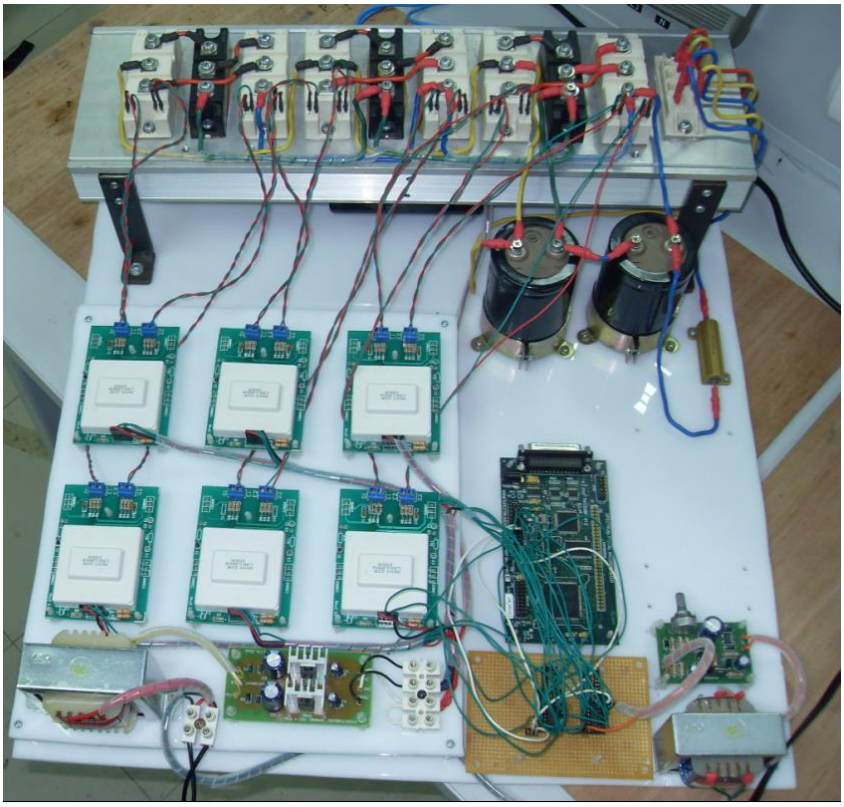
บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการออกแบบการสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของวงจรภาคกำลัง และภาคควบคุมดังรูปที่ 4.1

จากการจำลองวงจรและทดสอบวงจรจริง ผลการทดลองที่ทำการบันทึกจะเป็นการบันทึกค่าสัญญาณที่ได้จากสัญญาณในรูปแบบต่างๆทั้งทางด้านเอาต์พุตและสัญญาณทางด้านอินพุต โดยมีรูปแบบดังต่อไปนี้

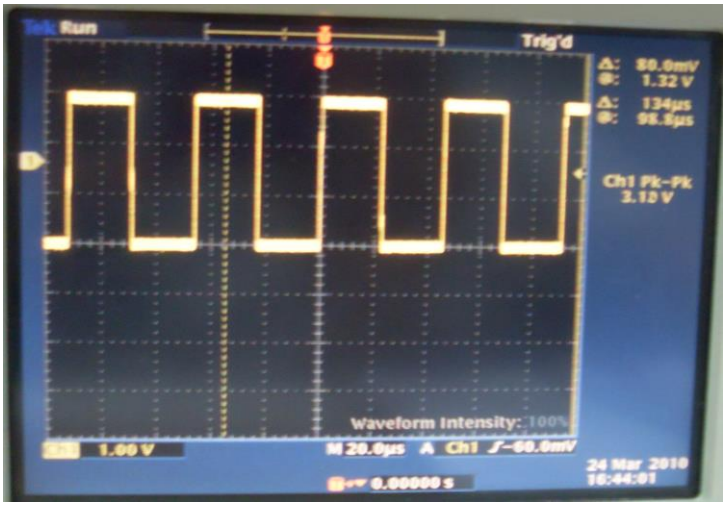


รูปที่ 4.1 ภาพรวมวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

4.1 ผลของสัญญาณภาคควบคุม

4.1.1. สัญญาณจาก ezDSP TMS320F2812

เมื่อทำการเขียนวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในโปรแกรม MATLAB R2006b แล้วส่งสัญญาณเข้าไปในตัว ezDSPTMS320F2812 แล้วทำการวัดสัญญาณที่ออกจาก ezDSP TMS320F2812 มีสัญญาณออกอยู่ระหว่าง 0 - 3.3 โวลต์ (V peak)



รูปที่ 4.2 รูปคลื่นแรงดันทางด้านขาออก ezDSP TMS320F2812

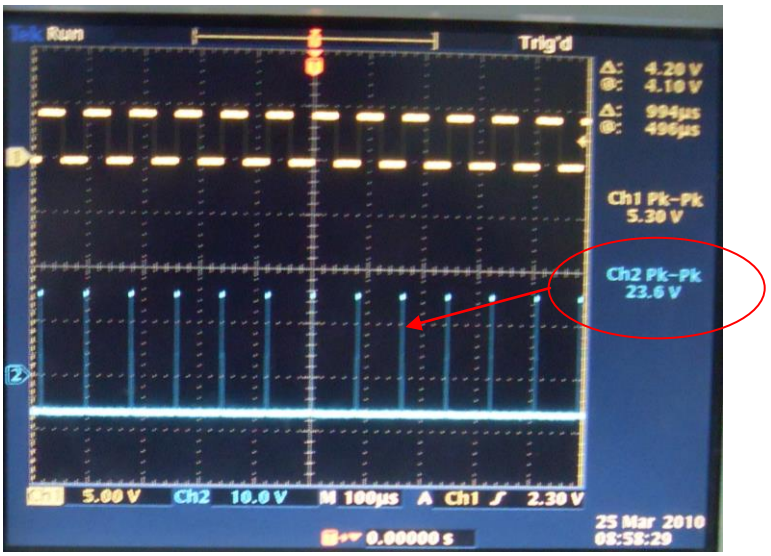
4.1.2 ผลของสัญญาณที่ผ่านวงจรบับเฟอร์

สัญญาณที่ออกจาก ezDSP TMS320F2812 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สามารถจ่ายแรงดันทางด้านเอาท์พุตได้ 3.3 V หรือ 5 V แต่ในโครงงานนี้เลือกแรงดันเอาท์พุต 3.3 V เนื่องจากจะต้องการป้องกันการเสียหายของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งหากนำสัญญาณแรงดัน 3.3 Vจากไมโครคอนโทรเลอร์ไปจ่ายให้ชุดขับเกตโยตรงนั้นจะทำให้ชุดขับเกตไม่สามารถทำงานได้ เพราะว่าชุดขับเกตของไอจีบีทีต้องการแรงดันอินพุตอย่างน้อย 3.7 V ดังนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณโดยนำไปผ่านวงจรบัฟเฟอร์ ซึ่งข้อดีอีกอย่างหนึ่งของวงจรบัฟเฟอร์คือป้องกันไฟย้อนกลับเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์อันเนื่องมาจากการลัดวงจร โดยสัญญาณที่ออกมาจากวงจรบัฟเฟอร์จะมีค่าแรงดันอยู่ที่ประมาณ 5.36 V ซึ่งเพียงพอที่จะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตของชุดวงจรขับเกตของไอจีบีที ดังแสดงในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรบับเฟอร์

4.1.3 ผลของสัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกต

เมื่อทำการวัดสัญญาณ ที่ผ่านวงจรขับเกต (SKHI 22B) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าสัญญาณที่ได้มีค่าเพียงพอที่จะนำไปขับขาเกตของไอจีบีทีให้ทำงานได้ โดยแรงดันขาเกตที่ไอจีบีทีเบอร์ SKM75GB063D ต้องการให้ทำงานอยู่ที่บวกลบ 20 โวลท์ ซึ่งสัญญาณที่ได้จากชุดขับเกตมีค่าแรงดันอยู่ที่ 23 โวลต์ (Vpeak) ซึ่งสัญญาณที่ได้เพียงพอต่อการนำไปขับไอจีบีทีได้ แต่สัญญาณที่ได้ค่อนข้างมีช่วงเวลาเปิดการทำงานน้อยอันเนื่องมาจากการกำหนดค่าความต้านทานช่วงเปิดการทำงานทางด้านขาออกมากเกินไปแต่ก็ยังสามารถนำไปใช้งานได้ตามปกติดังรูปที่ 4.4

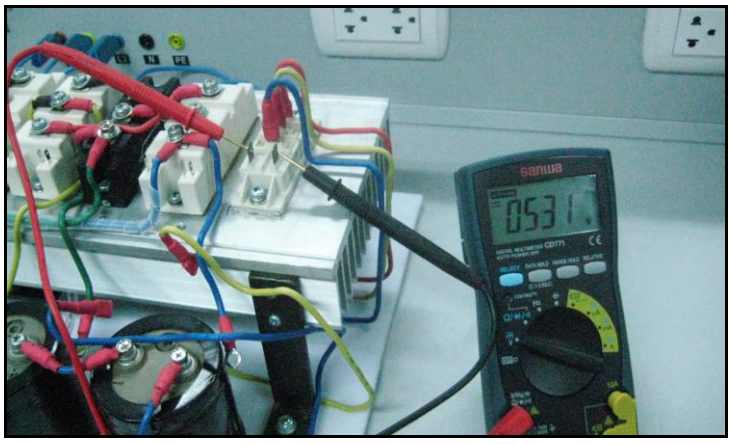


รูปที่ 4.4 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจรขับเกต

4.2 ผลสัญญาณภาคกำลัง

4.2.1 ผลของแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแส

เมื่อทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับ 380 โวลต์ ให้กับวงจรเรียงกระแส สามารถวัดแรงดันทางด้านเอาท์พุตได้แรงดันกระแสตรง 531 โวลต์ ซึ่งยังไม่ผ่าน DC Link



รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแส 3 เฟส

4.2.2 ผลของแรงดันที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ ดีซีลิ้ง

เมื่อทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับ 380 โวลต์ ให้กับวงจรเรียงกระแสสามารถวัดแรงดันเอาท์พุตได้แรงดันกระแสตรง 531 โวลต์โดยแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแสจะต้องนำมาผ่านคาปาซิเตอร์อีกครั้งเพื่อทำการกรองแรงดันให้เรียบยิ่งขึ้นก่อนนำไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์โดยในที่นี้ใช้คาปาซิเตอร์สองตัวนำมาอนุกรมกันเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสามระดับ โดยใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 2200 μF 450 V 2 ตัว ตัวอนุกรมกัน วัดแรงดันตกคร่อมทางด้านคาปาซิเตอร์ได้แรงดัน 562 โวลท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 ค่าแรงดันเมื่อต่อคาปาซิเตอร์

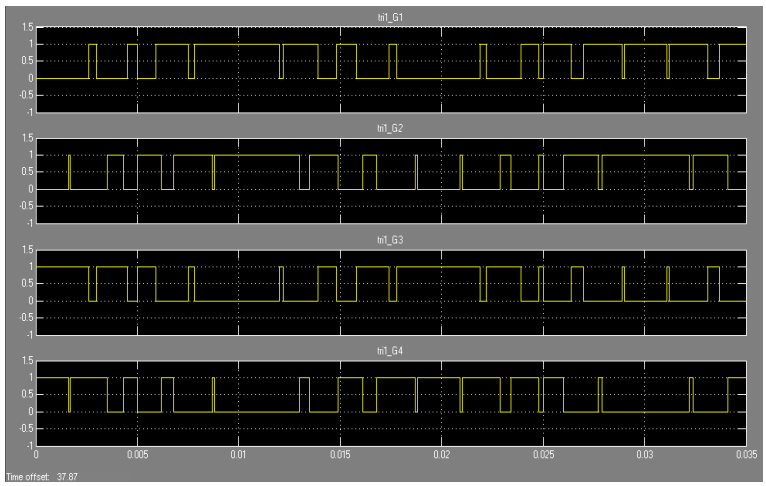
4.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ สามารถจำลองระบบการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับที่ความถี่และดัชนีการมอดูเลตที่ค่าต่างๆ และได้ทำการบันทึกภาพสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม แรงดันและกระแสเมื่อจำลองการทำงานเป็นแบบอันเดอร์มอดูเลชั่น รวมทั้งวัดค่า RMS ของแรงดันระหว่างสาย โดยวงจรอินเวอร์เตอร์มีพารามิเตอร์ของระบบที่ทำการทดลองดังตารางที่ 4.1

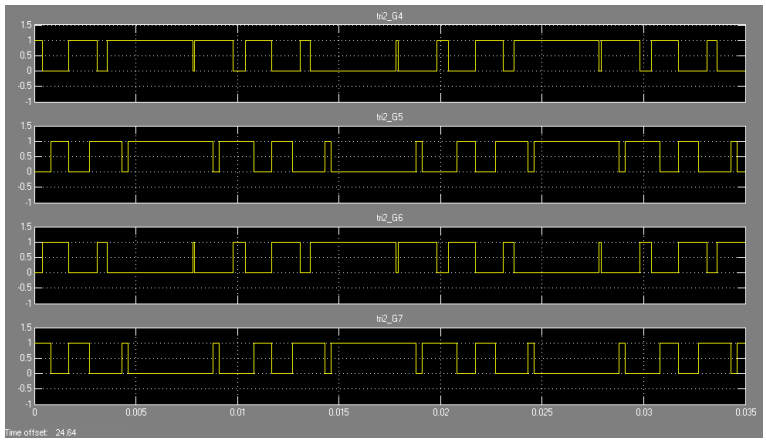
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของระบบในการจำลองการทำงาน

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ระบบไฟฟ้า	3 เฟส 3 สาย
แรงดันใช้งานระหว่างสาย	380 V
ความถี่	50 Hz
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	600 V
กำลังไฟฟ้าที่ภาระสูงสุด	1 kW
ความถี่สวิตซ์	20 kHz

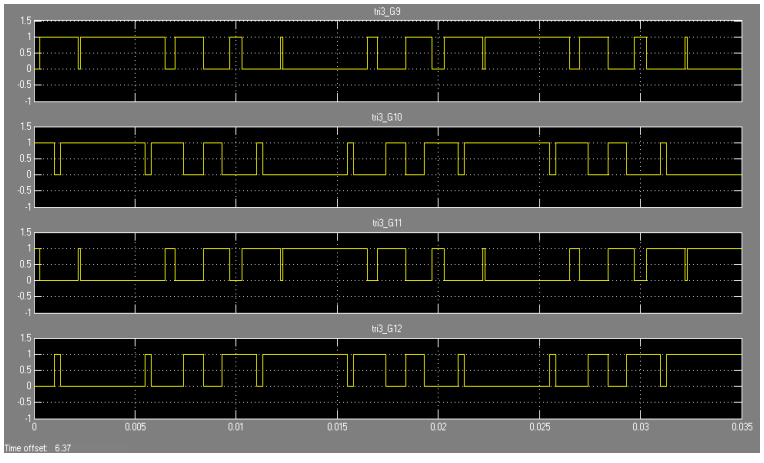
4.3.1 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ได้จากโปรแกรม MATLAB



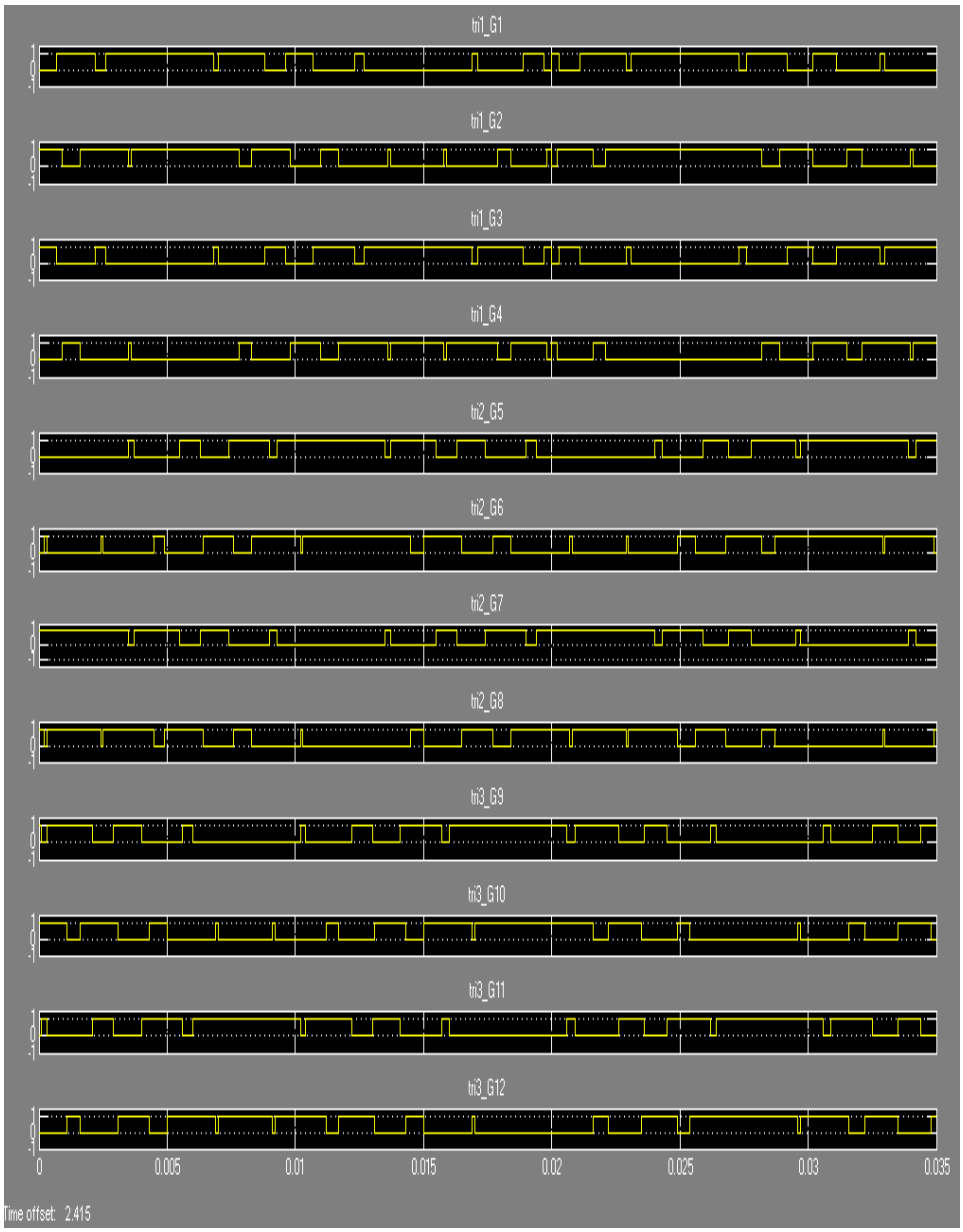
รูปที่ 4.7 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มในเฟส A



รูปที่ 4.8 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มในเฟส B



รูปที่ 4.9 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มในเฟส C

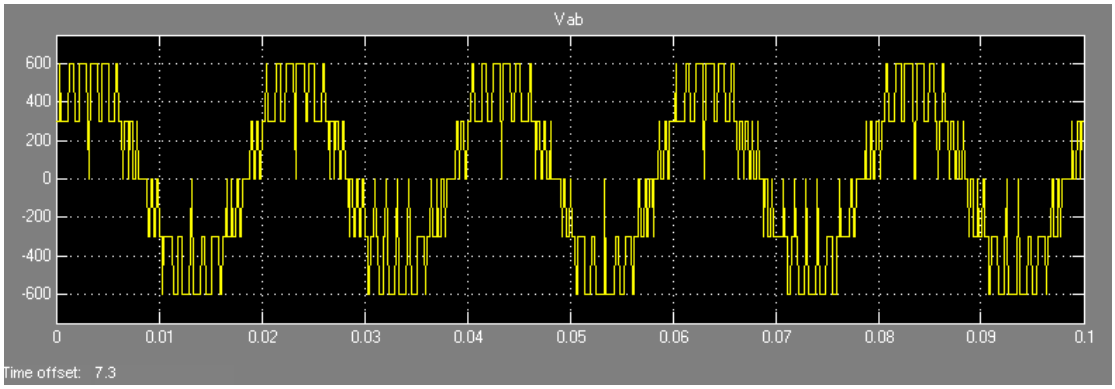


จะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณที่ได้ออกมาแต่ละเฟสจะเป็นไปตามทฤษฎีแต่ยังไม่มีช่วงเวลาเดดไทม์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะหากไม่มีค่าไทม์ระหว่างช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตซ์นั้นจะทำให้อุปกรณ์สวิตชิ่งหรือวงจรของอินเวอร์เตอร์เกิดการเสียหายได้เนื่องจากการลัดวงจร

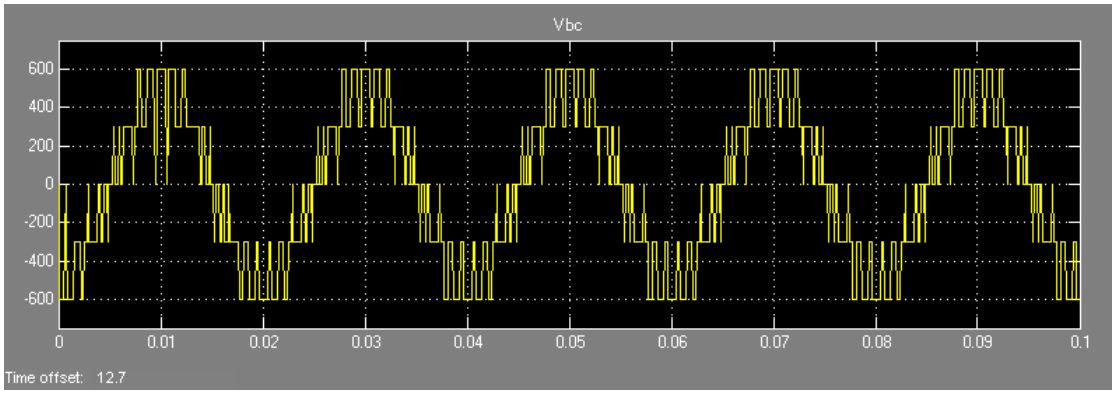
สัญญาณที่ใช้ในการทริกขาเกตในวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับจะใช้ทั้งหมด 12 สัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีขนาดแรงดัน 1 โวลท์ แสดงดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มรวม เฟส A, B, C

4.3.2 ผลของการจำลองการวัดแรงดันระหว่างเฟสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

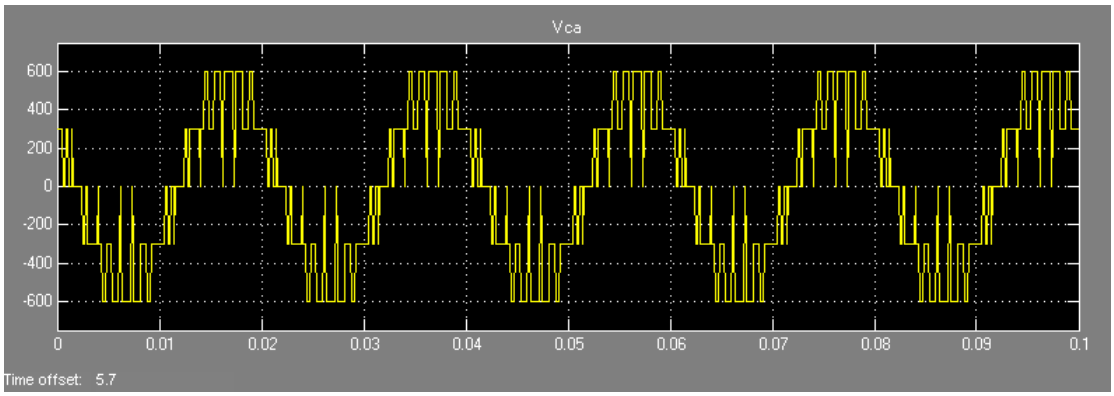


รูปที่ 4.11 รูปคลื่นแรงดัน Vab ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์ม แรงดัน 600V

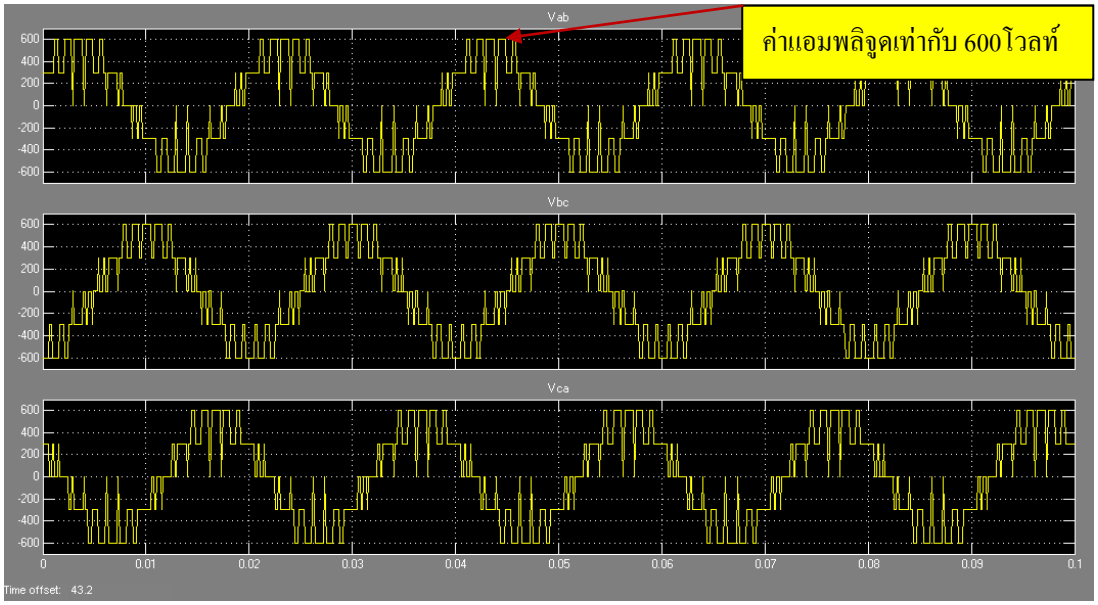


รูปที่ 4.12 รูปคลื่นแรงดัน Vbc ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์มแรงดัน 600V

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ชัดว่ารูปคลื่นที่ได้จะไม่ค่อนข้างเป็นรูปไซน์ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่ามีค่าฮาร์มอนิกส์ที่ไม่ต้องการอยู่ทางด้านเอาท์พุตมากเกินไป โดยวิธีการแก้ไขคือการเพิ่มขนาดของคาปาซิเตอร์ทางด้าน LC FILTER ให้เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้ได้แรงดันเอาท์ราบเรียบยิ่งขึ้น



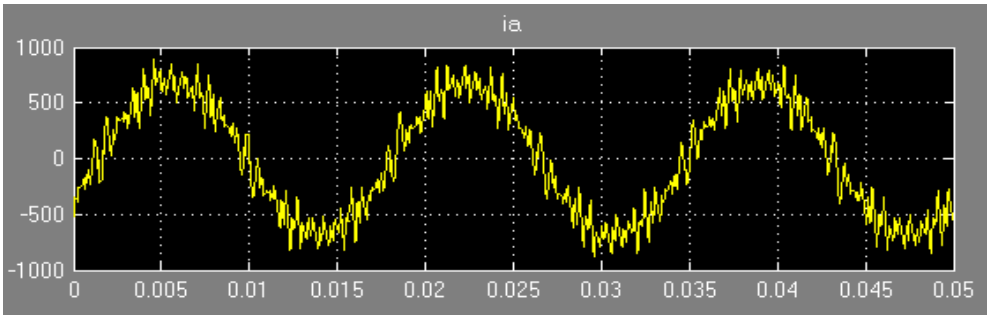
รูปที่ 4.13 รูปคลื่นแรงดัน Vca ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์มแรงดัน 600V



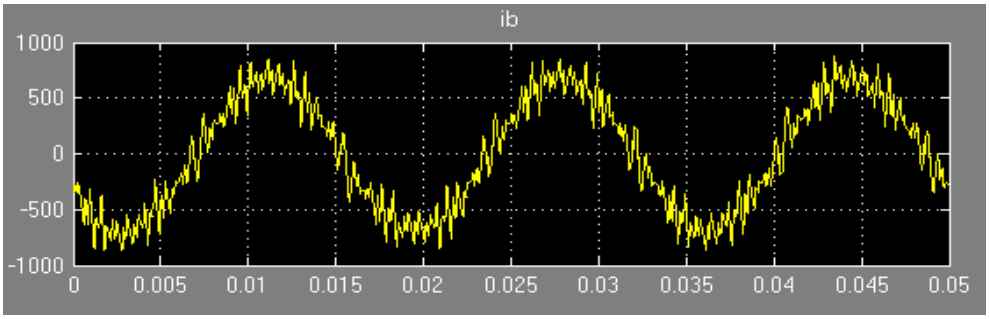
รูปที่ 4.14 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ารวม Vab , Vbc , Vca แรงดัน 600 V

4.3.3 ผลของการจำลองการวัดกระแสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

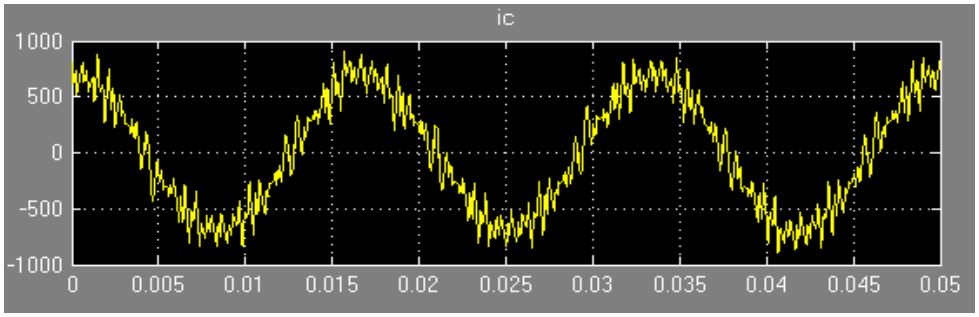
สำหรับในส่วนของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในระบบของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ จะได้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 4.15 , 4.16 และ 4.17 ดังนี้คือ



รูปที่ 4.15 กระแสในสาย Ia ของวงจรอินเวอร์เตอร์



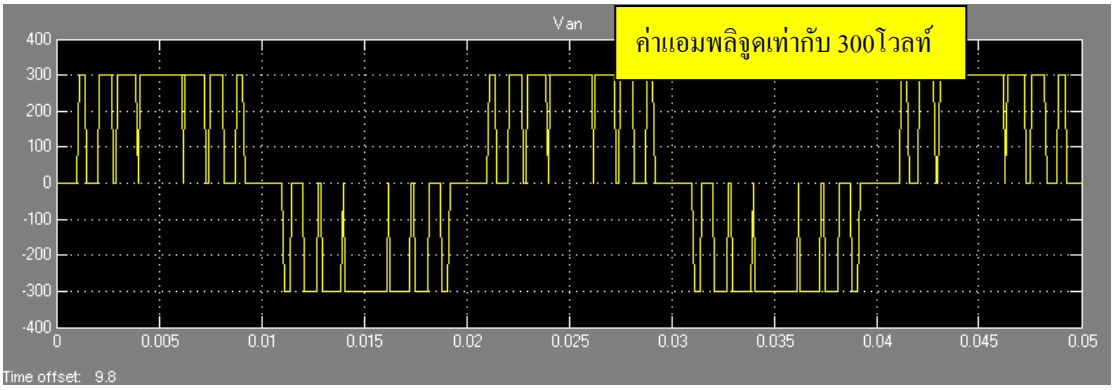
รูปที่ 4.16 กระแสในสาย Ib ของวงจรอินเวอร์เตอร์



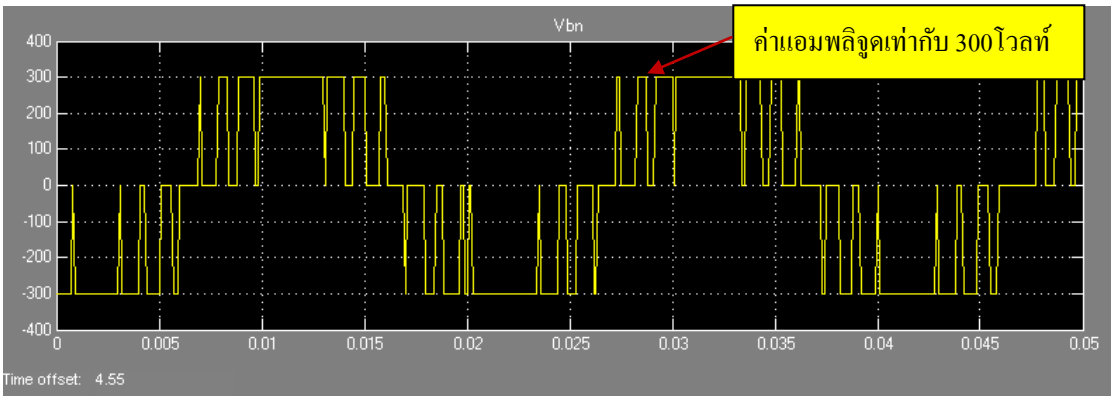
รูปที่ 4.17 กระแสในสาย Ic ของวงจรอินเวอร์เตอร์

จากรูปเป็นค่ากระแสในแต่ละเฟสที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ โดยกราฟที่ออกมายังไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่ชัดเจนอันเนื่องมาจากสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ซึ่งถ้าหากใช้วงจร LC FILTER มาใช้กรองกระแสและแรงดันก็จะทำให้รูปคลื่นกระแสและแรงดันมีค่าราบเรียบยิ่งขึ้น

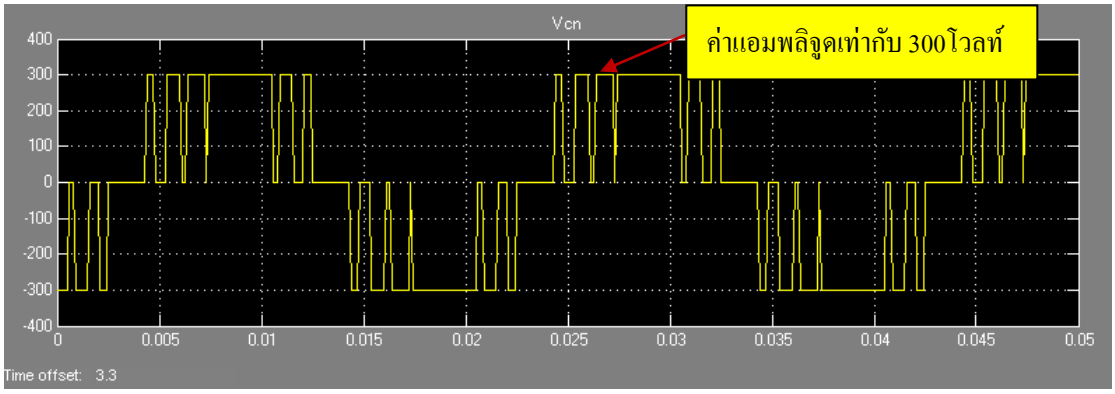
4.3.4 ผลของการจำลองการวัดแรงดันเฟส



รูปที่ 4.18 แรงดันเฟส Van ของวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.19 แรงดันเฟส Vbn ของวงจรอินเวอร์เตอร์

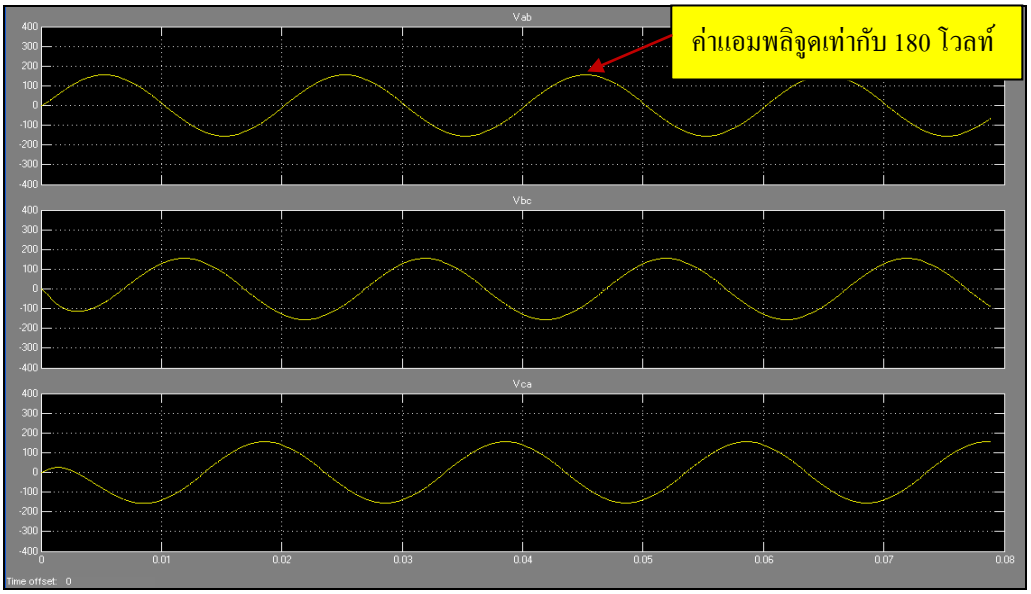


รูปที่ 4.20 แรงดันเฟส Vcn ของวงจรอินเวอร์เตอร์

ซึ่งจากผลการจำลอง การคำนวณหาค่าคาบเวลาการสวิตช์ของและเวกเตอร์รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณการสวิตช์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการจำลอง ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ อ้างอิงความถี่ 50 Hz แรงดันบัสไฟตรงได้จากการเรียงกระแสแรงดันไฟสลับ 3 เฟส ขนาด 380 V ค่าของตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ที่ใช้และตัวมีขนาด 2200 μF และเราจะทำการควบคุมแรงดันนิวทรัลให้เปลี่ยนแปลงด้ายในขอบเขตเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของครึ่งหนึ่งของแรงดันบัสไฟตรง (มีค่าประมาณ 27 V) สวิตช์ที่ใช้ในการจำลองเป็นแบบอุดมคติโดยมีความถี่สวิตชิ่งเท่ากับ 20 kHz โดยจะมีโหลดของอินเวอร์เตอร์ต่ออยู่กับวงจรอินเวอร์เตอร์ทางด้านขาออก

4.4. ผลการการต่อโหลดความต้านทานขนาด 1 กิโลวัตต์

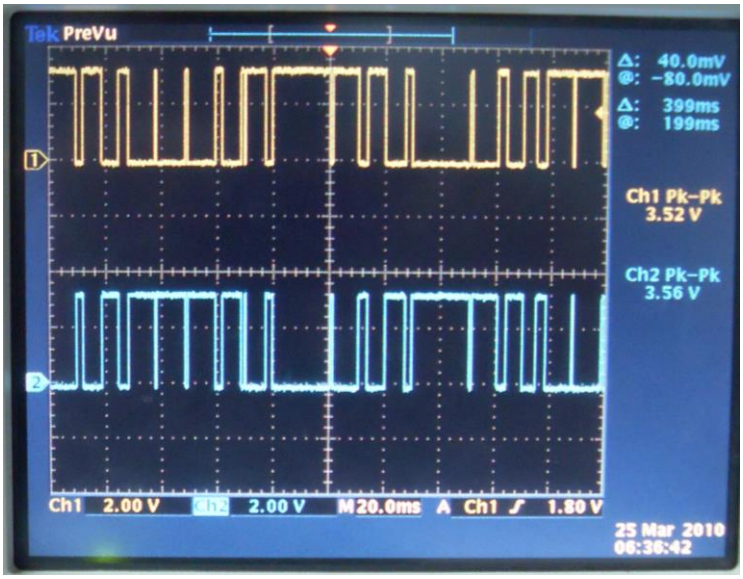
เมื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าแรงดันระหว่างเฟสด้านเอาท์พุตที่ได้ก็จะเป็นดังรูปข้างล่างนี้



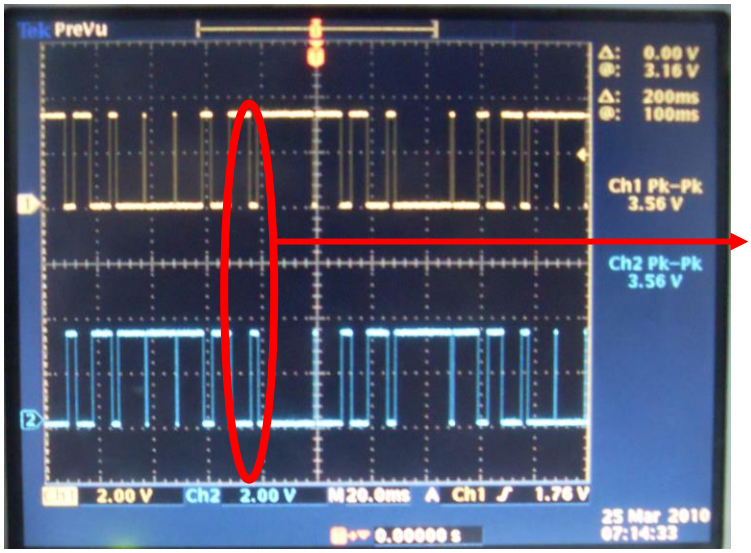
รูปที่ 4.21 วัดแรงดัน Vab ,Vbc ,Vca เมื่อต่อโหลดขนาด 1 กิโลวัตต์

เมื่อทำการต่อโหลด 1 กิโลวัตต์แล้วทำการวัดแรงดันระหว่างเฟสรูปคลื่นที่ได้ค่อนข้างจะเหมือนรูปคลื่นไซน์ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าเท่ากับ 180 โวลท์

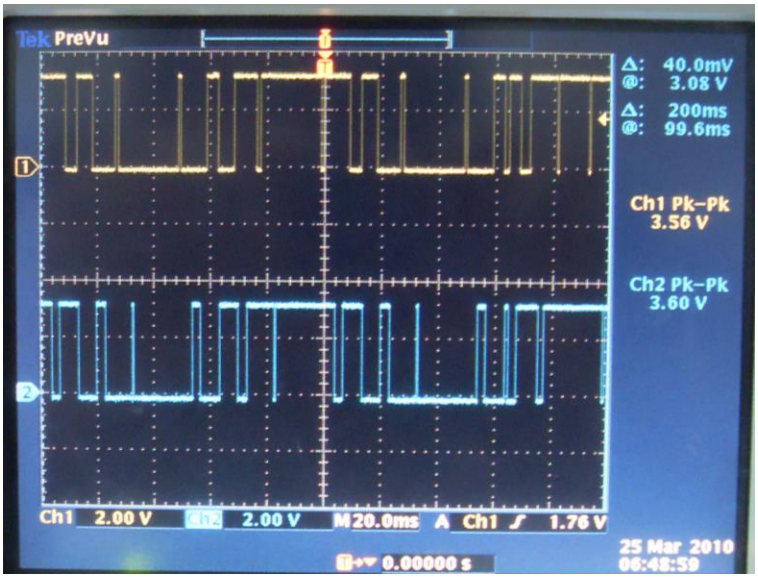
4.5 ผลของสัญญาณควบคุมที่ออกจาก DSPที่นำไปเป็น INPUT ของตัวขับไอจีบีที



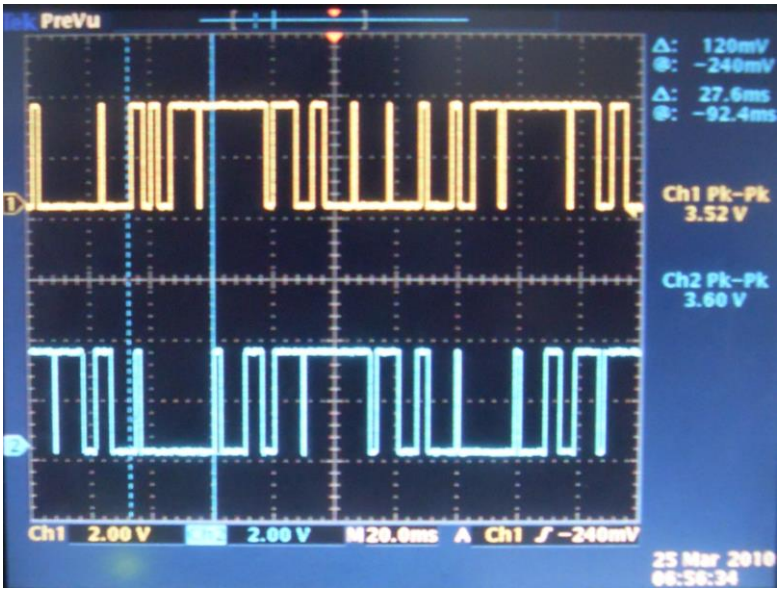
รูปที่ 4.22 สัญญาณขา G1 กับ G3 เฟส A



รูปที่ 4.23 สัญญาณขา G2 กับ G4 เฟส A



รูปที่ 4.24 สัญญาณขา G1 กับ G2 เฟส B



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบสัญญาณ สัญญาณG1 เฟส A กับ สัญญาณ G1 เฟส B

จากรูปเป็นสัญญาณที่ได้จากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้เป็นสถานะการสวิตชิ่งในการทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับซึ่งมีค่าเดดไทม์กำหนดอยู่ด้วย

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างสัญญาณควบคุมจากโปรแกรม MATLAB R2006b เพื่อสั่งให้ DSP ทำงานจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ออกมาไม่สามารถนำไปเข้าวงจรขับเกตได้เลย เนื่องจากว่าสัญญาณที่ออกมาจากวงจรขับเกตวัดไม่สามารถนำไปขับไอจีบีที ได้ จึงต้องผ่านวงจร Hex buffer ก่อนเพื่อทำให้แรงดันขาเข้าวงจรขับเกตสูงขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านเอาท์พุตของวงจรขับเกตสูงขึ้นจนสามารถนำไปขับไอจีบีทีได้

จากการจำลองการทำงานอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ ตามทฤษฎีสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้วยตัวประมวลสัญญาณดิจิตอลเพื่อใช้งานได้จริง

การสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ นั้นจุดที่สำคัญที่สุดก็คือการควบคุมการสวิตซ์ของไอจีบีที ซึ่งจากการจำลองการสวิตซ์ของไอจีบีทีนั้น ในโปรแกรมอาจจะคำนึงหรือไม่คำนึงถึงค่าเดทไทม์ (Dead time) ก็ได้ซึ่งก็ทำให้การจำลองการทำงานออกมาได้เหมือนกัน แต่ถ้าหากนำไปใช้ในการขับไอจีบีทีในงานจริงต้องคำนึงถึงค่าเดทไทม์ (Dead time) ด้วยซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก