านทานภายใน**ของอุปกรณ์ โดยเป็นการเกิดจากการนำกระแสตามปกติตามภาพ 29 อีกส่วนหนึ่ง คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ ตามหลักการพื้นฐานของวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power electronics concepts) นั้น การทำงานของสวิตช์โดยทั่วไปจะถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงสถานะแบบรุนแรง (Hard-switching) ผลของการทำงานจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าความเครียดทางกระแส และแรงดันไฟฟ้าขึ้นที่ตัวสวิตช์ในขณะที่สวิตช์กำลังจะเปลี่ยนสถานะหรือกำลังจะทำงาน (turn-on) และหยุดทำงาน (turn-off) แนวทางการแก้ปัญหาโดยทั่วไปมักนิยมใช้การต่อวงจรสนับเบอร์เข้าร่วมกับวงจรกำลัง วงจรสนับเบอร์ดังกล่าวประกอบด้วย อุปกรณ์แบบพาสซีพ (Passive components) อาทิเช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นที่สวิตช์กำลังในขณะที่สวิตช์กำลังจะเปลี่ยนสถานะ (Switching condition) จะถูกถ่ายทอดมาที่วงจรสนับเบอร์แทน เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์มีค่าที่ช้าลงหรือค่อย ๆ เปลี่ยนสถานะ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวสวิตช์มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงนี้กลับไปปรากฏขึ้นที่ตัววงจรสนับเบอร์แทน ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรไม่ได้มีค่าสูงขึ้นแต่อย่างไร เป็นเพียงลดค่าสูญเสียและค่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่สวิตช์กำลังของวงจรลงเท่านั้นเอง

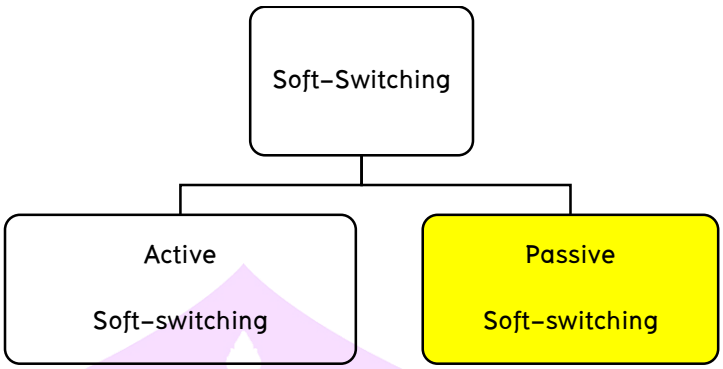
อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบของวงจรกำลังให้สามารถทำงานที่ความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้นได้โดยค่าประสิทธิภาพยังคงเป็นปกติ โดยอาศัยหลักการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสถานะของสวิตช์กำลังในวงจรให้มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่ไม่ชนหรือซ้อนทับกัน ดังแสดงในภาพ 29 โดยการทำให้แรงดันที่สวิตช์มีค่าเป็นศูนย์ก่อนที่กระแสจะเริ่มไหลผ่านสวิตช์ เรียกว่า การเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ที่แรงดันเป็นศูนย์

(Zero-Voltage-Switching: ZVS) และการทำให้กระแสที่สวิตช์หยุดไหลหรือมีค่าเป็นศูนย์ก่อนที่สวิตช์จะหยุดทำงาน และแรงดันคร่อมสวิตช์เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น เรียกว่า การเปลี่ยนสถานะของสวิตช์ที่กระแสเป็นศูนย์ (Zero-Current-Switching: ZCS) ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นได้โดยผลของสภาวะเรโซแนนซ์ (Resonant effects) ที่มาจากวงจร LC resonant network ลักษณะดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงสถานะแบบนุ่มนวล (Soft-switching) วงจรกำลังที่ถูกพัฒนาปรับปรุงให้มีการเปลี่ยนสถานะที่นุ่มนวลจึงถูกเรียกใหม่ว่า Soft-switching converters สิ่งหนึ่งที่สังเกตได้คือ ผลของวงจรเรโซแนนซ์ที่ต่อร่วมเข้าไปในวงจรกำลังนั้น จะไม่ส่งผลต่อการทำงานพื้นฐานของวงจรกำลังนั้น ๆ เช่น วงจรกำลังนั้นทำหน้าที่ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟตรง (dc-dc boost converter) เมื่อมีการพัฒนาวงจรให้ทำงานแบบนุ่มนวลโดยใช้วงจรเรโซแนนซ์ต่อเพิ่มเข้าไป วงจรที่ถูกพัฒนาขึ้นก็ยังคงทำงานอยู่บนพื้นฐานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันไฟตรง ไม่เปลี่ยนไปเป็นอย่างอื่น



ภาพ 29 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์อันเนื่องมาจากการสวิตช์ที่นุ่มนวล

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ได้พัฒนาวงจรกำลังให้ทำงานบนพื้นฐานของ Soft-switching มากมายหลากหลาย โดยสรุปเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาทั้งหมดนี้ เพื่อทำให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวสวิตช์กำลังของวงจร และทำให้แรงดันและกระแสที่สวิตช์กำลังมีการเปลี่ยนแปลงสถานะแบบนุ่มนวล



ภาพ 30 แสดงเทคนิคการเปลี่ยนสถานะของสวิทช์แบบนุ่มนวลชนิดต่าง ๆ

จากภาพ 30 วงจรสนับเบอร์ถูกแบ่งออกเป็นสองแบบด้วยกัน คือ สนับเบอร์แบบแอคทีฟ และสนับเบอร์แบบพาสซีฟ งานวิจัยในปัจจุบันจะมีการเลือกใช้ทั้งสองแบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และการนำไปใช้งานของแต่ละวงจร วงจรสนับเบอร์ทั้งสองแบบจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยอธิบายได้ดังนี้ คือ วงจรสนับเบอร์แบบแอคทีฟ ประกอบด้วย ทรานซีสเตอร์หรืออุปกรณ์สวิทช์แอคทัฟ ลักษณะวงจรและการควบคุมมีความซับซ้อน วงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ ประกอบด้วย อุปกรณ์พาสซีฟ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ไดโอด ลักษณะของวงจรไม่มีความซับซ้อน และไม่มีการควบคุมเพิ่มใด ๆ

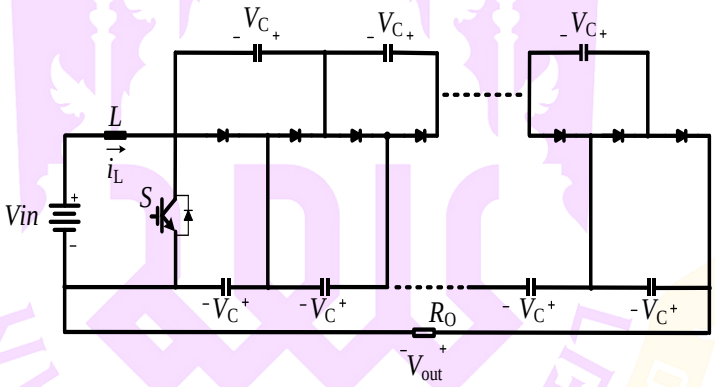
การติดตั้งเครือข่ายสนับเบอร์ในวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดัน ผู้ศึกษาได้ทำการทดสอบวงจรเพื่อหาประสิทธิภาพ โดยใช้การจำลองในโปรแกรม PSIM ทั้ง 12 รูปแบบที่ขนาดของโหลดมีค่าเท่ากันเพื่อเลือกวงจรสนับเบอร์ โดยเริ่มจาก Brian and Milan (2002) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 98.08% Nakamura and Shimada (2001) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 96.55% Hyung-Jin, Yoo-Chae and Chang-Hyeon (2014) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 96.46% Haci and Huseyin (2013) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 96.2% Hongyang and Xiangning (2002) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 88.83% Ching-Jung, Tseng and Chern-Lin (1998) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 88.75% Mark and Keyue (2001) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 88.67% Matsumoto and Neba (2001) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 88.31% Mark and Keyue (2001) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 88.04% Doo-Yong and Young-Hyok (2011) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 87.46% Chen and Tseng (1998) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 86.76% และ Hiroshi and Kenichiro (1997) ได้ประสิทธิภาพของวงจรที่ 80.39% จากผลการจำลองหาประสิทธิภาพของวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟทั้งหมดนั้น Brian and Milan ให้ประสิทธิภาพของวงจรสูงที่สุด ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้ในงานวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบยกระดับแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง

หลักการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง จากภาพ 31 เป็นวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีพื้นฐานของวงจรแบบมีอุปกรณ์สวิทช์ 1 ตัว มีจำนวนไดโอดและคาปาซิเตอร์ เท่ากับ $2N-1$ โดยวงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยการเพิ่มจำนวนไดโอดและคาปาซิเตอร์เข้าไปในวงจรหลัก สังเกตุได้ว่าวงจรส่วนล่างจะเป็นวงจรบูสคอนเวอรเตอร์แบบดั้งเดิม อัตราการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็นไปตามสมการที่ 3.1 โดย V_{in} คือ แรงดันอินพุต V_{out} คือ แรงดันเอาท์พุต N คือ จำนวนเท่าของอัตราการขยายและ D คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล



ภาพ 31 แสดงวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N}{1-D} \tag{3.1}$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอินดักเตอร์ i_L สามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 โดย V_C คือแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ R_O คือ ค่าความต้านทานเอาท์พุต

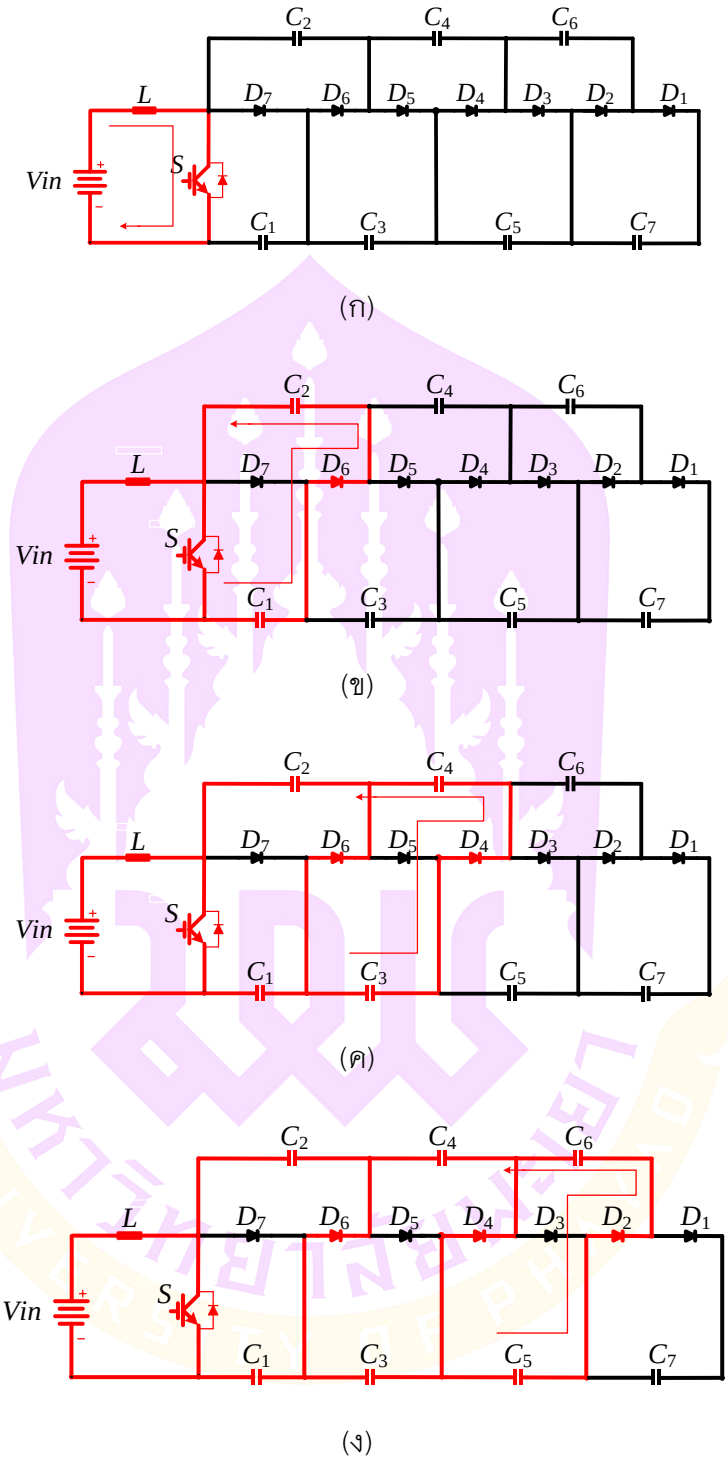
$$i_L = \frac{V_C}{V_{in}} \frac{N^2 V_C}{R_O} = \frac{N^2 V_C}{(1-D)R_O} \tag{3.2}$$

การหาค่าอินดักเตอร์ L และคาปาซิเตอร์ C ของวงจรสามารถใช้วิธีการหาจากวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิม ที่แสดงในสมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4 โดยที่ Δ_{V_o} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมด้านเอาท์พุทและ f_S คือ ความถี่สวิทช์

$$L = \frac{D \cdot (1-D)^2 R_O}{2 f_S} \tag{3.3}$$

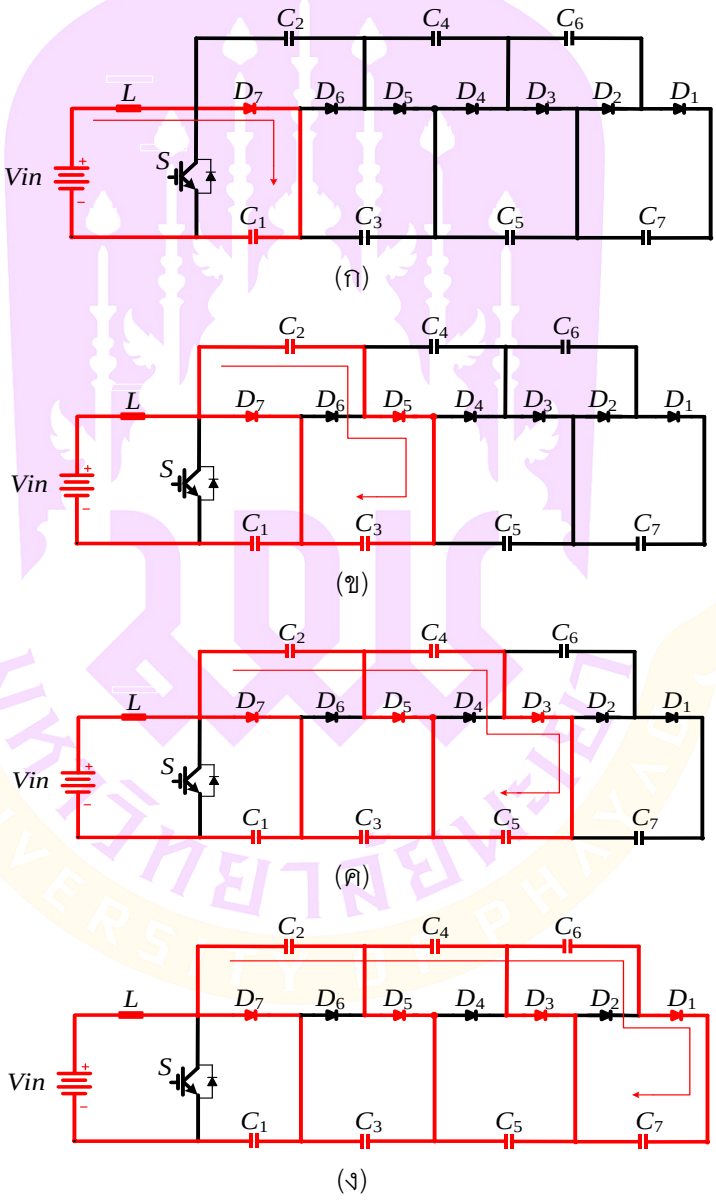
$$C = \frac{D}{R_O \Delta_{V_o} f_S} \tag{3.4}$$

การทำงานเป็นการฝากแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์ที่ขั้นถัดไปเป็นทอด ๆ ซึ่งอธิบายได้เป็นสองช่วงเวลา คือ ช่วงสวิทช์ปิดและช่วงสวิทช์เปิด โดยแบ่งอธิบายในช่วงเวลาสวิทช์ปิด ดังนี้ จากภาพ 32 (ก) กระแสจาก Vin ไหลผ่านอินดักเตอร์และสวิทช์ครบวงจร ในช่วงเวลานี้อินดักเตอร์สะสมพลังงาน จากภาพ 32 (ข) พลังงานที่สะสมใน C_1 ถ่ายเทผ่าน D_6 ไปฝากที่ C_2 จากภาพ 32 (ค) พลังงานที่สะสมใน C_3 ถ่ายเทผ่าน D_4 ไปฝากที่ C_4 และ C_2 จากภาพ 32 (ง) พลังงานที่สะสมใน C_5 ถ่ายเทผ่าน D_2 ไปฝากที่ C_6, C_4 และ C_2



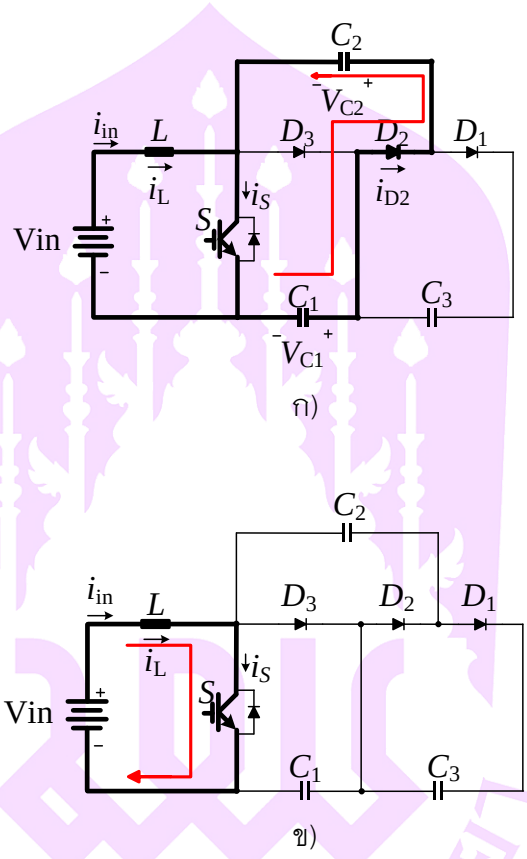
ภาพ 32 แสดงวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง ทำงานช่วงสวิทช์ปิด

ในช่วงสวิทช์เปิด *Vin* และพลังงานที่สะสมในอินดักเตอร์ไปฝากพลังงานที่ C_1 ผ่าน D_7 ตามภาพ 33 (ก) ต่อจากนั้น *Vin* พลังงานที่สะสมในอินดักเตอร์และพลังงานที่สะสมใน C_2 ถูกถ่ายเทผ่าน D_5 ไปฝากแรงดันที่ C_3 และ C_1 ตามภาพ 33 (ข) ต่อจากนั้น *Vin* พลังงานที่สะสมในอินดักเตอร์และพลังงานที่สะสมใน C_2 และ C_4 ถูกถ่ายเทผ่าน D_3 ไปฝากแรงดันที่ C_5, C_3 และ C_1 ตามภาพ 33 (ค) ต่อจากนั้น *Vin* พลังงานที่สะสมในอินดักเตอร์และพลังงานที่สะสมใน C_2, C_4 และ C_6 ถูกถ่ายเทผ่าน D_1 ไปฝากแรงดันที่ C_7, C_5, C_3 และ C_1 ตามภาพ 33 (ง)



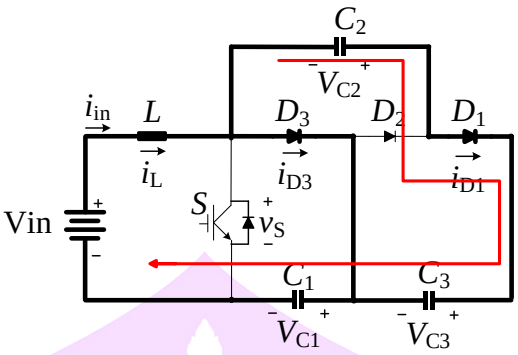
ภาพ 33 แสดงวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง ทำงานช่วงสวิทช์เปิด

การทำงานของวงจรสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วงคือช่วงสวิทช์ปิดและช่วงสวิทช์เปิด โดยอธิบายได้ดังนี้ ช่วงระหว่างสวิทช์ปิด อินดักเตอร์ L ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_{in} ตามภาพ 34 (ก) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2 น้อยกว่า C_1 ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ C_1 ถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยัง C_2 ผ่าน D_2 และสวิทช์ S ตามภาพ 34 (ข)

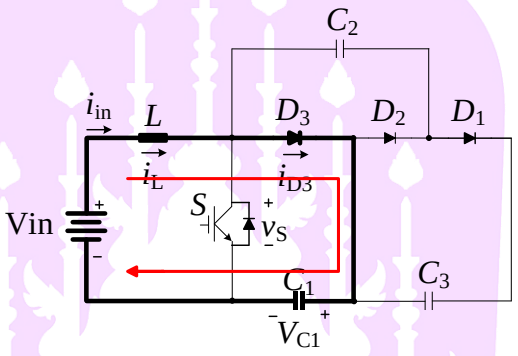


ภาพ 34 แสดงการทำงานของวงจรขณะสวิทช์ปิด

ช่วงระหว่างสวิทช์เปิด แรงดันไฟฟ้าที่ C_2 และ V_{in} รวมกับแรงดันไฟฟ้าที่อินดักเตอร์ ประจุไปยัง C_1 และ C_3 ผ่าน D_1 ตามภาพ 35 (ก) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ C_3 และ C_2 มีค่าใกล้เคียงกัน กระแสที่อินดักเตอร์ I_L ไหลผ่าน D_3 เพื่อประจุแรงดันไฟฟ้าที่ C_1 ตามภาพ 35 (ข)



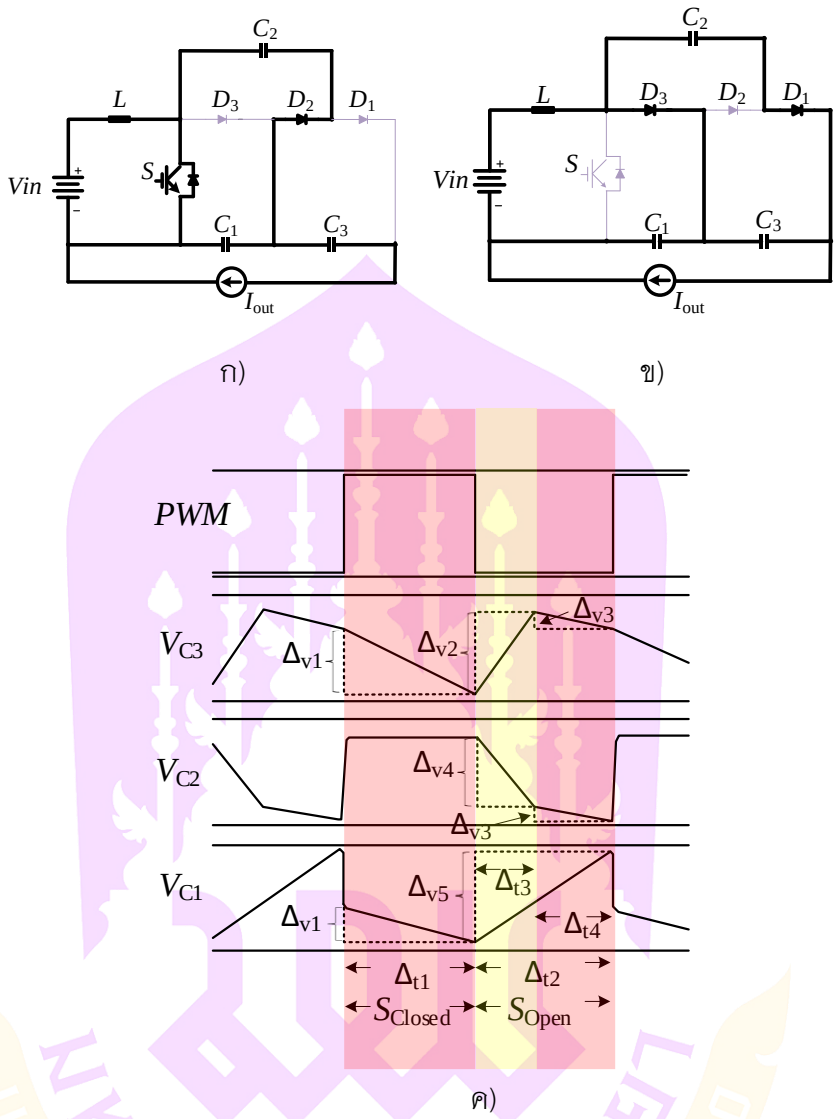
ก)



ข)

ภาพ 35 แสดงการทำงานของวงจรขณะสวิทช์เปิด

พิจารณาแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3 และ I_{out} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด จากการทำงานของวงจรที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 0.5 จากภาพ 36 (ก) และ 36 (ข) คือรูปการทำงานของวงจรต่อร่วมกับโหลด ขณะสวิทช์เปิด-ปิด ภาพ 36 (ค) คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3 ในช่วงเวลาสวิทช์ปิด Δ_{t1} คาปาซิเตอร์ C_1 ถ่ายเทประจุไปยัง C_2 และคาปาซิเตอร์ C_1 และC_3 จ่ายไปยังโหลดที่แรงดัน Δ_{V1} ตามสมการที่ 2.11



ภาพ 36 แสดงวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กรณี N เท่ากับ 3

หมายเหตุ: วงจร MBC ขณะสวิทช์ปิด

วงจร MBC ขณะสวิทช์เปิด

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3

ในช่วงเวลาสวิทช์เปิด Δ_{t2} ถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงเวลาคือ Δ_{t3} และ Δ_{t4} โดยในช่วงเวลา Δ_{t3} คาปาซิเตอร์ C_2 ถ่ายเทประจุไปยัง C_3 และ C_1 โดยแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2

เท่ากับสมการที่ 3.5 ส่วนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_3 เท่ากับสมการที่ 3.6 โดยในช่วงเวลานี้ C_1 ยังถูกคงประจุด้วย $I_L - I_{out}$ เมื่อพิจารณาด้วย KCL

$$\Delta_{V1} = \frac{1}{c_1} I_{out} \Delta_{t1} = \frac{1}{c_2} I_{out} \Delta_{t1} \tag{3.5}$$

$$\Delta_{V4} = \frac{1}{c_2} I_L \Delta_{t3} \tag{3.6}$$

$$\Delta_{V2} = \frac{1}{c_2} \left(I_L - I_{out} \right) \Delta_{t3} \tag{3.7}$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2 และ C_3 ในช่วงเวลา Δ_{t4} สามารถหาได้จาก

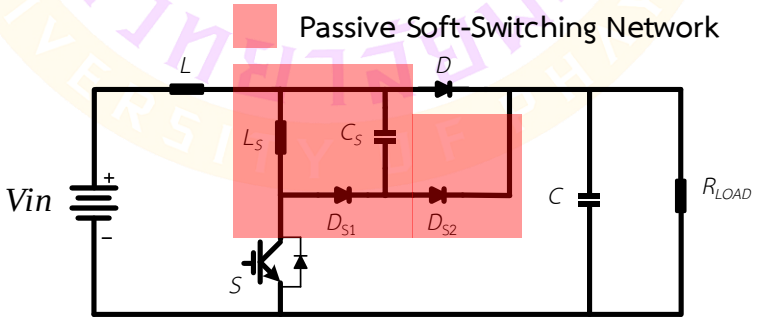
$$\Delta_{V3} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{I_{out}}{2} \right) \Delta_{t4} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{I_{out}}{2} \right) \Delta_{t4} \tag{3.8}$$

และ Δ_{t5} สามารถหาได้จาก

$$\Delta_{V5} = \frac{1}{c_1} \left(I_L - I_{out} \right) \Delta_{t2} = \frac{1}{c_1} \left(I_L - I_{out} \right) \left(\Delta_{t3} + \Delta_{t4} \right) \tag{3.9}$$

วงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ

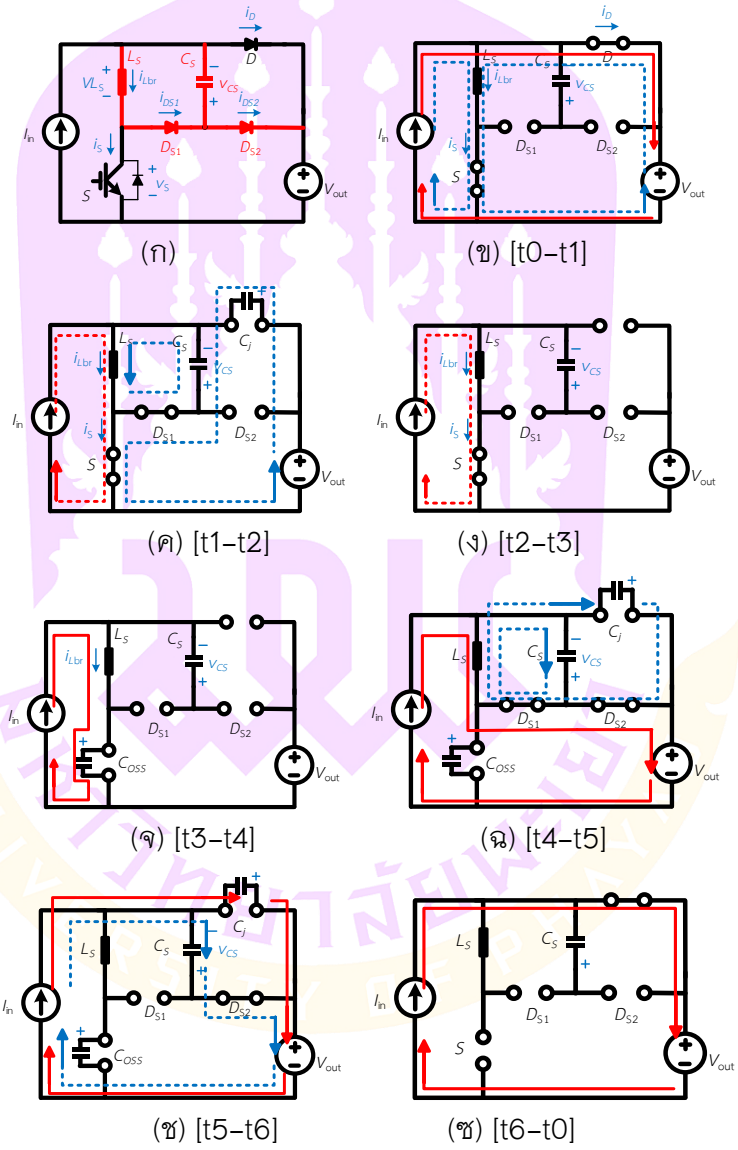
วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบยกระดับแรงดันที่มีการติดตั้งวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟที่เลือกใช้แสดงตามภาพ 37 ในส่วนของสนับเบอร์แบบพาสซีฟนั้นประกอบไปด้วยอินดักเตอร์สนับเบอร์ L_S ทำหน้าที่ชะลอกระแสที่ไหลผ่านสวิทช์ทำให้สวิทช์เกิด Soft Turn on ต่อมาคือคาปาซิเตอร์สนับเบอร์ C_S ทำหน้าที่รับพลังงานที่ถูกถ่ายเทจากอินดักเตอร์สนับเบอร์ L_S ขณะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์และไดโอด D_{S1} และ D_{S2} ทำหน้าที่ตัดการทำงานของสภาวะเรโซแนนส์และถ่ายโอนพลังงานจาก L_S และ C_S คืนสู่โหลด



ภาพ 37 แสดงการติดตั้งเครือข่ายสนับเบอร์ในวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดัน

ขั้นตอนการทำงานของพาสซีฟสนับเบอร์ตามภาพ 38 จะเลือกอธิบายแค่วงจรสนับเบอร์ ซึ่งจะแสดงเป็นรูปคลื่นตามภาพ 39 โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงสวิทช์นำกระแส และช่วงสวิทช์หยุดนำกระแส

จากวงจรกำหนดให้ V_{in} และ L เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่ I_{in} และกำหนดให้ C และ R_{LOAD} เป็นแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ V_{out} โดยพิจารณาให้ไดโอด D_{S1} และ D_{S2} เป็นแบบอุดมคติ



ภาพ 38 แสดงการทำงานของวงจรพาสซีฟสนับเบอร์

ช่วงสวิทช์นำกระแส จากภาพ 38 (ก) ไดโอด D นำกระแส I_D เมื่อ I_D มีค่าเท่ากับ I_{in} กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและสวิทช์ I_{LS} จะเท่ากับศูนย์ ทำให้สนับเอร์ไดโอด D_1 และ D_2 หยุดนำกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุสนับเบอร์เท่ากับศูนย์ซึ่งในสภาวะนี้เป็นการรีเซ็ตสนับเบอร์

ช่วง t0–t1 จากภาพ 38 (ข) สวิทช์ปิดวงจร แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ V_{LS} และสวิทช์ Vs จะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต V_{out} ทำให้กระแสที่ไหลผ่านไดโอด I_D เริ่มหยุดไหลในอัตราส่วน $-\frac{V_{out}}{L_S}$ โดยกระแสจะเริ่มไหลผ่านสวิทช์ I_S ในอัตราส่วน $\frac{V_{out}}{L_S}$

ช่วง t1–t2 จากภาพ 38 (ค) ไดโอดสนับเบอร์ D_{S1} นำกระแสส่งผลให้เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ระหว่าง L_S และ C_S จากสมการ 3.10 และสภาวะเรโซแนนซ์จะสิ้นสุดลงเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C_S เท่ากับ $I_{RR}\sqrt{\frac{L_S}{C_S}}$ โดย I_{RR} คือ ค่ากระแส reverse-recovery ทำให้ D_{S1} หยุดนำกระแส ส่วนกระแส I_{LS} , I_S และ I_{in} จะมีค่าเท่ากัน

$$V_{CS} = \sin(\omega o \cdot t)\sqrt{\frac{L_S}{C_S}} \tag{3.10}$$

ช่วง t2–t3 จากภาพ 38 (ง) กระแส I_{LS} และ I_{in} จะมีค่าเท่ากัน และ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C_S เท่ากับ $I_{RR}\sqrt{\frac{L_S}{C_S}}$ ช่วงเวลานี้จะสิ้นสุดลงเมื่อสวิทช์หยุดนำกระแส

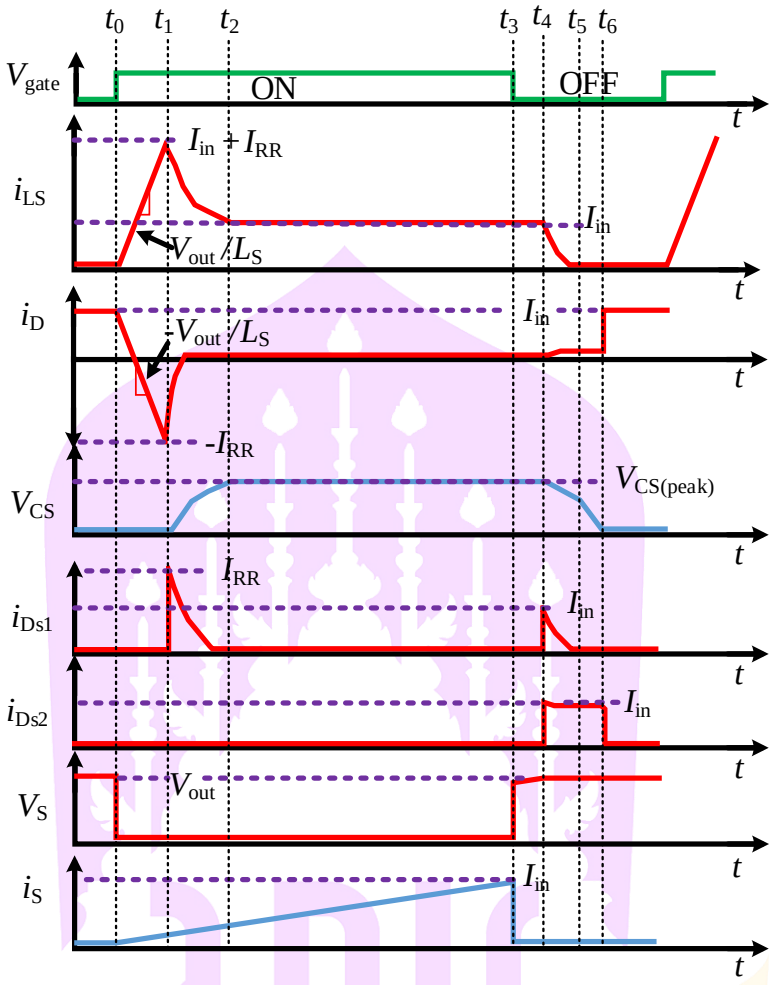
ช่วง t3–t4 จากภาพ 38 (จ) เมื่อสวิทช์หยุดนำกระแส แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C_S เท่ากับ $I_{RR}\sqrt{\frac{L_S}{C_S}}$ โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสวิทช์ V_S จะเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ V_{out} ที่เวลา t4

ช่วง t4–t5 จากภาพ 38 (ฉ) เมื่อ V_S เท่ากับ V_{out} ทำให้ไดโอดสนับเบอร์ D_{S1} และ D_{S2} นำกระแสเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ ตามสมการที่ 3.11 ช่วงเวลานี้จะสิ้นสุดลงเมื่อ I_{LS} เป็นศูนย์

$$I_{LS} = I_{in} - \frac{V_{Cs}}{\sqrt{L_S/C_S}}\sin(\omega o \cdot t) - I_{in} - I_{RR}\sin(\omega o \cdot t) \tag{3.11}$$

ช่วง t5–t6 จากภาพ 38 (ช) แรงดัน V_{CS} จะถูกถ่ายโอนไปยัง V_{out} ผ่าน D_{S2} และเมื่อเวลา t6 แรงดันที่ตกคร่อม V_{CS} เท่ากับศูนย์ D_{S2} หยุดนำกระแส

ช่วง t6–t0 จากภาพ 38 (ซ) ไดโอด D นำกระแสพลังงานที่สะสมใน L_S และ C_S จะถูกปลดปล่อยทั้งหมดเป็นการรีเซ็ตสนับเบอร์เพื่อที่จะเริ่มการนำกระแสของสวิตช์ในครั้งต่อไป



ภาพ 39 แสดงรูปคลื่นการทำงานของวงจรพาสซีฟสนับเบอร์

การออกแบบอุปกรณ์พาสซีฟเพื่อให้แน่ใจว่าการเปลี่ยนสถานะของสวิตช์จะเป็นแบบนุ่มนวล เพื่อลดการสูญเสียของสวิตช์ในทุกโหมดการทำงาน โดยการออกแบบ L_S จะออกแบบให้มีขนาดเล็กพอที่จะจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์ ในขณะที่ C_S จะออกแบบให้มีขนาดใหญ่พอในการจัดเก็บพลังงานของวงจรในแต่ละรอบการทำงานและควบคุมพลังงานเรโซแนนซ์แต่มีขนาดเล็กพอที่จะควบคุมการเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของสวิทช์แบบนุ่มนวลโดยสมบูรณ์

ตัวเหนี่ยวนำสนับเบอร์ L_S จากสมการที่ 3.12 กำหนดโดยพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของ I_{DS1} ของไดโอดในช่วงเวลา t1–t2

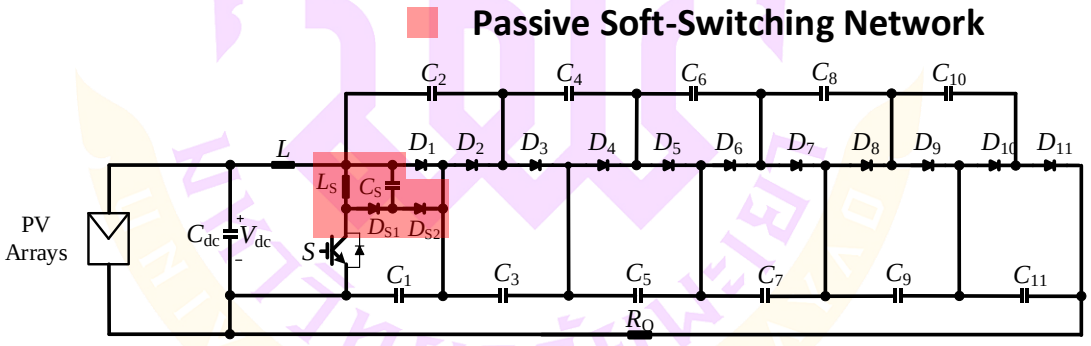
$$L_S \geq \frac{V_{in}}{d_{iL} / dt} - V_C \qquad (3.12)$$

คาปาซิเตอร์สนับเบอร์ C_S จากสมการที่ 3.13 เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานจะอยู่ในเงื่อนไขการสวิทช์แบบนุ่มนวล ตัวเก็บประจุแบบเรโซแนนซ์ C_S จะต้องได้รับการออกแบบให้ V_{CS} เป็นศูนย์ในเวลา *t6* ได้อย่างสมบูรณ์ ตัวเก็บประจุนี้ทำหน้าที่จำกัด อัตราการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าสวิตช์หลัก เมื่อหยุดนำกระแส โดยตัวเก็บประจุจะต้องมีลักษณะการทำงานที่ความถี่สูง ค่า *ESR* ต่ำเนื่องจากความถี่เรโซแนนซ์สูงกว่าความถี่สวิตช์ โดย C_S สามารถกำหนดได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_S \geq \frac{i_L}{d_{VC} / dt} \tag{3.13}$$

วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบยกระดับแรงดันที่มีอัตราการขยายสูงติดตั้งวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้จึงได้นำวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบยกระดับแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง พัฒนาโดย Rosas–Caro และคณะ และวงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟ พัฒนาโดย Brian และคณะ นำมารวมกัน ตามภาพ 40 คือ วงจรสนับเบอร์แบบพาสซีฟติดตั้งในวงจรยกระดับแรงดันที่นำเสนอ จากตาราง 3 คือ ค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำเอามาใช้ในการจำลอง



ภาพ 40 แสดงวงจรพาสซีฟสนับเบอร์ติดตั้งในวงจรยกระดับแรงดันที่นำเสนอ

ตาราง 3 แสดงพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์		ค่าพารามิเตอร์
Maximum Power	$P_{\max}$	340W
Power Tolerance		±3%
Maximum Power Voltage	V_{mp}	38V
Maximum Power Current	I_{mp}	8.99A
Open Circuit Voltage	V_{OC}	47.43V
Short Circuit Current	I_{SC}	9.89A
Maximum System Voltage		1000VDC

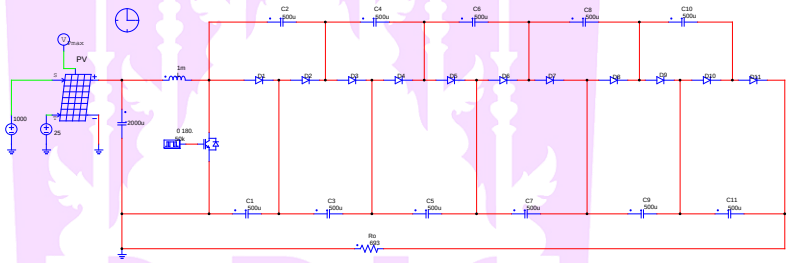
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะเป็นการทดลองวงจรต้นแบบ โดยเป็นการทดลองวงจร MBC และส่วนฟาสซีพสนับเบอร์เพื่อลดค่าสูญเสียสวิทช์ ซึ่งเป็นการจำลองในโปรแกรม PSIM

การจำลองเพิ่มระดับแรงดันวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายค่าสูง

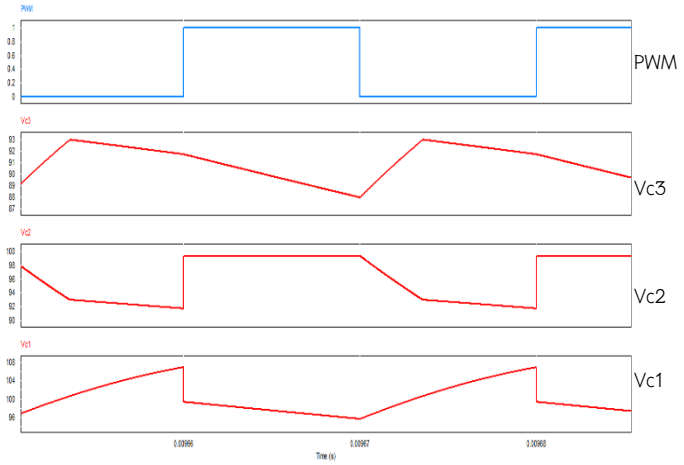
การจำลองวงจรเพื่อเพิ่มระดับแรงดันทำการจำลองวงจรตามภาพ 41 โดยใช้โปรแกรม PSIM โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ตามตาราง 4



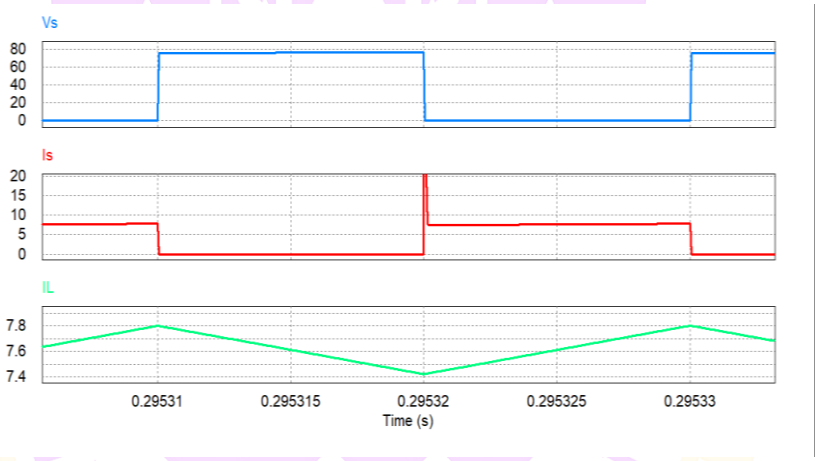
ภาพ 41 แสดงวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงจำลองในโปรแกรม PSIM

ตาราง 4 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

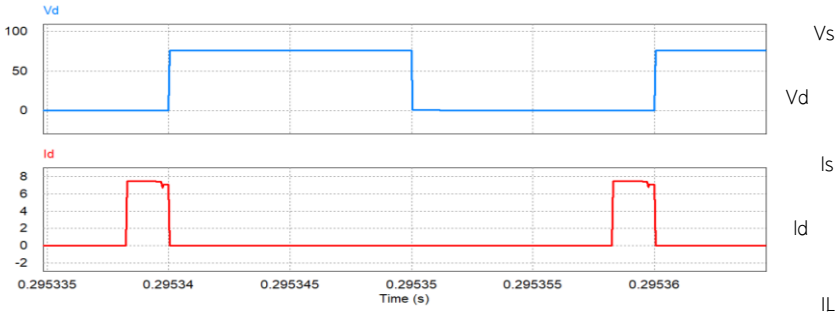
พารามิเตอร์		**ค่าพารามิเตอร์**
Input voltage	V_{in}	38 V
DC bus voltage	V_{out}	> 400 V
Output power	P_{out}	300 W
Switching frequency	f_S	50kHz
Inductor	L	1 mH
Capacitors	$C_1 - C_{11}$	5 nF
Irradain	S	1000W/m²



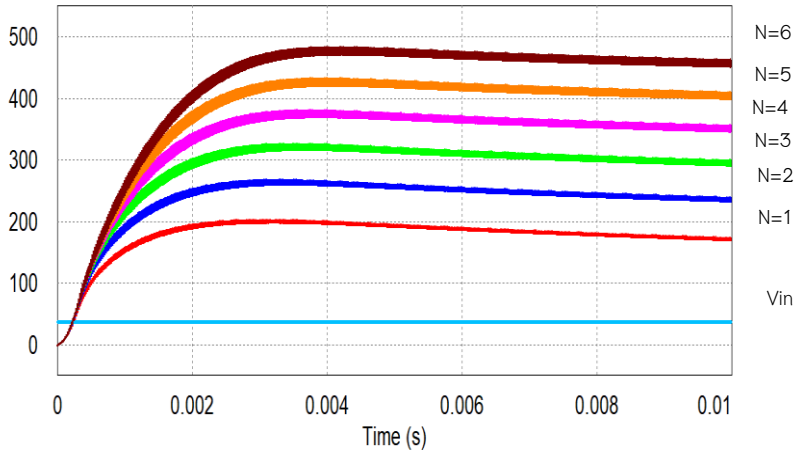
ภาพ 42 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vc1, Vc2, Vc3



ภาพ 43 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vs กระแส Is และกระแส IL



ภาพ 44 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vd และกระแส Id ของไดโอดหลัก

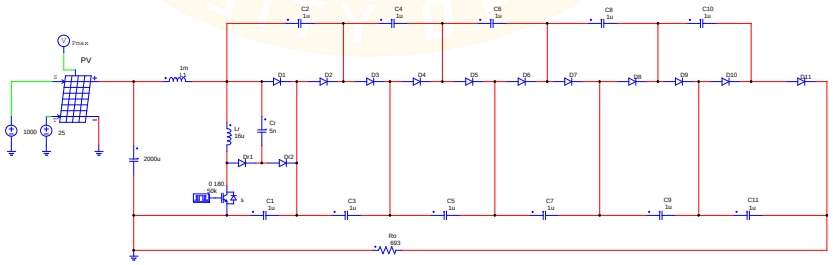


ภาพ 45 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vo ในแต่ละ N step

จากภาพ 42 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ Vc1 Vc2 และ Vc3 ซึ่งตรงตามทฤษฎีของภาพ 36 (ค) ภาพ 43 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อุปกร์สวิทช์ V_S และ I_S และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L ในภาพ 44 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ไดโอดหลัก V_d และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดหลัก I_d และภาพ 45 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตในแต่ละขั้นของการเพิ่มแรงดัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ N = 6 มีค่าแรงดันที่มากกว่า 400VDC ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการที่ดีซีบัส

การจำลองวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายค่าสูงแบบติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์

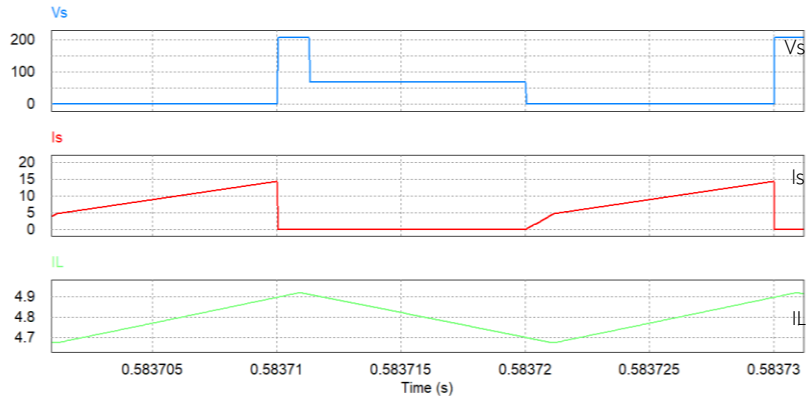
การจำลองวงจรเพื่อเพิ่มระดับแรงดันและการเกิด Soft Switching จากการติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับบเบอร์ ทำการจำลองวงจรตามภาพ 46 โดยใช้โปรแกรม PSIM ใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตาราง 5



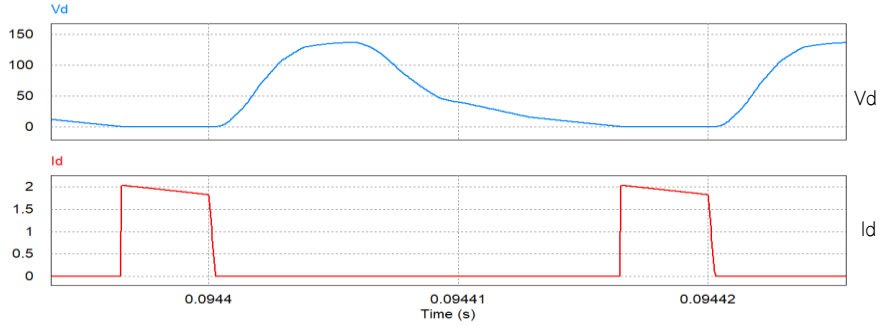
ภาพ 46 แสดงวงจรเพิ่มแรงดันอัตราขยายค่าสูงแบบติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์จำลองในโปรแกรม PSIM

ตาราง 5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

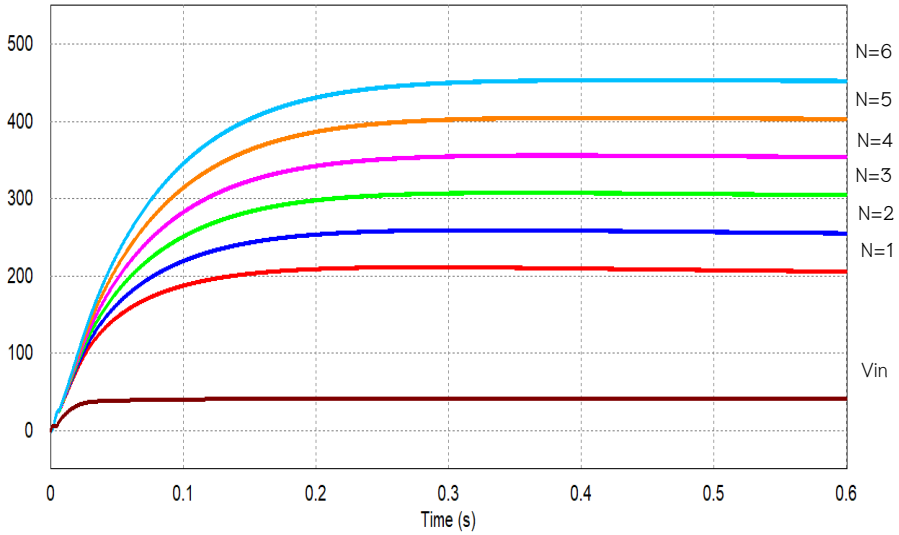
พารามิเตอร์		ค่าพารามิเตอร์
Input voltage	V_{in}	38 V
DC bus voltage	V_{out}	> 400 V
Output power	P_{out}	300 W
Switching frequency	f_S	50kHz
Inductor	L	1 mH
Capacitors	$C_1 - C_{11}$	1 uF
Snubber Inductor	L_S	16 uH



ภาพ 47 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vs กระแส Is และกระแส IL



ภาพ 48 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vd และกระแส Id ของไดโอดหลัก

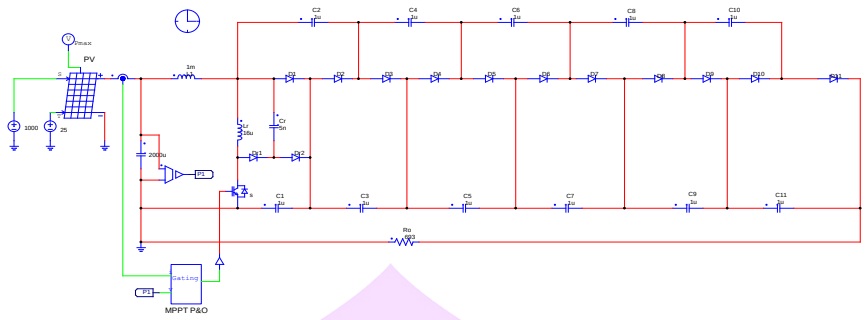


ภาพ 49 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vo ในแต่ละ N step

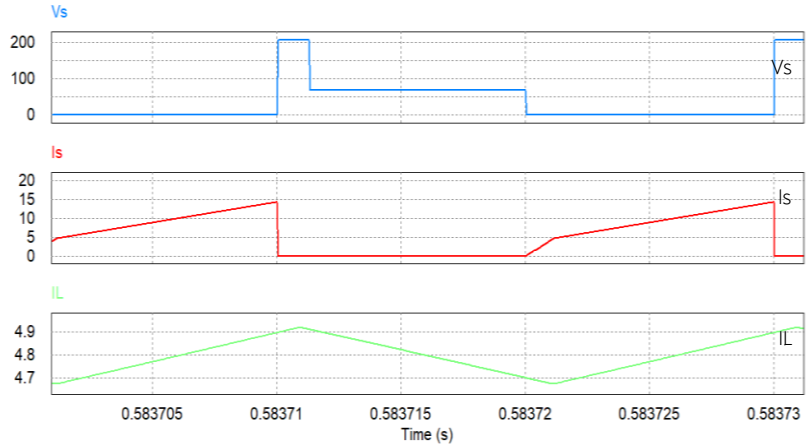
จากภาพ 47 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อุปกร์สวิทช์ V_S และ I_S และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L ในภาพ 48 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ไดโอดหลัก V_d และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดหลัก I_d และภาพ 49 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตในแต่ละขั้นของการเพิ่มแรงดัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ N = 6 มีค่าแรงดันที่มากกว่า 400VDC ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการที่ดีซีบัส โดยในภาพ 47 และภาพ 48 จะเห็นได้ว่าเกิดการ Soft Switching ที่สวิทช์หลักและไดโอดหลักของวงจร

การจำลองวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายค่าสูงแบบติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์แบบลูปปิดโดยใช้ MPPT แบบ P&O

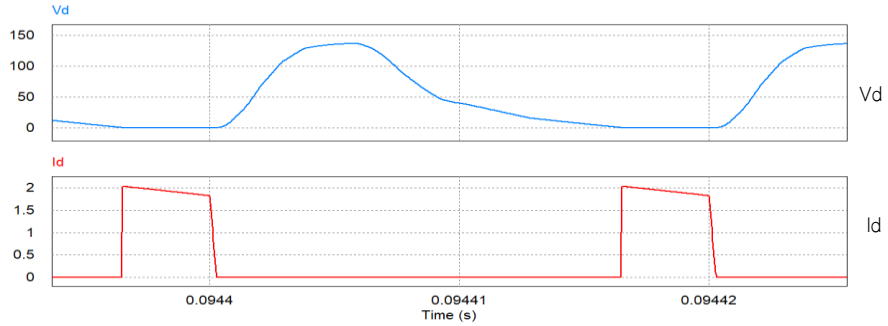
การจำลองวงจรเพื่อเพิ่มระดับแรงดันและการเกิด Soft Switching จากการติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับบเบอร์ พร้อมทั้งการติดตั้ง MPPT เพื่อจำลองวงจรให้สามารถติดตามกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการจำลองวงจรตามภาพ 50 โดยใช้โปรแกรม PSIM ใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตาราง 5



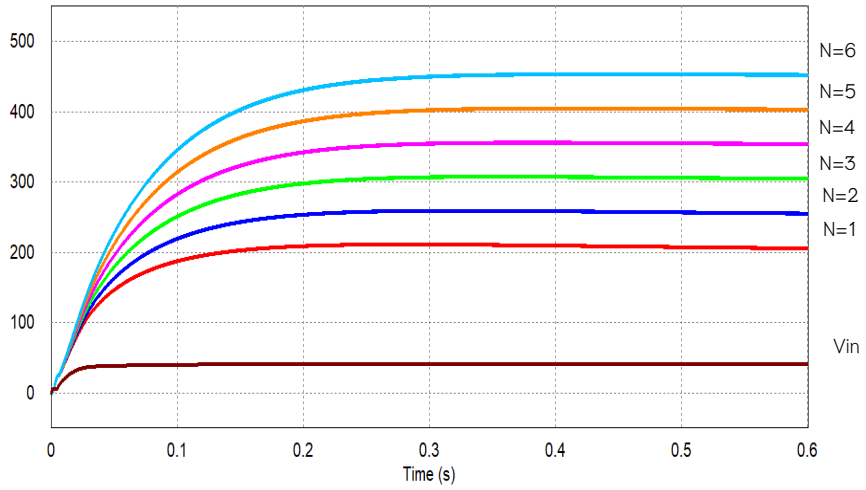
ภาพ 50 แสดงวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงแบบลูปปิดโดยใช้ MPPT แบบ P&O จำลองในโปรแกรม PSIM



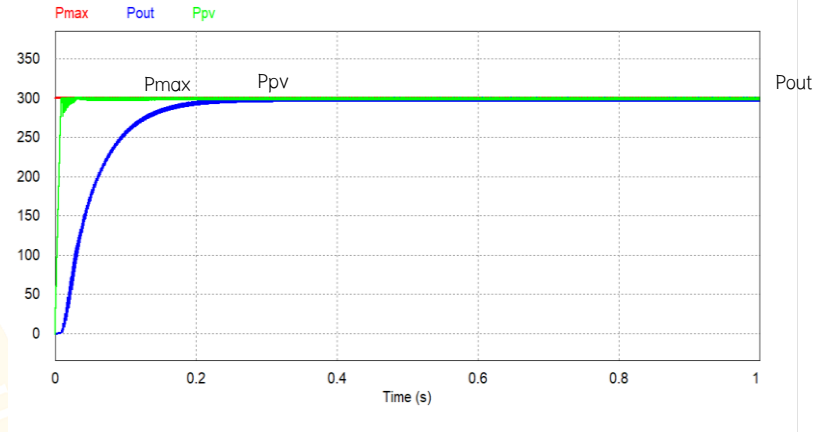
ภาพ 51 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vs กระแส Is และกระแส IL



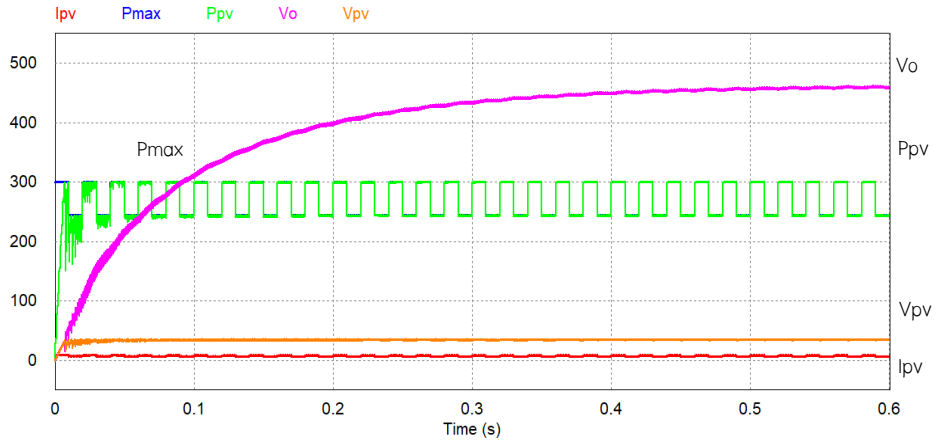
ภาพ 52 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vd และกระแส Id ของไดโอดหลัก



ภาพ 53 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vo ในแต่ละ N step



ภาพ 54 แสดงรูปคลื่นกำลังไฟฟ้า Pout ที่มีการติดตามกำลังสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์

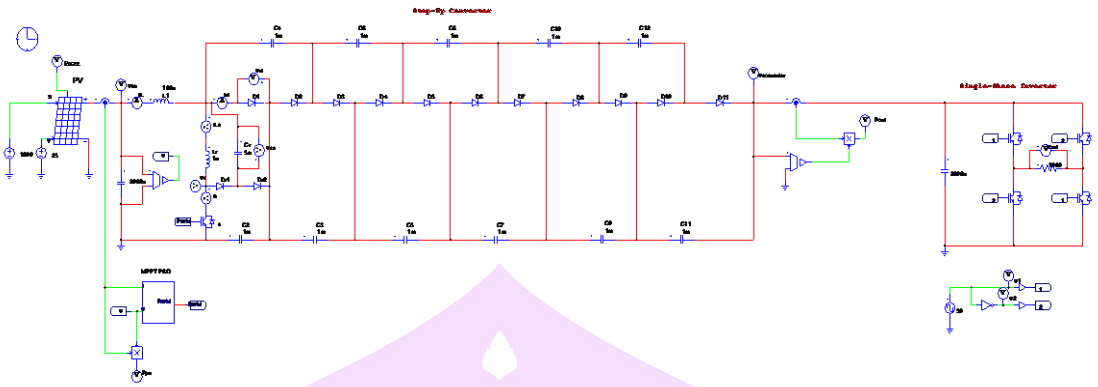


ภาพ 55 แสดงรูปคลื่นกำลังไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงโดยมีการติดตามกำลังสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์

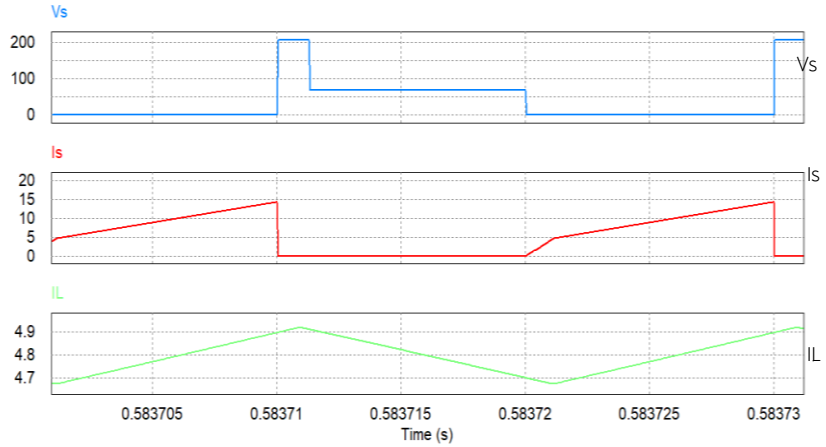
จากภาพ 51 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อุปกร์สวิทช์ V_S และ I_S และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L ในภาพ 52 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ไดโอดหลัก V_d และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดหลัก I_d และภาพ 53 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตในแต่ละขั้นของการเพิ่มแรงดัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ N = 6 มีค่าแรงดันที่มากกว่า 400VDC ภาพ 54 รูปคลื่นกำลังไฟฟ้าที่มีการติดตามกำลังสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ ภาพ 55 รูปคลื่นกำลังไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง โดยมีการติดตามกำลังสูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ โดยแรงดันเอาท์พุตที่ N = 6 มีค่ามากกว่า 400VDC เป็นค่าที่ต้องการที่ดีซีบัส เกิด Soft Switching ที่สวิทช์หลักและไดโอดหลักของวงจรและคอนเวอร์เตอร์สามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา

การจำลองวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายค่าสูงแบบติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์ทำงานร่วมกับวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์

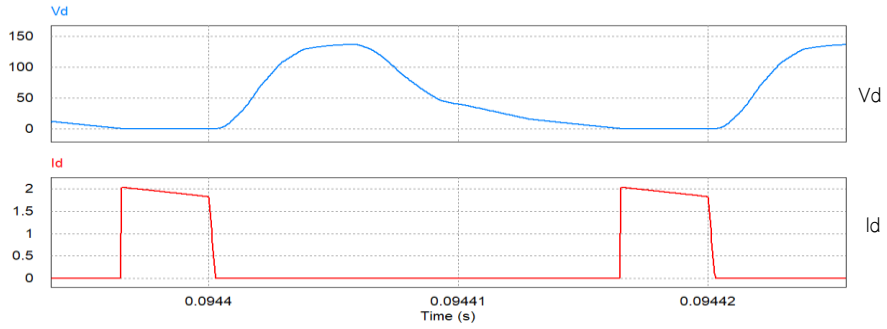
ภาพ 56 เป็นการจำลองการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายค่าสูงติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์ โดยให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีการยกระดับเข้าสู่วงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ



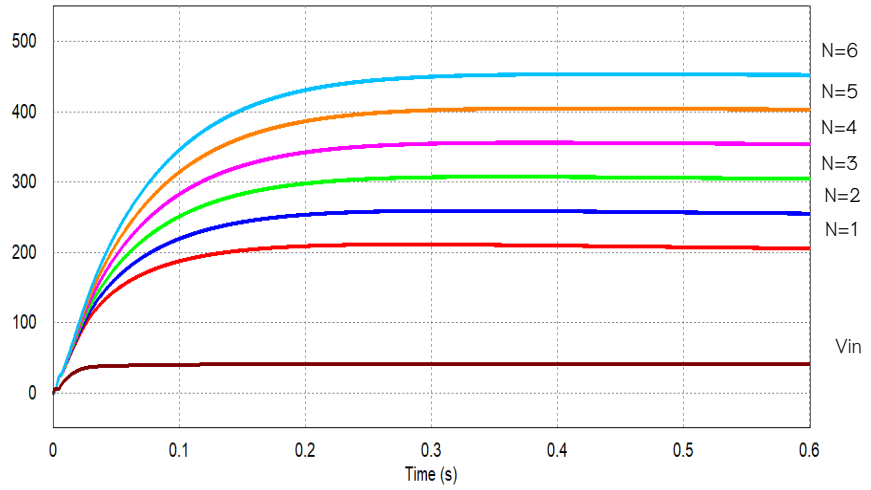
ภาพ 56 แสดงวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงแบบลูปปิดติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์ทำงานร่วมกับวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์



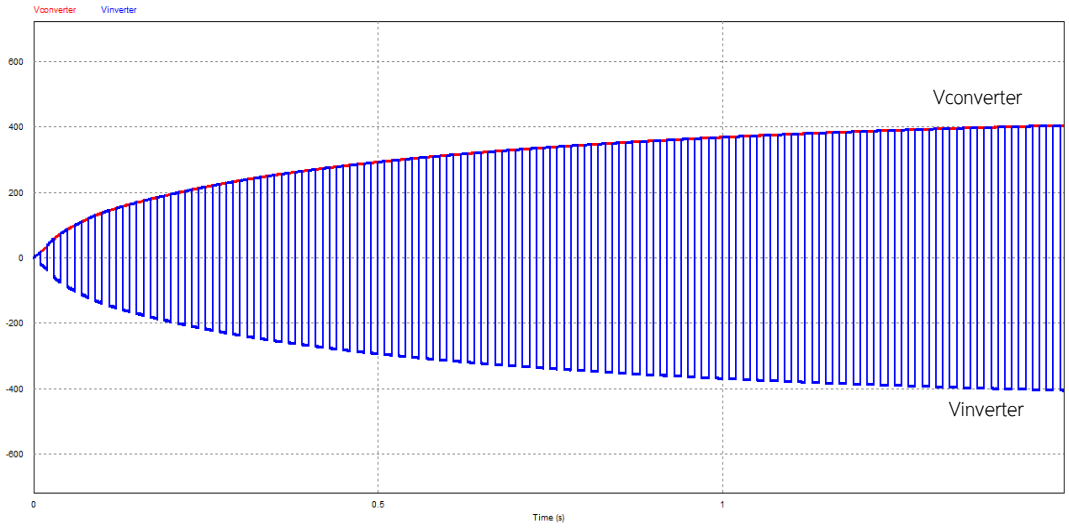
ภาพ 57 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vs กระแส Is และกระแส IL



ภาพ 58 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vd และกระแส Id ของไดโอดหลัก



ภาพ 59 แสดงรูปคลื่นแรงดัน Vo ในแต่ละ N step



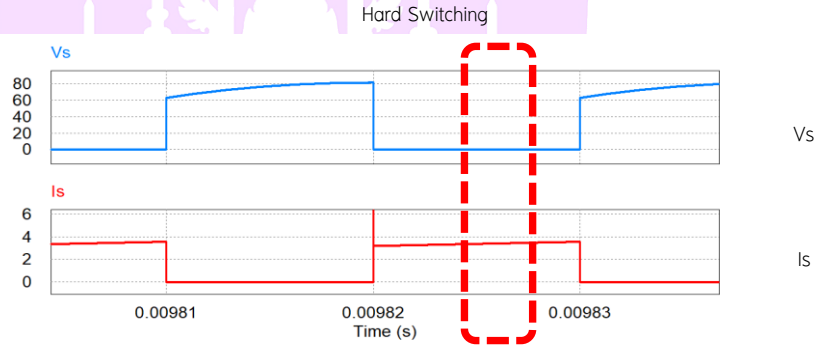
ภาพ 60 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ Vconverter . และแรงดันเอาท์พุตของวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์ Vinverter

จากภาพ 57 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่อุปกรณ์สวิทช์ V_S และ I_S และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ I_L ในภาพ 58 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่ไดโอดหลัก V_d และกระแสที่ไหลผ่านไดโอดหลัก I_d ภาพ 59 แสดงรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุตในแต่ละขั้นของการเพิ่มแรงดัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ N = 6 มีค่าแรงดันที่มากกว่า 400VDC ภาพ 60 รูปคลื่นแรงดัน

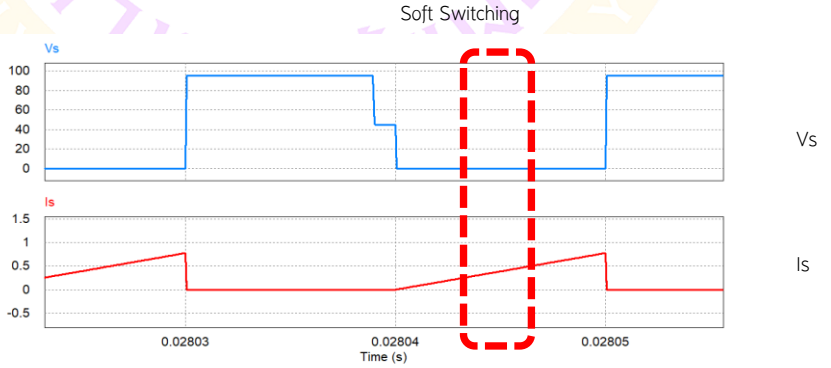
เอาท์พุตของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ Vconverter และแรงดันเอาท์พุตของวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์ Vinverter เมื่อมีการต่อวงจรให้ทำงานร่วมกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างติดตั้งและไม่ติดตั้งวงจรพาสซีฟสนับเบอร์

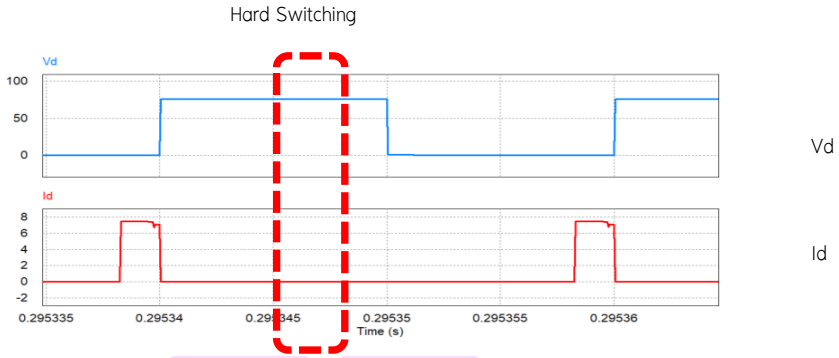
ภาพ 61 และภาพ 62 แสดงการเปรียบเทียบการเกิด Soft Switching ที่อุปกรณ์สวิทช์หลัก และภาพ 63 และภาพ 64 แสดงการเปรียบเทียบการเกิด Soft Switching ที่อุปกรณ์ไดโอดหลัก ภาพ 65 แสดงประสิทธิภาพของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูง พร้อมติดตั้งวงจรฟาสซีพสนับเบอร์ที่นำเสนอทำงานที่ความถี่สวิทช์ 50kHz และ 100kHz และเปรียบเทียบกับวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายสูงที่ไม่มีการติดตั้งวงจรฟาสซีพสนับเบอร์



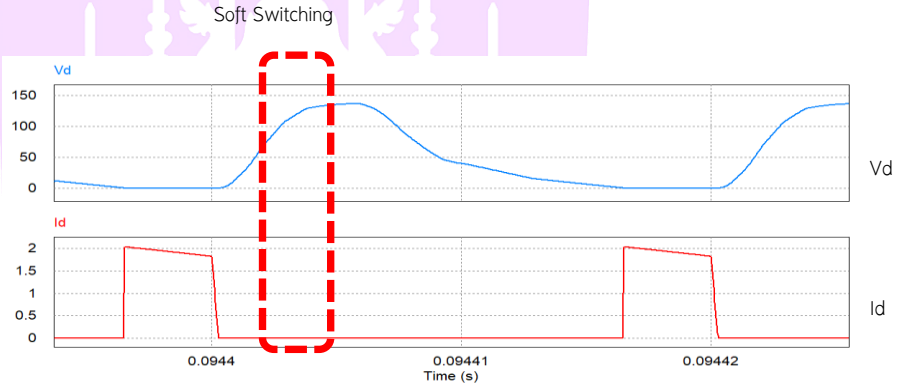
ภาพ 61 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสสวิทช์ของวงจรไม่ต่อร่วมกับพาสซีฟสนับเบอร์



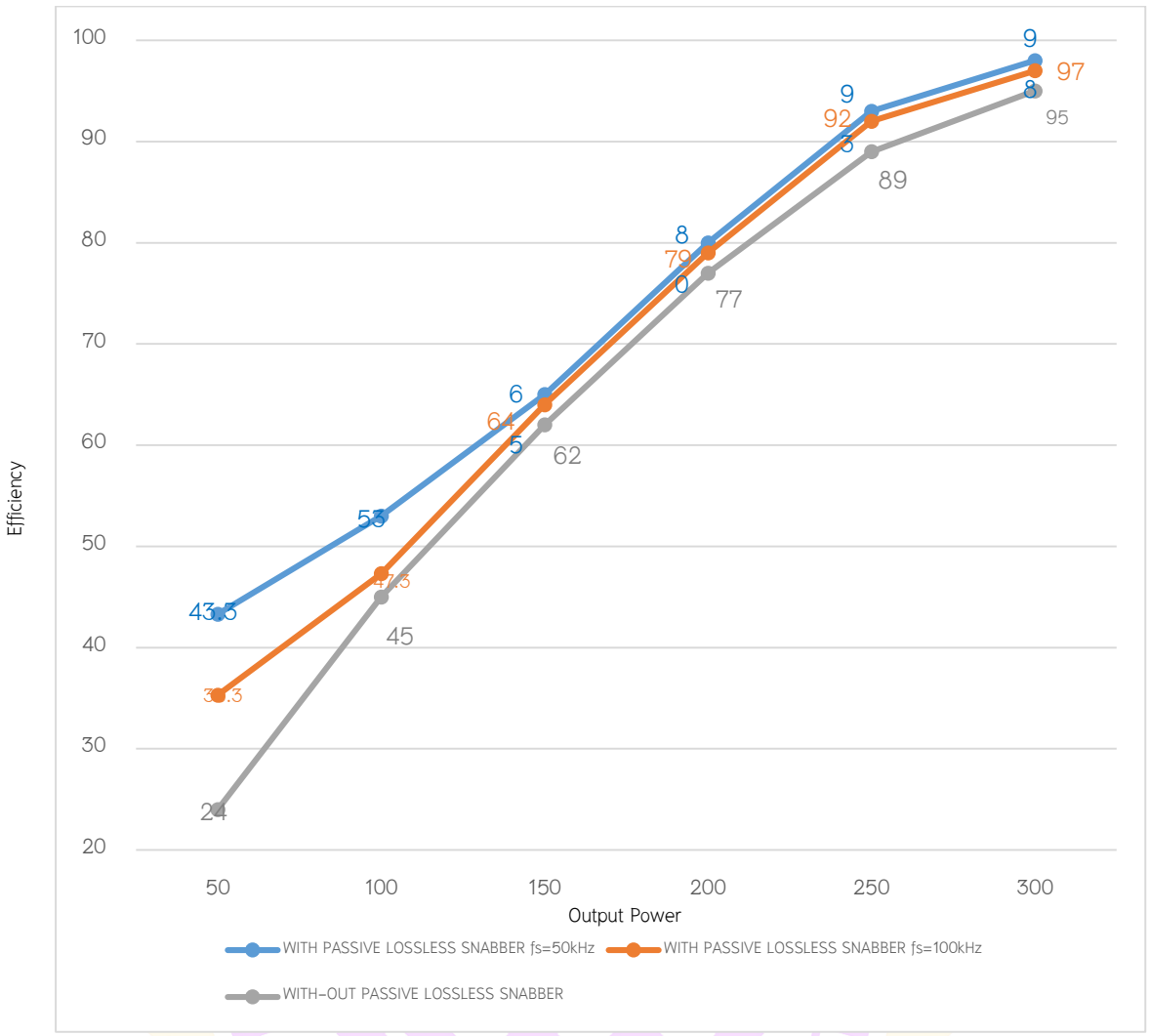
ภาพ 62 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสสวิทช์ของวงจรต่อร่วมกับพาสซีฟสนับเบอร์



ภาพ 63 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสไดโอดหลักของวงจรไม่ต่อร่วมกับพาสซีฟสนับเบอร์



ภาพ 64 แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสไดโอดหลักของวงจรต่อร่วมกับพาสซีฟสนับเบอร์



ภาพ 65 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงระหว่างใส่และไม่ใส่วงจรฟาสซีพสนับเบอร์

จากภาพ 62 และภาพ 64 แสดงให้เห็นว่าเกิดการ Soft Switch ที่สวิทช์หลักและไดโอดหลักของวงจรที่มีการติดตั้งพาสซีฟสนับเบอร์ ซึ่งเป็นการลดการเกิดค่าสูญเสียจากการสวิทช์ได้ และภาพ 65 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงที่นำเสนอดีกว่าวงจรเพิ่มแรงดันที่อัตราขยายค่าสูงแบบ Hard Switching โดยจากการจำลองจะเห็นได้ว่า เทคนิคพาสซีฟสนับเบอร์ ที่เสนอสามารถลดการสูญเสียจากการสวิทช์และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรได้

บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันให้มีประสิทธิภาพสูงที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูง สำหรับการใช้งานกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมโยงเข้ากริดของการไฟฟ้า (Grid–connected PV Systems)

การออกแบบและพัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันจากการจำลองวงจรสามารถทำงานได้ดีขณะที่อัตราการขยายแรงดันมีค่าสูงโดยที่ค่าประสิทธิภาพของวงจรไม่ได้ลดค่าลง

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้เนื่องจากการสวิทช์โดยใช้เทคนิคการสวิตช์แบบนุ่มนวลจากการเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ของวงจรสนับเบอร์แบบฟาสซีฟโดยไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

บรรณานุกรม

Axelrod, B., Berkovich, Y. and Ioinovici, A. (2003). Transformerless dc–dc converters with a very high dc line–to–load voltage ratio. In **Int. Symp. on Circuits and Systems** (pp. 435–438).

Brian T. I. and Milan, M. J. (2002). Analysis, Design, and Performance Evaluation of Flying–Capacitor Passive Lossless Snubber Applied to PFC Boost Converter. In **Power Electronics Conf.** (pp. 503–508).

Chen, C. L. and Tseng, C. J. (1998). Passive Lossless Snubbers for DC/DC Converters. **IEE Proc.–Circuits. Devices Svst.,** 145(6), 396–401

Ching–Jung, T. and Chern–Lin, C. (1998). A Passive Lossless Snubber Cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS,** 45(4), 593–601.

Doo–Yong, J. and Young–Hyok, J. (2011). Interleaved Soft–Switching Boost Converter for Photovoltaic Power–Generation System. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS,** 26(4), 1137–1145.

Figueiredo, J. P. M., Tofoli, F. L. and Alves, R. L. (2011). Comparison of nonisolated dc–dc converters from the efficiency point of view. In **Brazilian Power Electronics Conference** (pp. 14–19). Natal: Brazil.

Haci, B. and Huseyin, Y. (2013). An Improved Lossless Passive Snubber Cell for PFC. In **IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems.**

Hiroshi, N. and Kenichiro, F. (1997). A Loss–less Passive Snubber for Soft–Switching Boast–tylpe Converters. In **IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems** (pp. 793–796).

Hongyang, W. and Xiangning, H. (2002)0. A Novel Single Phase Three–level Power Factor Correction with Passive Lossless Snubber.' Proc. In I**EEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems** (pp. 968–974).

Huber, L. and Jovanovic, M. M. (2000). A design approach for server power supplies for networking applications'. Proc. In **IEEE Applied Power Electronics Conf. and Exposition** (pp. 1163–1169).

Hyung–Jin, C., Yoo–Chae, C. and Chang–Hyeon, S. (2014). Passive Snubber for Reducing Switching–Power Losses of an IGBT in a DC–DC Boost Converter. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS,** 29(12), pp. 6332–6341

Lin, B.–R. and Hsin–Hung, L. (1999). Single–phase three–level PWM rectifier. In **IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems** (pp. 63–68).

Matsumoto, H. and Neba, Y. (2001). Sinusoidal Input DCM Boost Rectifier with Lossless Snubber Topology. In **IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems.**

Nakamura, M. and Shimada, M. (2001). Performance Evaluations on Soft–Switching Boost Power Converter with a Single Auxiliary Passive Resonant Snubber. In **IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems** (pp. 1057–1062).

Rosas–Caro, J. C., Ramirez, J. M. and Peng, F. Z. (2010). A Valderrabano. A DC–DC multilevel boost converter. **IET Power Electron.,** 3(1), pp. 129–137.

Smith, K. M. and Smedley, K. M. (2001). Engineering Design of Lossless Passive Soft Switching Methods for PWM Converters—Part I: With Minimum Voltage Stress Circuit Cells. **IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS,** 16(3), pp. 336–344.

อภิธานศัพท์

สัญลักษณ์		หน่วย
v_{PV}	แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์	(V)
i_{PV}	กระแสไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์	(A)
R_s	ค่าความต้านทานที่เกิดจากการต่อสายที่ขั้ว	(Ω)
R_{sh}	ความต้านทานภายในที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำ	(Ω)
Tk	อุณหภูมิสัมบูรณ์	(K)
f_s	ค่าความถี่สวิทช์	(Hz)
V_{in}	แรงดันอินพุต	(V)
V_{out}	แรงดันเอาท์พุต	(V)
N	จำนวนเท่าของอัตราการขยาย	
D	ค่าดิวตี้ไซเคิล	(%)
i_L	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอินดักเตอร์	(A)
V_C	แรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์	(V)
R_O	ความต้านทานเอาท์พุต	(Ω)
L	อินดักเตอร์	(H)
C	คาปาซิเตอร์	(F)
Δ_{V_o}	แรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมด้านเอาท์พุท	(V)
C_S	คาปาซิเตอร์สนับเบอร์	(F)
L_S	อินดักเตอร์สนับเบอร์	(H)
D_S	ไดโอดสนับเบอร์	
$P_{\max}$	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	(W)
V_{mp}	แรงดันไฟสูงสุด	(V)
I_{mp}	กระแสไฟสูงสุด	(A)
V_{OC}	แรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิด	(V)
I_{SC}	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	(A)
P_{out}	กำลังไฟฟ้าเอาท์พุต	(W)
S	ความเข้มแสง	(W/m^2)
T	อุณหภูมิ	(°C)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ธีระพล ฤทธิศาสตร์
วัน เดือน ปี เกิด	7 มีนาคม 2525
สถานที่เกิด	สมุทสาคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2547 วศบ.(ไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, นครนายก
ที่อยู่ปัจจุบัน	12/4 หมู่ 4 ตำบลทุ่งโฮ้ง อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่ 54000
ผลงานตีพิมพ์	ธีระพล ฤทธิศาสตร์, ดำรงค์ อมรเดชาพล และกรวิน สุวรรณภักดิ์ (ผู้บรรยาย). (12–14 พฤษภาคม 2564). การพัฒนาวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูงสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม. ใน การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 (หน้า 147–154). เชียงราย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
รางวัลที่ได้รับ	–