บทที่ 5

โปรแกรมเลียนแบบระบบ

5.1 คำนำ

โปรแกรมเลียนแบบระบบได้มาจากการนำสมการต่างๆ ที่กล่าวในบทที่ 3 และบทที่ 4 มาสร้างเป็นชุดคำสั่ง ซึ่งมีสมการอื่นๆ ที่จำเป็นช่วยอีกหลายสมการ. ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ ภาษาซีของบริษัทบอร์แลนด์ แบบ ซีพลัสพลัส รุ่นที่ 4 แต่ผู้เขียนไม่ได้เขียนโปรแกรมเป็นเชิงวัตถุ. โปรแกรมที่เขียนขึ้นถูกตั้งชื่อว่า TANKSIM อยู่ในไฟล์ชื่อ TANKSIM.EXE มีขนาดประมาณ 260 กิโลไบท์ สามารถวิ่งบน ไอ.บี.เอ็ม.คอส รุ่น 3.0 ขึ้นไป โดยใช้โปรแกรมสนับสนุนและคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้

– โปรแกรมขับเมาส์ พีซีเมาส์ รุ่น 9.0 หรือ ของบริษัทลอจิเทค รุ่น 6.30 ขึ้นไป. หากใช้รุ่นก่อนหน้านี้อาจเกิดการหยุดนิ่งของโปรแกรมได้เพราะการจัดการแบ่งสรรเวลาไม่เหมาะกับขนาดของโปรแกรม TANKSIM และไม่เหมาะกับที่ ซีพลัสพลัส ออกแบบไว้. การติดตั้งโปรแกรมขับเมาส์ (MOUSE.COM) ให้ติดตั้งไว้ก่อนการเรียกใช้โปรแกรม TANKSIM.

– โปรแกรมขับกราฟิกส์ของ ซีพลัสพลัส รุ่น 4 (EGAVGA.BGI)

– เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ รุ่น ไอบีเอ็ม พีซี–เอที 80386 เอสเอ็กซ์–25 ขึ้นไป หรือเทียบเท่า. และหากมีเมาส์ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรม TANKSIM ได้สะดวกขึ้น.

I16755624

5.2 โปรแกรม TANKSIM

ตัวซอร์ซไฟล์ (Source file) ของ TANKSIM นั้นยาวมาก ไม่สามารถจะได้รับการ คอมไพล์ ได้ในคราวเดียว. ผู้เขียนจึงแยก ซอร์ไฟล์ ออกเป็น 14 ไฟล์ โดยเป็นไฟล์คำสั่ง 7 ไฟล์ และ ไฟล์เฮดเดอร์ สำหรับไฟล์คำสั่งอีกไฟล์ละ 1 ไฟล์ รวมเป็นไฟล์เฮดเดอร์ 7 ไฟล์. ทำการ คอมไพล์ โดยสร้างเป็นโปรเจกชื่อ TANKSIM โปรเจกนี้ระบุชื่อไฟล์คำสั่ง (7 ไฟล์) ส่วนไฟล์เฮดเดอร์ จะถูกเรียกใช้ด้วยคำสั่ง # include ในไฟล์คำสั่ง. ขั้นต่อไปคือสั่งคอมไพเลอร์ให้คอมไพล์โปรเจกนี้โดยใช้คำสั่ง Build all จะได้โปรแกรม TANKSIM ในชื่อ TANKSIM.EXE วิธีคอมไพล์โปรแกรมนั้น ผู้อ่านสามารถศึกษาได้จากคู่มือของคอมไพเลอร์ หรือจากตัวเลือก 'Help' ในหน้าจอการใช้งานของคอมไพเลอร์.

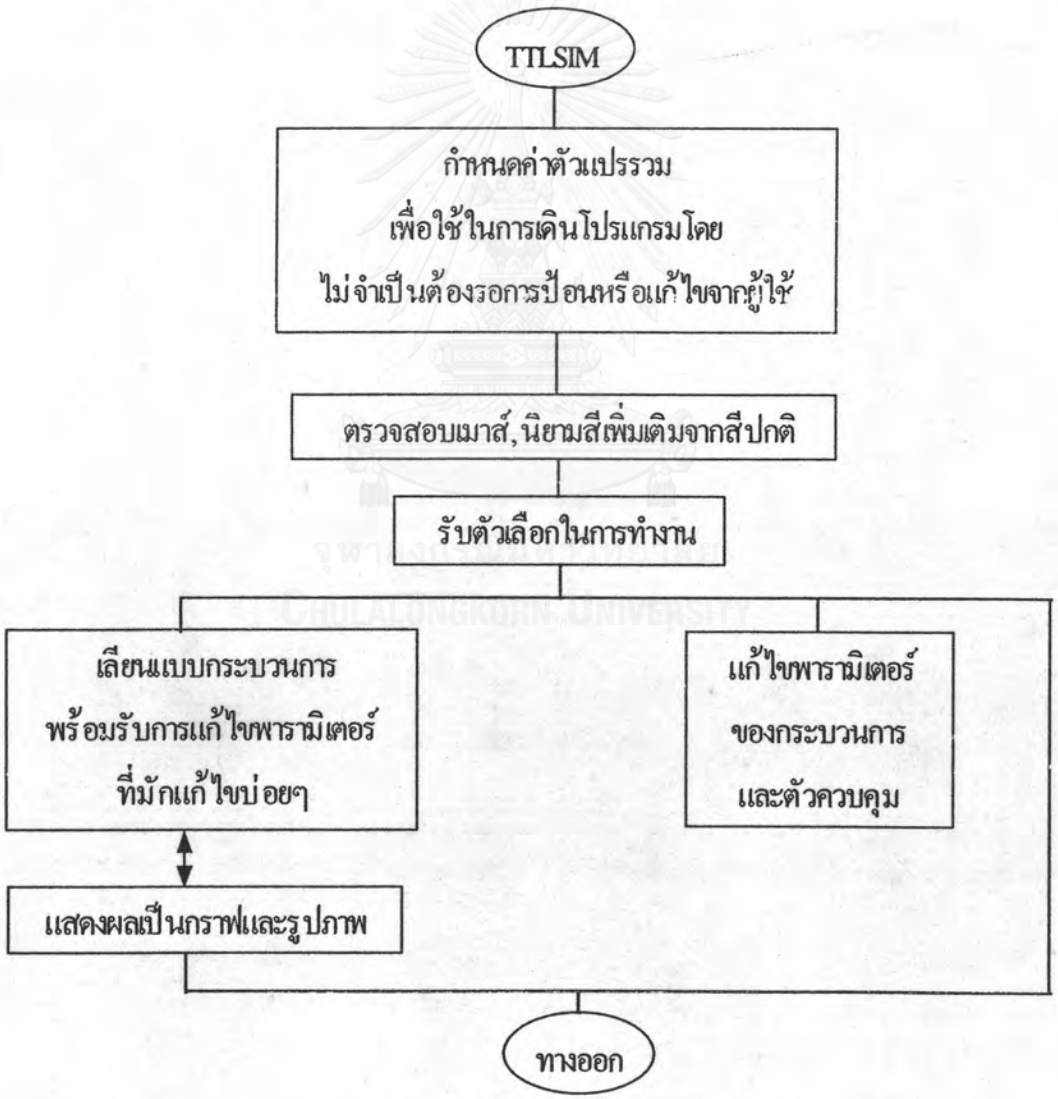
5.2.1 โครงสร้างของโปรแกรม TANKSIM

โปรแกรม TANKSIM เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นแบบโปรแกรมโครงสร้างทั่วไป แบ่งเป็นฟังก์ชันตามแบบภาษาโครงสร้าง แต่มีบางส่วนไม่เป็นไปตามโครงสร้างทางอุดมคติ คือ

ก. การส่งผ่านตัวแปร, บางฟังก์ชันใช้วิธีส่งผ่านตัวแปรแบบพอยท์เตอร์ และมีการใช้ตัวแปรรวม (Global variable) ซึ่งทำให้การอ่านหรือตรวจสอบโปรแกรมกระทำได้ไม่สะดวก. สาเหตุที่ต้องส่งผ่านตัวแปรแบบพอยท์เตอร์เพราะบางฟังก์ชันมีการส่งค่าตัวแปรกลับหลายตัว ซึ่งในจุดนี้ผู้เขียนได้พยายามเลี่ยงโดยใช้ตัวแปรอะเรย์ และตัวแปรโครงสร้างในบางฟังก์ชันแล้ว. ส่วนการที่ใช้ตัวแปรรวมเพราะโปรแกรม TANKSIM ใช้ตัวแปรมาก และตัวแปรเหล่านี้ถูกนำไปใช้หรือคำนวณในหลายฟังก์ชัน หากใช้การส่งผ่านค่าตามปกติจะยิ่งทำให้โปรแกรมรุงรัง และกินเนื้อที่หน่วยความจำมาก.

ข. บางฟังก์ชันไม่ได้ทำหน้าที่เดียว. ถึงแม้ว่าผู้เขียนจะพยายามเขียนฟังก์ชันให้ทำงานเพียงหน้าที่เดียวเกือบทั้งหมด แต่บางฟังก์ชันก็ทำหน้าที่ 2-3 หน้าที่ เช่นในฟังก์ชันที่จัดการเกี่ยวกับการรับข้อมูลหรือคำสั่งจากผู้ใช้ จะทำหน้าที่กำหนดพื้นที่ความหมายของเมาส์, ตรวจสอบคำสั่ง, รับ/แสดงข้อมูล. แต่ถ้าจะพิจารณาว่าทั้งหมดนี้เป็นการทำงานเพียงหน้าที่เดียว คือ การให้ผู้ใช้ทำการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ก็สามารถกล่าวได้ว่าฟังก์ชันนี้ยังเป็นฟังก์ชันในอุดมคติอยู่.

โปรแกรม TANKSIM มีโครงสร้างโดยรวมดังนี้



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของโปรแกรม TTLSIM.

5.2.2 การทำงานของโปรแกรม

ในหัวข้อนี้, ผู้เขียนจะกล่าวเฉพาะโปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่คำนวณคำตอบในการเลียนแบบระบบเท่านั้น, ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้จะขอข้ามไป. การคำนวณจะมีขั้นตอนดังนี้

ก. คำนวณพื้นที่หน้าตัดของถังที่ 1

ข. คำนวณอัตราการไหลของของเหลวที่เข้าสู่ถังที่ 1 คือจากปั๊มพ์ และการรบกวน การคำนวณการรบกวนจะกระทำโดยฟังก์ชันหนึ่งต่างหาก ซึ่งจะตรวจสอบชนิด, ขนาด, เวลา, ของการรบกวน.

ค. ตรวจสอบระดับของของเหลวในถังที่ 1 แล้วคำนวณสัญญาณควบคุมที่จะส่งไปยังวาล์วควบคุมตัวที่ 1. การคำนวณสัญญาณควบคุมนี้จะกระทำโดยฟังก์ชั่นหนึ่ง ทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุม และของระบบขณะนั้นดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3.

ง. คำนวณอัตราการไหลออกของของเหลวจากถังที่ 1 โดยพิจารณาชนิด และ ขนาดของวาล์ว และสถานะของระบบว่ารบกวนกันหรือไม่.

จ. คำนวณหาระดับของของเหลวที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำการดุลมวลในถังที่ 1 ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยการแก้สมการอนุพันธ์อันดับ 1 ใช้วิธีของออยเลอร์.

ฉ. ใช้อัตราการไหลของของเหลวออกจากถังที่ 1 เป็นอัตราการไหลของของเหลวเข้าถังที่ 2 โดยใช้วิธีเดียวกันกับข้อ ก. ถึง จ.

5.2.3 การติดต่อกับผู้ใช้

ก. หน้าจอหลัก

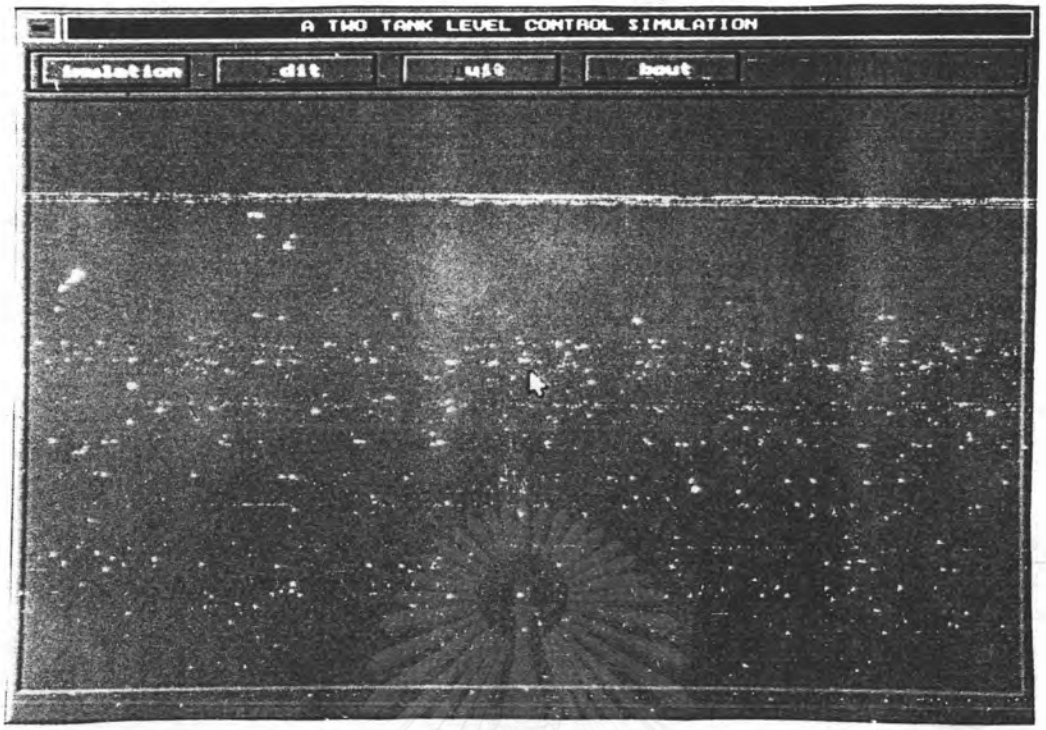
เมื่อผู้ใช้ติดตั้งโปรแกรมควบคุมเมาส์และเรียกโปรแกรม TANKSIM แล้ว จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.2 ซึ่งมีเมนูแบบปุ่มกดให้เลือก 4 ปุ่มคือ

ปุ่มที่ 1 'Simulation' เลือกปุ่มนี้โดยกดปุ่ม 'S' ที่คีย์บอร์ด หรือใช้เมาส์ชี้ที่ปุ่มนี้แล้วกดปุ่มซ้ายมือของเมาส์ 1 ครั้ง โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอการเลียนแบบระบบ.

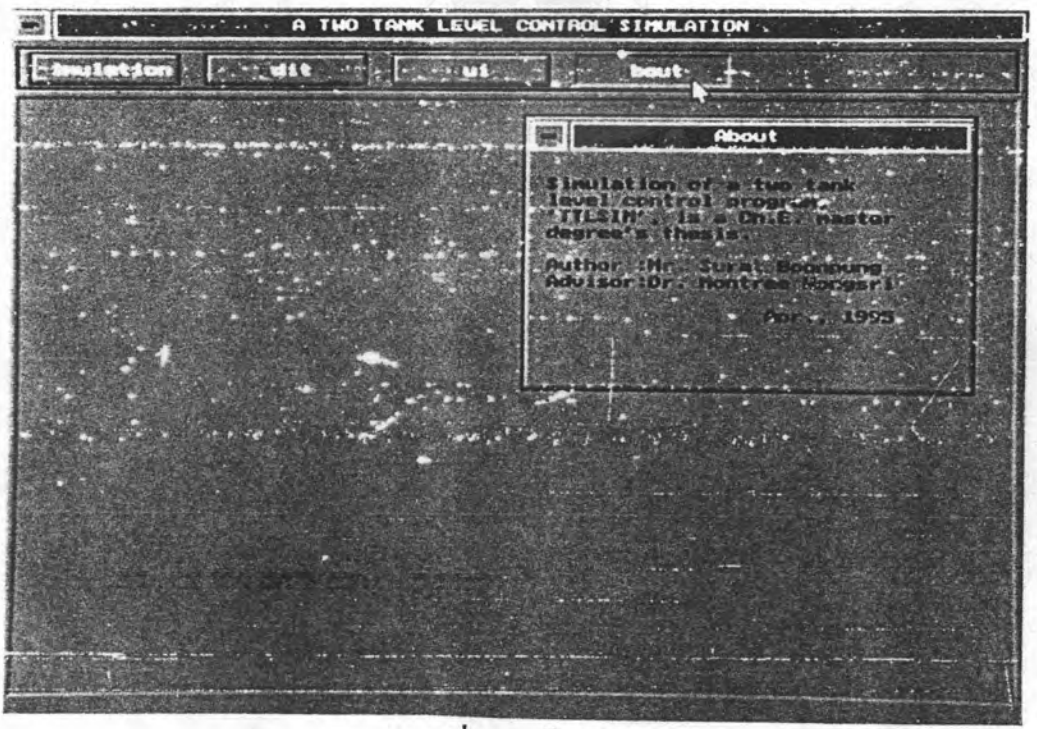
ปุ่มที่ 2 'Edit' ปุ่มนี้จะนำผู้ใช้เข้าสู่หน้าจอของการแก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ แล้วแต่ว่าขณะนั้นกำลังศึกษาระบบสองถังหรือถังเดียว. โปรแกรม TANKSIM นี้ได้รวมระบบถังเดียวไว้ด้วยเพื่อให้ผู้ใช้ได้เปรียบเทียบว่าระหว่างถังที่ไม่ได้รับผลของการกระทบเลย เช่นระบบถังเดียว จะมีผลตอบสนองต่างจากระบบสองถังดังจุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้อย่างไร. ผู้ใช้เลือกเมนูนี้ได้โดยใช้วิธีเดียวกับที่ใช้ในการเลือกปุ่มที่ 1.

ปุ่มที่ 3 'Quit' เมื่อผู้ใช้ต้องการเลิกใช้โปรแกรม TANKSIM ให้เลือกปุ่มนี้.

ปุ่มที่ 4 'About' หากเลือกปุ่มมนี้ผู้ใช้จะพบหน้าจอเล็กๆ ซ้อนขึ้นมาในหน้าจอนี้จะบอกชื่อผู้เขียนวิทยานิพนธ์, อาจารย์ที่ปรึกษา. ลักษณะคล้ายกับเมนู 'About' ในไมโครซอฟท์วินโดว์.



รูปที่ 5.2 หน้าจอหลัก.



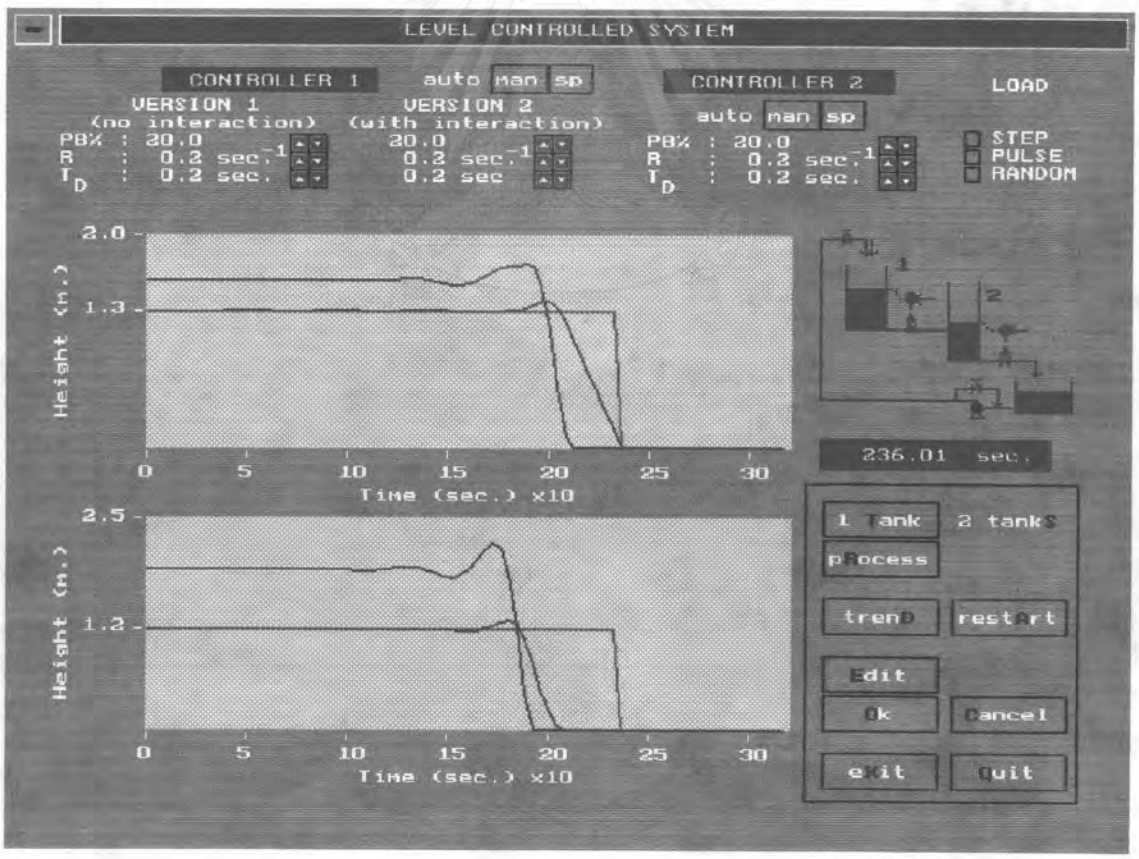
รูปที่ 5.3 หน้าจอ 'About'.

ข. หน้าจอเลียนแบบระบบ

เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม 'Simulation' จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.4 หน้าจอนี้แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแสดงพารามิเตอร์, แผงควบคุม, และส่วนแสดงผล

ส่วนที่ 1 ส่วนแสดงพารามิเตอร์

อยู่ด้านบนของจอภาพเป็นส่วนที่แสดงพารามิเตอร์ของตัวควบคุมทั้งสองตัว และเมนูกำหนดการรบกวนระบบ ส่วนนี้นอกจากจะใช้แสดงค่าพารามิเตอร์แล้ว, ผู้ใช้ยังสามารถแก้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ณ.ตำแหน่งที่แสดงค่านั้น หากมีการกดปุ่ม 'Edit' ที่ส่วนแผงควบคุมหน้าจอดังจะกล่าวต่อไป

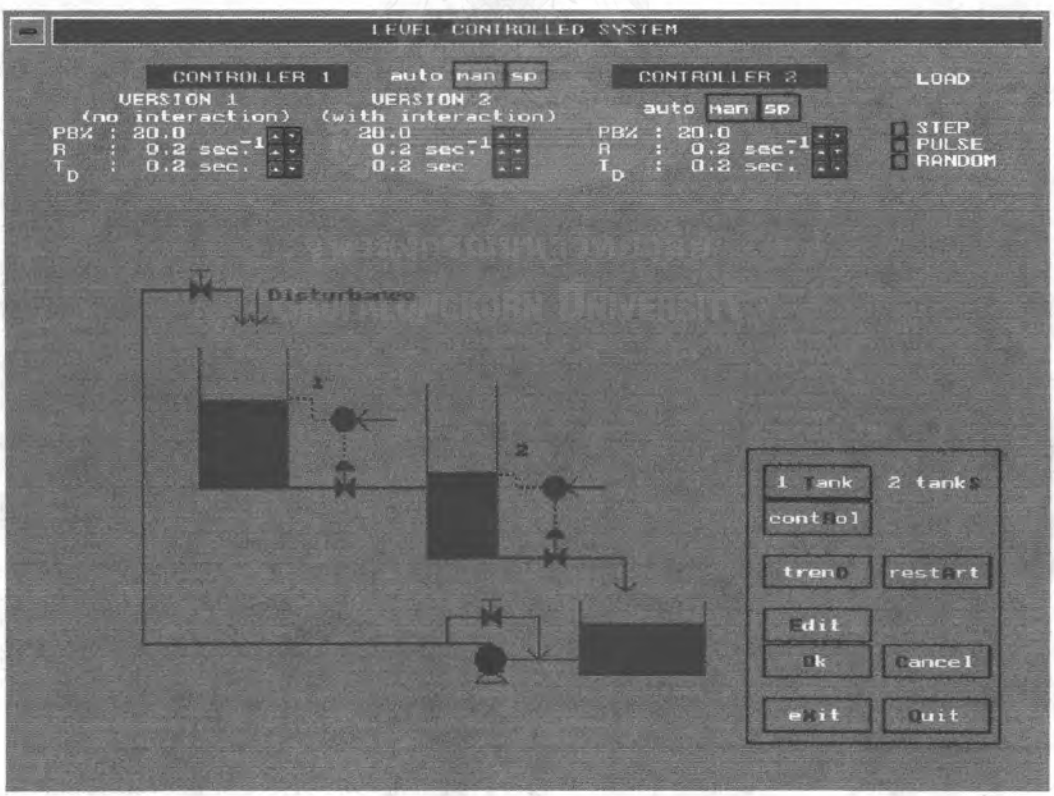


รูปที่ 5.4 หน้าจอเลียนแบบระบบแสดงเส้นกราฟของพารามิเตอร์

ส่วนที่ 2 แผงควบคุม

อยู่ด้านขวาล่างของจอภาพ บนแผงควบคุมนี้จะประกอบด้วยปุ่มต่างๆ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยปุ่มที่ใช้เลือกระบบและแสดงผล ได้แก่ปุ่ม '1 Tank', '2 tankS', และ 'pRocess'. การแสดงผลทางจอภาพของ TANKSIM จะแสดงใน 2 ลักษณะคือ เป็นรูปภาพซึ่งแสดงเส้นกราฟ 3 เส้นคือ เส้นเซ็ทพอยท์ แสดงด้วยเส้นสีแดง, ความสูงของระดับของเหลว (ตัวแปรกระบวนการ) แสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน และเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดวาล์ว (แสดงด้วยเส้นสีเขียวอ่อน), แสดงดังรูปที่ 5.4 ลักษณะการแสดงผลแบบที่ 2 คือจะแสดงเป็นภาพไดอะแกรมของกระบวนการ ซึ่งแสดงระดับของของเหลวในถังที่เวลาขณะนั้นๆ ด้วย ดังแสดงดังรูปที่ 5.5 อนึ่ง, ภาพไดอะแกรมของกระบวนการนี้ยังมีแสดงไว้ในหน้าจอที่แสดงเส้นกราฟ โดยเป็นภาพเล็กๆ ทางขวามือดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.5 หน้าจอแสดงรูปไดอะแกรมของระบบขณะเลียนแบบ

ภาพไดอะแกรมจะปรากฏถ้าผู้ใช้กดปุ่ม 'pRocess' ดังรูปที่ 5.5 เมื่อภาพไดอะแกรมปรากฏแล้ว ปุ่ม 'pRocess' จะเปลี่ยนเป็น 'contRol' เมื่อผู้ใช้กดปุ่มนี้หน้าจอจะเปลี่ยนไปแสดงภาพกราฟสลับกันไปมาได้.

ปุ่มกลุ่มที่ 2 บนแผงควบคุม

ปุ่มในกลุ่มนี้จะเป็นปุ่มสนับสนุนในการแก้ไขพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ที่ส่วนบนของจอภาพ ซึ่งได้แก่ พารามิเตอร์ของตัวควบคุม, โมดของการควบคุม (อัตโนมัติ/ด้วยมือ), เซ็ทพอยท์ และการรบกวนระบบ. กลุ่มนี้จะมีปุ่ม 3 ปุ่มคือ 'Edit', 'Ok' และ 'Cancel'.

ปุ่ม 'Edit'

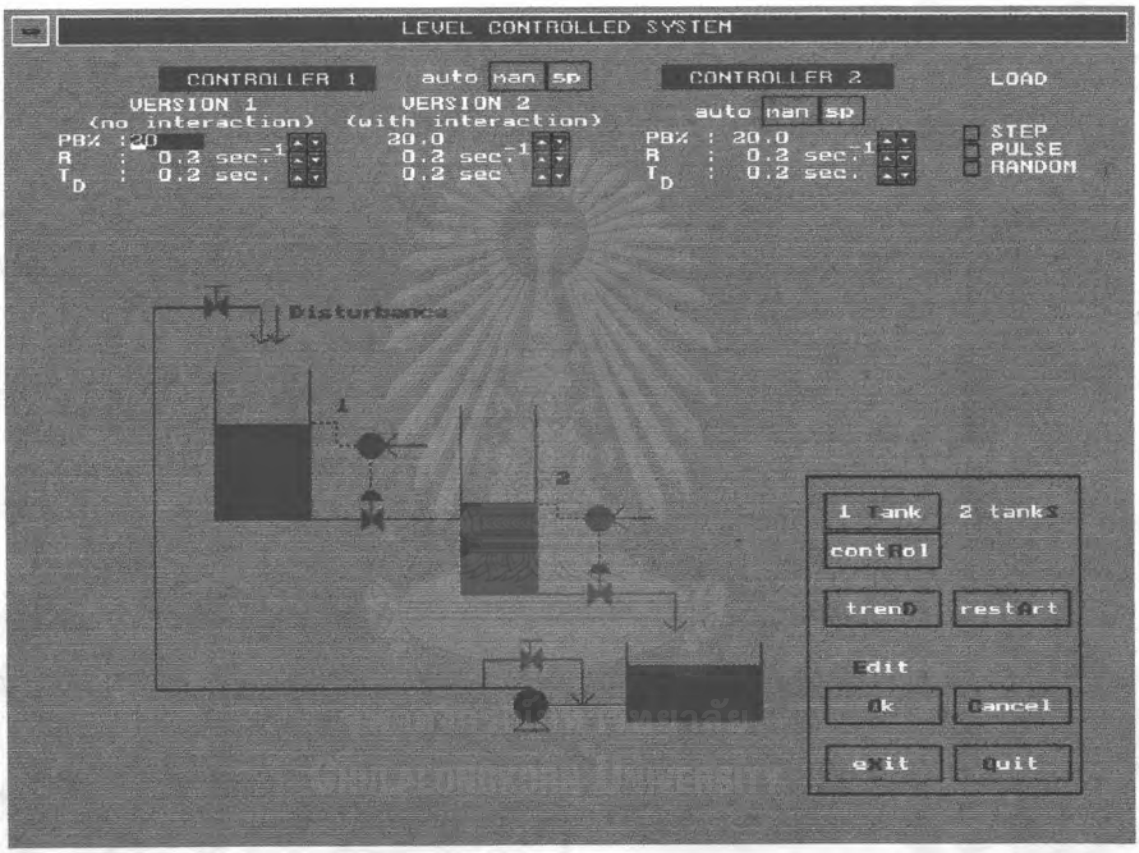
เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม 'Edit' TANKSIM จะเปลี่ยนการทำงานจากการเลียนแบบระบบเป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขค่าของพารามิเตอร์ ส่วนจะเป็นพารามิเตอร์ใดก็แล้วแต่ว่าครั้งสุดท้ายเคยแก้ไขพารามิเตอร์ใดไว้ แต่ถ้ายังไม่เคยกดปุ่มนี้มาก่อน TANKSIM จะชี้ตำแหน่งการแก้ไขไปที่ค่า PB% ของตัวควบคุมตัวที่ 1 เสมอ ดังรูปที่ 5.6.

ผู้อ่านจะเห็นว่าที่ส่วนขวามือของค่า PB% มีปุ่มสูกศร 2 ปุ่ม, ปุ่มสีฟ้ามีลูกศรชี้ลง ถ้าใช้เมาส์คลิกที่ปุ่มนี้ค่า PB% จะลดลงครั้งละ 0.1 แต่ถ้าคลิกที่ปุ่มสีแดง (ลูกศรชี้ขึ้น) ค่าของ PB% ก็จะเพิ่มขึ้น 0.1 เช่นกัน. สำหรับผู้ที่ใช้คีย์บอร์ด ต้องป้อนตัวเลขลงไปเองแล้วกดปุ่ม Enter หรือ Tab เพื่อเลื่อนไปแก้ไขพารามิเตอร์ตัวอื่น ส่วนผู้ที่ใช้เมาส์ก็สามารถเลื่อนเมาส์ไปคลิกที่พารามิเตอร์อื่นที่ต้องการแก้ไขได้เลย.

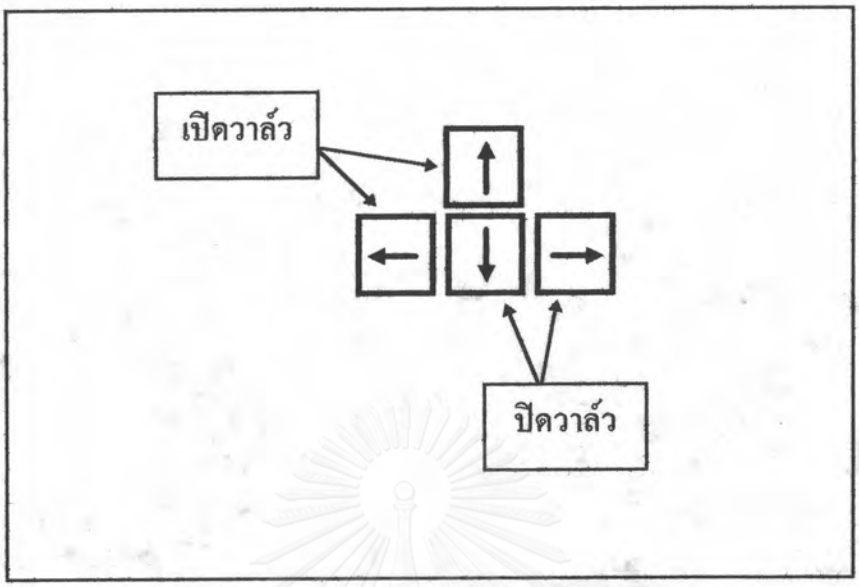
การตั้งโมดของการควบคุม (อัตโนมัติ; auto matic/ด้วยมือ; manual) กระทำได้โดยใช้เมาส์คลิกที่ปุ่ม 'auto' หรือ 'man' ของตัวควบคุมที่ต้องการ. ถ้าเลือกโมดควบคุมด้วยมือ, การควบคุมการปิดเปิดวาล์วด้วยมือสามารถกระทำได้โดยการกดปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงบนคีย์บอร์ด, ผู้เขียนมิได้ทำส่วนการควบคุมด้วยเมาส์

ไว้ให้ เพราะเข้าใจว่าการใช้คีย์บอร์ดจะทำให้ผู้ใช้ได้ภาพพจน์ที่ดีกว่า. ส่วนการเปิดปิดวาล์วควบคุมตัวที่ 2 กระทำได้โดยใช้ปุ่ม ลูกศรซ้ายและปุ่มลูกศรขวาดังรูปที่ 5.7

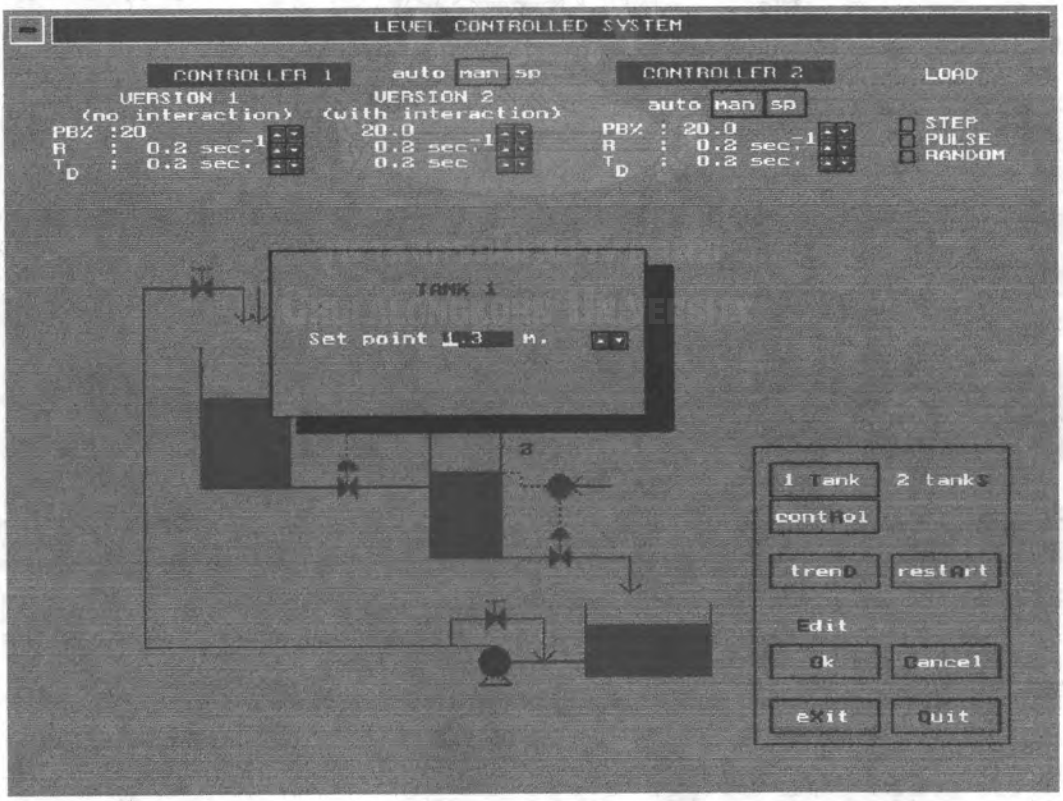
การแก้ไขเซ็ทพอยท์ก็สามารถกระทำได้ด้วยเมาส์ โดยคลิกที่ปุ่ม 'sp' แล้วแก้ไขค่าเซ็ทพอยท์ ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.6 หน้าจอแก้ไขค่า PB% ของตัวควบคุมตัวที่ 1



รูปที่ 5.7 ปุ่มควบคุมวาล์วควบคุมด้วยมือ

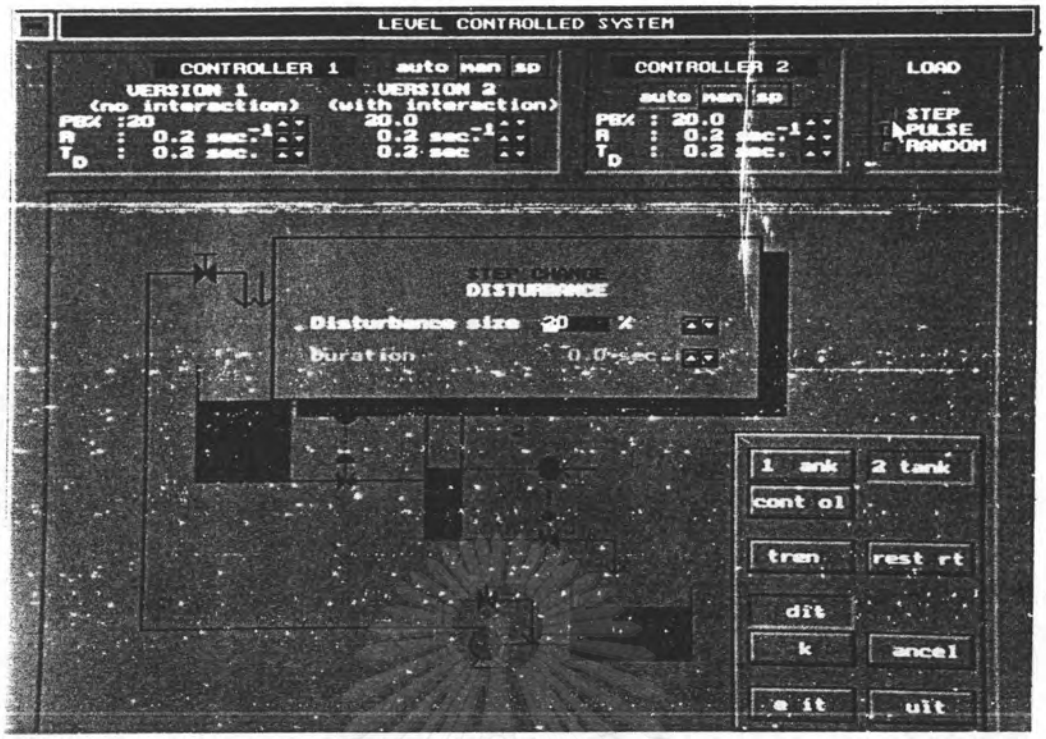


รูปที่ 5.8 หน้าจอแก้ไขเซ็ทพอยท์

การแก้ไขเงื่อนไขการรบกวนระบบ กระทำได้โดยใช้คีย์บอร์ดโดยใช้ปุ่ม Tab หรือเมาส์โดยคลิกที่ปุ่ม 'STEP', 'PULSE' หรือ 'RANDOM' ในช่องหน้าต่าง 'LOAD' ซึ่งอยู่ที่มุมบนขวาของจอภาพ. เมื่อท่านเลือก 'STEP' จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.9 เพื่อกำหนดขนาดของการรบกวนที่ช่อง 'Disturbance size' สำหรับช่อง 'Duration' นั้นทำเป็นสีเทาอ่อนไว้เพื่อแสดงว่าแก้ไขไม่ได้ เพราะการรบกวนแบบนี้ไม่ต้องการพารามิเตอร์นี้. ถ้าเลือกการรบกวนแบบพัลส์ก็ทำได้โดยวิธีเดียวกัน, แต่ในช่อง 'Duration' จะหมายถึงระยะเวลาที่จะเกิดการรบกวน หน่วยเป็นวินาที, สำหรับการรบกวนแบบสุ่มช่อง 'Disturbance size' จะใช้กำหนดค่าสูงสุดของการรบกวนทั้งด้านบวกและด้านลบ (เพราะขนาดของการรบกวนได้จากการสุ่ม) และช่อง 'Duration' ใช้กำหนดระยะเวลาของการรบกวนด้วยค่าที่สุ่มได้นั้น, เมื่อครบเวลาโปรแกรมจะทำการสุ่มขึ้นใหม่ซ้ำอยู่อย่างนี้ตลอดไป. การยกเลิกการรบกวนทำได้โดย เลือกการรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบสเต็พ โดยให้ขนาดการรบกวนเป็น 0% หรือเลือกการรบกวนด้วยฟังก์ชันพัลส์ โดยให้ขนาดการรบกวนเป็น 0% หรือคาบเวลาเป็น 0 วินาที.

ปุ่ม 'Ok' และปุ่ม 'Cancel'

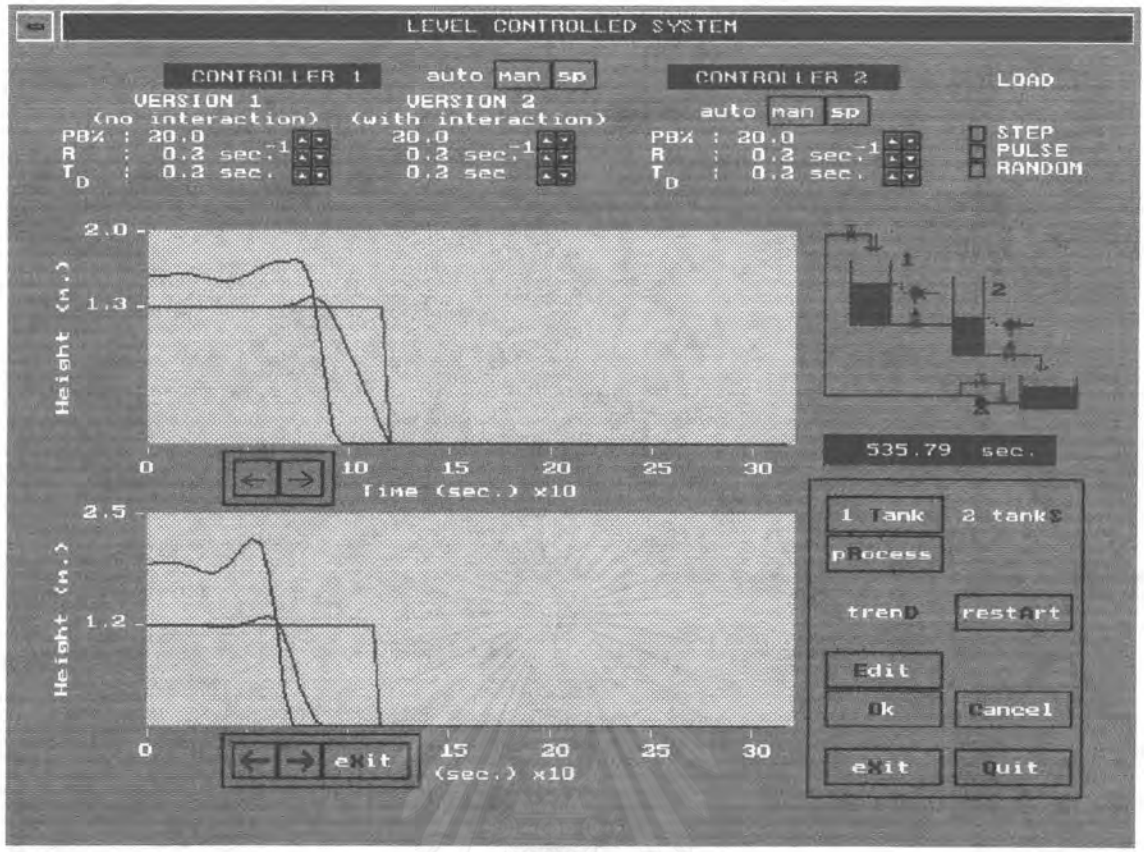
เมื่อผู้ใช้แก้ไขพารามิเตอร์ตามต้องการแล้ว และพอใจในการแก้ไขครั้งนี้ ก็กดปุ่ม 'Ok' บนแผงควบคุม แต่ถ้าเปลี่ยนใจยกเลิกการแก้ไขครั้งนี้ทั้งหมด ก็กดปุ่ม 'Cancel' ไม่ว่าผู้ใช้กดปุ่ม 'Ok' หรือ 'Cancel' TANKSIM จะกลับมาทำการเลียนแบบระบบต่อทันที การกดปุ่มทั้งหมดบนแผงควบคุมกระทำได้ทั้งด้วยเมาส์และคีย์บอร์ด.



รูปที่ 5.9 การตั้งการรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบสเต็พ.

ปุ่มกลุ่มที่ 3 บนแผงควบคุม

กลุ่มนี้จะประกอบด้วยปุ่ม 2 ปุ่ม คือ ปุ่ม 'restArt' และปุ่ม 'trenD'. ปุ่ม 'restArt' มีไว้เพื่อให้ TANKSIM เริ่มเลียนแบบระบบใหม่ทั้งหมด โดยใช้พารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดอยู่ในขณะนั้น ส่วนปุ่ม 'trenD' จะมีไว้เพื่อให้ผู้ใช้ดูเส้นกราฟในอดีต ซึ่งผู้เขียน TANKSIM ได้เก็บอดีตไว้ให้ดูยาวพอสมควร (ระยะเวลาขึ้นกับความละเอียดของการกำหนดจุดบนเส้นกราฟ TANKSIM เก็บอดีตไว้ 300 จุด) เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม 'trenD' จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 5.10.

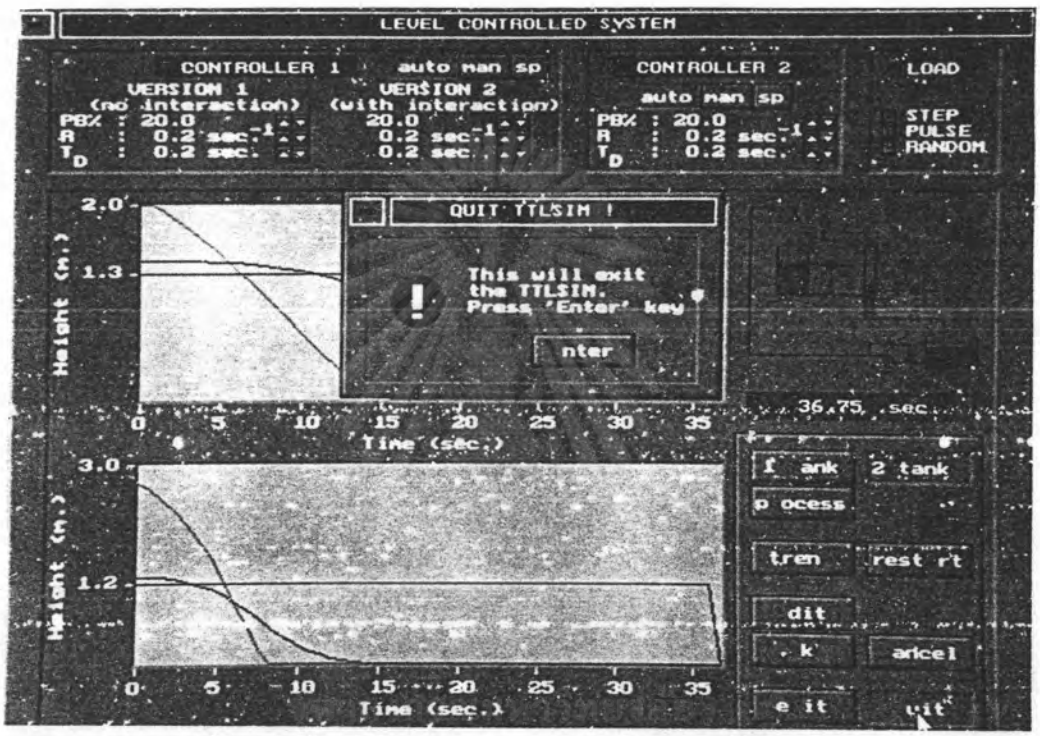


รูปที่ 5.10 หน้าจอดูประวัติการเลียนแบบระบบ.

จากรูปที่ 5.10 ผู้อ่านจะเห็นว่า ที่ใต้รูปกราฟจะมีลูกศรซ้าย/ขวา. การเลื่อนดูเส้นกราฟกระทำได้โดยการคลิกเมาส์ที่ตำแหน่งลูกศรนั้น หรือใช้คีย์บอร์ดโดยกดปุ่มลูกศรซ้าย/ขวา, รูปของเส้นกราฟที่มีลูกศรสว่างจะถูกเลื่อนไป การเลือกรูปกราฟที่จะเลื่อนดูประวัติ ทำได้โดยใช้เมาส์คลิกที่ลูกศรที่ต้องการ (ซึ่งเป็นสีเทา) หรือใช้ 'Tab' บนคีย์บอร์ด รูปลูกศรของรูปกราฟอีกรูปหนึ่งก็จะสว่างขึ้นแทนเป็นสัญญาณว่าการควบคุมการเลื่อนรูปกราฟจะมีผลต่อกราฟรูปนั้น. การเลิกดูประวัติการเลียนแบบระบบกระทำได้โดยการกดปุ่ม 'eXit' ที่อยู่ข้างปุ่มลูกศรบนจอภาพ (โดยกดคีย์ 'X' หรือใช้เมาส์คลิก) ซึ่ง TANKSIM จะทำการเลียนแบบระบบต่อไป.

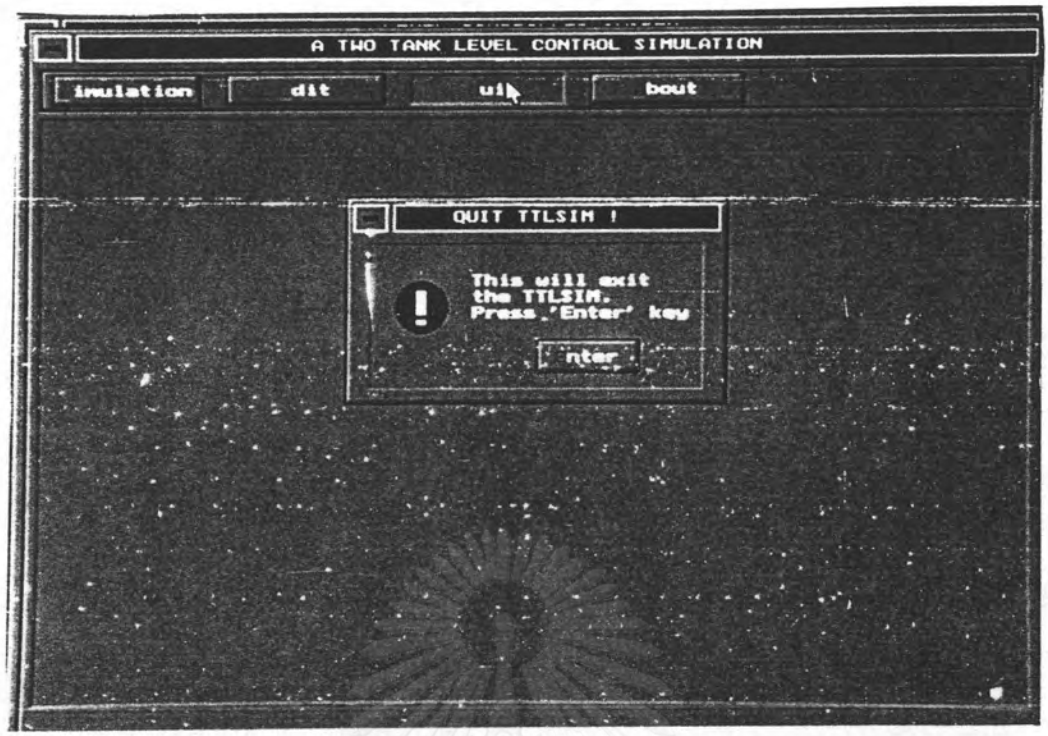
ปุ่มกลุ่มที่ 4 บนแผงควบคุม

ปุ่มกลุ่มนี้เป็นทางออกจากหน้าจอการเลียบแบบระบบ โดยจะประกอบด้วยปุ่ม 2 ปุ่ม คือ 'eXit' และ 'Quit' ปุ่ม 'eXit' จะเป็นทางออกเพื่อกลับไปยังหน้าจอหลัก ดังรูปที่ 5.2, ส่วนปุ่ม 'Quit' จะเป็นทางออก จาก TANKSIM (เลิกใช้งาน) ซึ่งจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.11.



รูปที่ 5.11 หน้าจอออกจาก TANKSIM ทางหน้าจอเลียนแบบระบบ.

นอกจากนี้การออกจาก TTLSIM สามารถกระทำได้โดยกดปุ่ม "Quit" จากหน้าจอหลักดังได้กล่าวไว้ ในต้นบทที่ 5 นี้แล้ว หน้าจอเป็นดังรูปที่ 5.12.

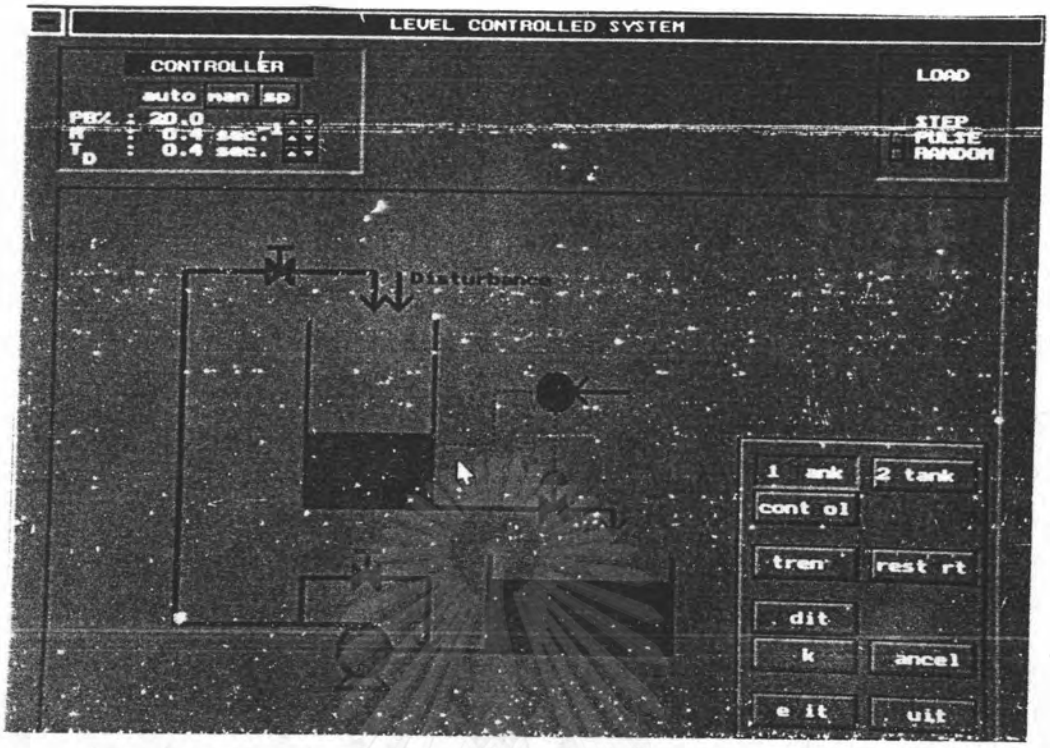


รูปที่ 5.12 หน้าจอการออกจาก TANKSIM ทางหน้าจอหลัก.

ส่วนที่ 3 ส่วนแสดงผล

ส่วนนี้อยู่กลางจอภาพ ใช้สำหรับแสดงผลของการเลียนแบบระบบ ซึ่งแสดงผล 2 แบบ. แบบแรกเป็นกราฟ 2 รูป รูปบนเป็นผลตอบในถังที่ 1 และรูปล่างเป็นผลตอบในถังที่ 2. เส้นกราฟสีแดงคือเซ็ทพอยท์, สีน้ำเงินคือตัวแปรกระบวนการซึ่งในที่นี้คือระดับของของเหลวในถัง ส่วนเส้นสีเขียวอ่อนคือระดับการเปิดของวาล์วควบคุม.

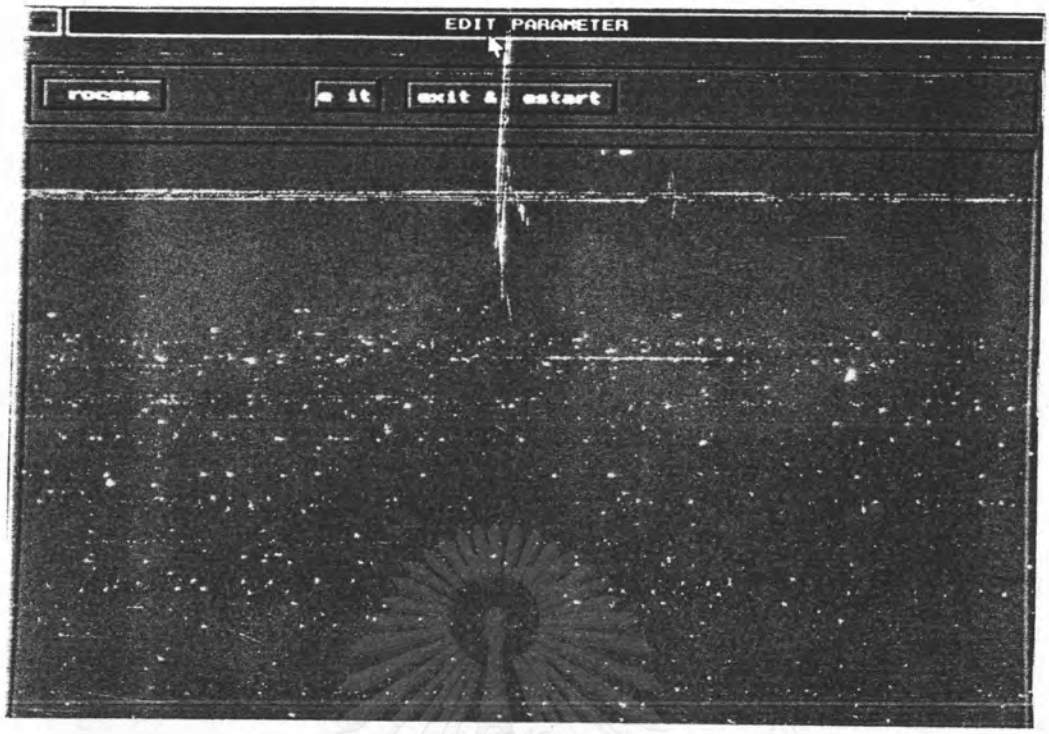
หน้าจอเลียนแบบระบบทั้งหมดที่กล่าวแล้วนี้ กล่าวเฉพาะการเลียนแบบระบบ 2 ถังเท่านั้น แต่ดังได้กล่าวแล้วว่าโปรแกรม TANKSIM รวมส่วนของการจำลองระบบถังเดียวไว้ด้วย ส่วนติดต่อกับผู้ใช้และวิธีใช้งานยังคงเหมือนส่วนของสองถัง. ตัวอย่างหน้าจอการจำลองระบบถังเดียวแสดงในรูปที่ 5.13.



รูปที่5.13 หน้าจอหนึ่งของการจำลองระบบถังเดียว.

ค. หน้าจอแก้ไขพารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุม

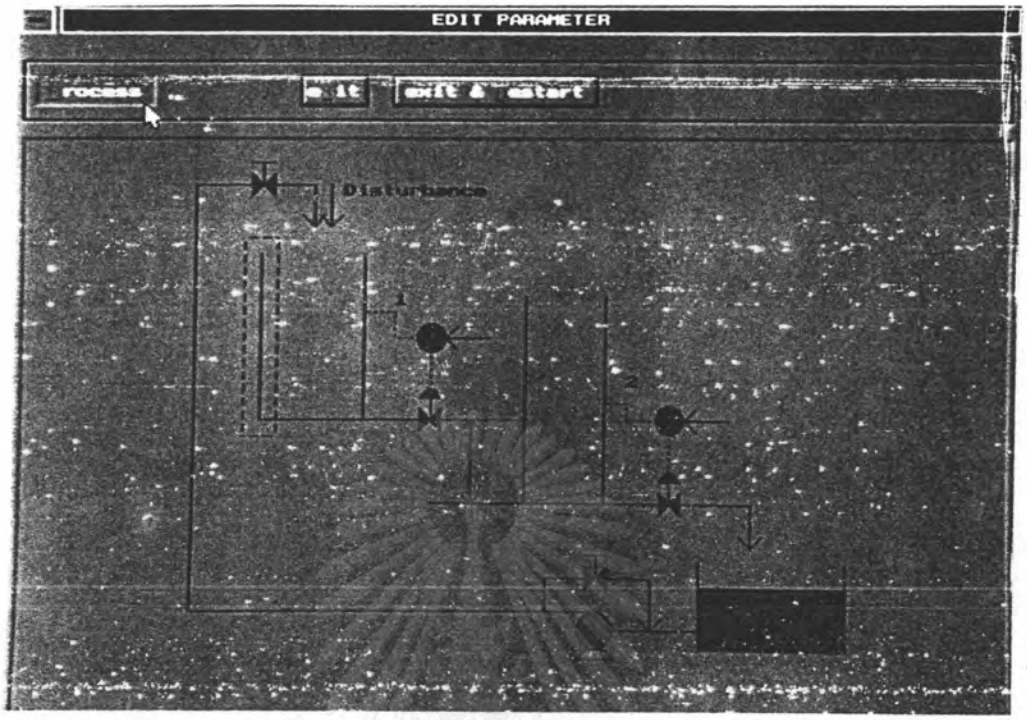
หน้าจอนี้มีไว้เพื่อให้ผู้ใช้แก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบและตัวควบคุม, ผิดกับในหน้าจอที่กล่าวถึงในข้อ ข. ซึ่งไม่สามารถแก้ไขพารามิเตอร์ของระบบได้ เพราะผู้เขียนต้องการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการแก้ไขพารามิเตอร์ที่มักจะต้องทดลองปรับแก้บ่อยๆ จึงเปิดทางให้แก้ได้โดยตรงบนหน้าจอเลียนแบบระบบนั้นเลย แต่ยกส่วนที่มักไม่ค่อยแก้ไขมาผนวกไว้ในหน้าจอที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้หน้าจอเลียนแบบระบบในข้อ ข. ดูรุงรังเกินไป.



รูปที่ 5.14 หน้าจอแก้ไขพารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุม.

หน้าจอแก้ไขพารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุมแสดงในรูปที่ 5.14. ซึ่งเป็นผลมาจากการกดปุ่ม 'Edit' ในหน้าจอหลัก. ในหน้าจอนี้จะมีปุ่มให้เลือก 3 ปุ่มคือ 'Process', 'eXit' และ 'exit & Restart'. โดยทั่วไปน่าจะมีเพียงปุ่มเดียวคือปุ่ม "eXit" โดยเมื่อเข้าสู่หน้าจอนี้แล้วก็สามารถแก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ทันที แต่ในที่นี้ผู้ใช้ต้องกดปุ่ม 'Process' เสียก่อนจึงจะทำการแก้ไขพารามิเตอร์ได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะผู้เขียนทำเผื่อไว้ หากมีการเพิ่มเติมหน้าจอหรือรูปแบบการแก้ไขพารามิเตอร์ใหม่ๆ ก็จะทำได้ง่าย โดยการเพิ่มปุ่มและฟังก์ชันลงบนหน้าจอนี้ ส่วนปุ่ม 'exit & Restart' ใช้สำหรับเป็นทางออกสู่หน้าจอหลักพร้อมทั้งกำหนดให้ TANKSIM ทำการเลียนแบบระบบใหม่ตั้งแต่ต้น โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้แก้ไขมา เมื่อผู้ใช้เรียกหน้าจอเลียนแบบระบบในข้อ ข.

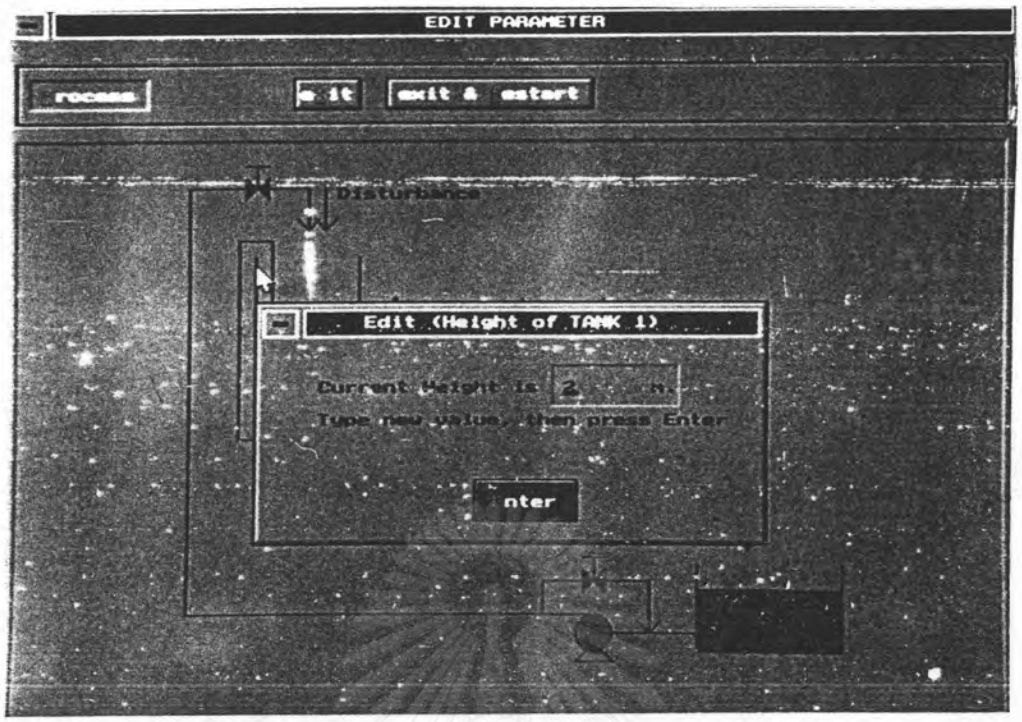
เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม 'Process' จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.15.



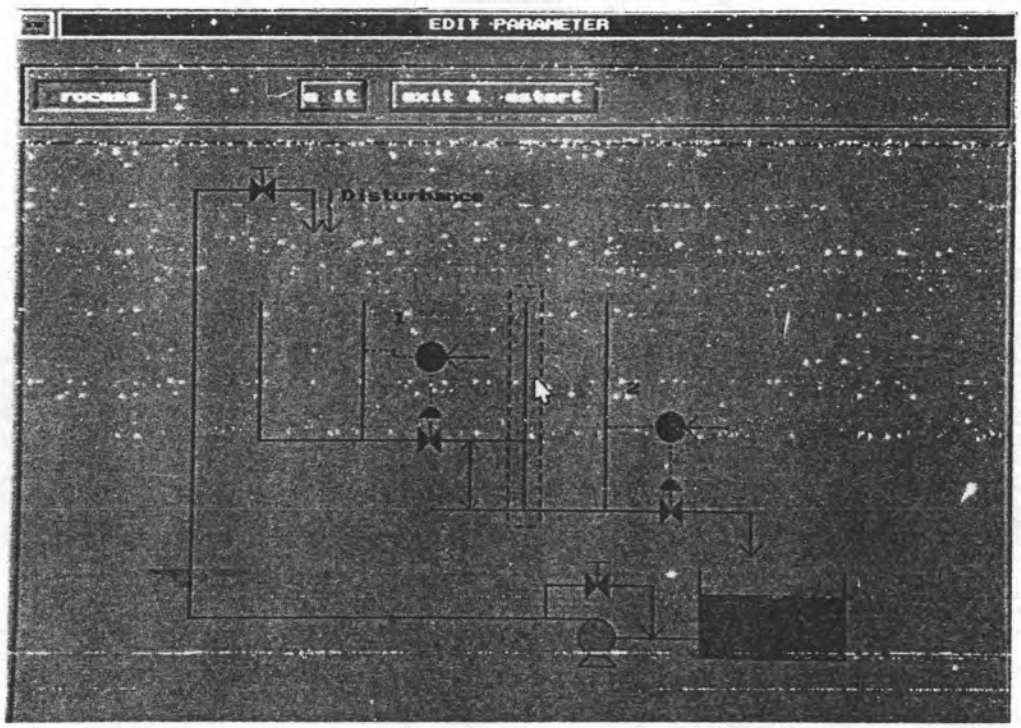
รูปที่ 5.15 หน้าจอการเข้าสู่การแก้ไขพารามิเตอร์.

การใช้หน้าจอนี้ ผู้ใช้คีย์บอร์ดหรือเมาส์แก้ไขส่วนต่างๆ ของรูป ได้โดยการใช้ปุ่ม 'Tab' หรือคลิกเมาส์ (ใช้ได้ทั้งแบบคลิก 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง) ซึ่งจะสังเกตเห็นเป็นเส้นประ รอบจุดที่ต้องการแก้ไขพารามิเตอร์ ดังในรูปที่ 5.15 จะเห็นมีกรอบเส้นประรอบส่วนสูงของถังที่ 1 หมายความว่าหากกดปุ่ม 'Enter' บนคีย์บอร์ด หรือคลิกเมาส์ในกรอบเส้นประนี้ ก็จะสามารถแก้ไขความสูงของถังที่ 1 ได้.

เมื่อผู้ใช้เลือกแก้ไขความสูงของถังจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 5.16 การป้อนตัวเลขความสูงของถัง ผู้ใช้ต้องป้อนด้วยคีย์บอร์ด เมื่อพอใจแล้วกดปุ่ม 'Esc' หรือคลิกเมาส์ที่บริเวณที่กำหนดไว้หรือบริเวณใดๆ นอกหน้าต่างของการแก้ไขความสูงของถังที่ 1.



รูปที่ 5.16 หน้าจอการแก้ไขความสูงของถังที่ 1.

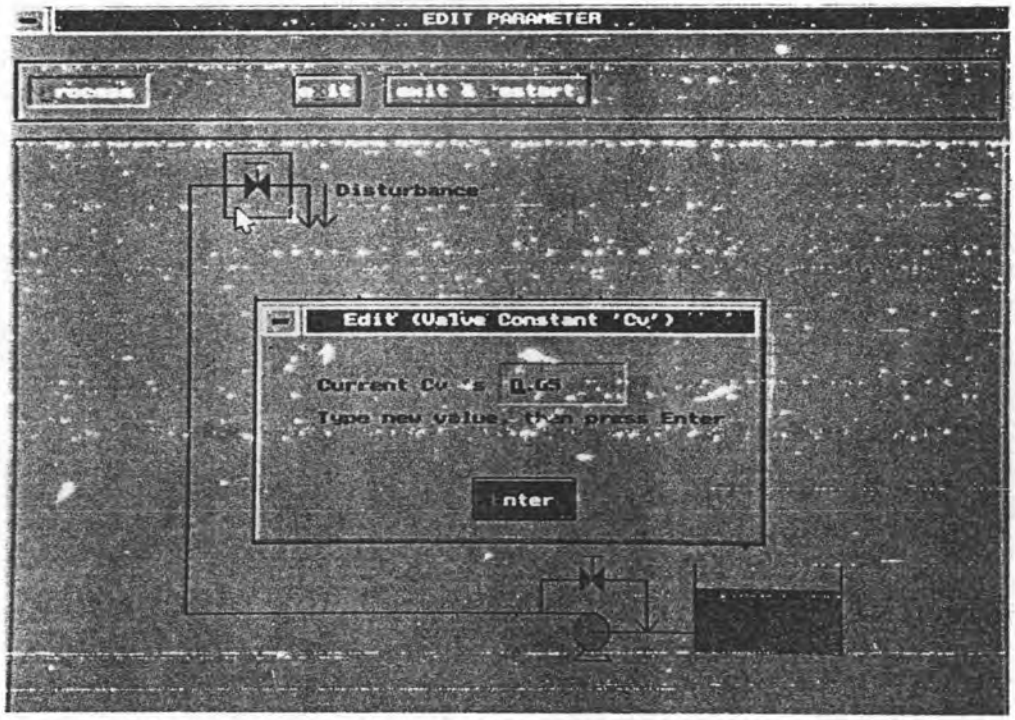


รูปที่ 5.17 ภาพไดอะแกรมของระบบที่เปลี่ยนไป.

การแก้ไขความสูงของถังที่ 2 ก็กระทำได้โดยวิธีเดียวกันดังรูปที่ 5.17.

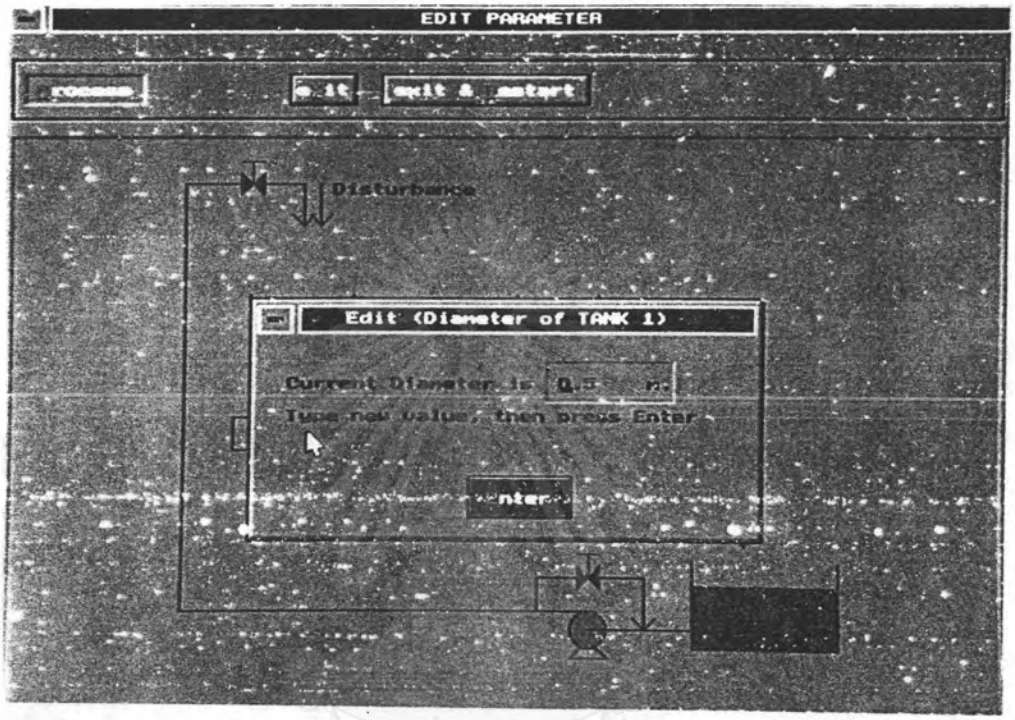
ในรูปที่ 5.17 จะพบว่าภาพไดอะแกรมของระบบเปลี่ยนไป คือความสูงของถังทั้งสอง และระยะตำแหน่งที่ป้อนของเหลวเข้าสู่ถังที่ 2 จะเป็นสัดส่วนกับค่าที่ป้อนจริง นั่นคือ เมื่อมีการแก้ไขพารามิเตอร์ 3 ตัวนี้ TANKSIM จะทำการขยับตำแหน่ง และกำหนดสเกลของความสูงใหม่ทันที (ส่งผลถึงหน้าจอเลียนแบบระบบด้วย) แต่ทั้งนี้การกำหนดสเกลจะไม่สัมพันธ์กับความกว้างของถังทั้งสอง เพราะผู้เขียนประเมินว่าอาจมีการแก้ไข ความกว้าง และความสูงของถังทั้งสองไปในแนวทางที่มีค่าตัวเลขต่างกันมากๆ การกำหนดสเกลสัมพันธ์กันหมด อาจทำให้สังเกตสัดส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางของถังทั้งสองได้ยาก.

การแก้ไขค่าคงที่ของวาล์ว V_1 และ V_2 ก็กระทำได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างการแก้ไขดังรูปที่ 5.18.



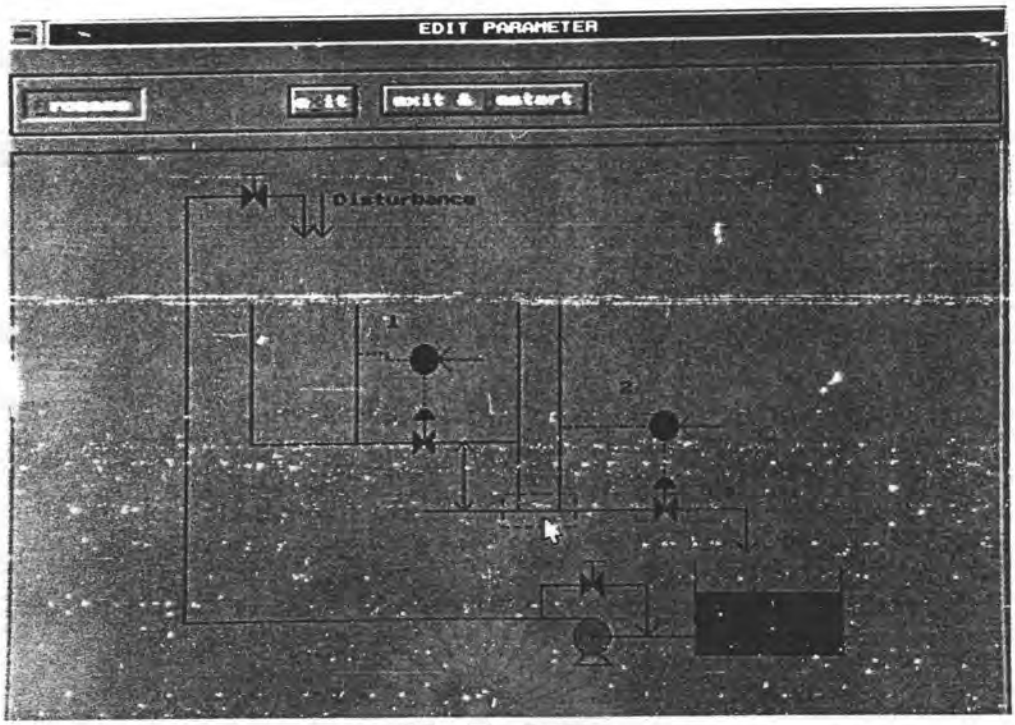
รูปที่ 5.18 หน้าต่างการแก้ไขค่าคงที่ของวาล์ว V_1.

สำหรับการแก้ไขเส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ 1 และ ถังที่ 2 ก็ทำได้ด้วยวิธีเดียวกับพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ. เมื่อทำการแก้ไขล้ว TANKSIM ก็จะทำการปรับภาพขนาดของถัง ให้สอดคล้องกับอัตราส่วนใหม่ของเส้นผ่าศูนย์กลางของถังทั้งสองที่ผู้ใช้กำหนด ดังรูปที่ 5.19 และ 5.20.



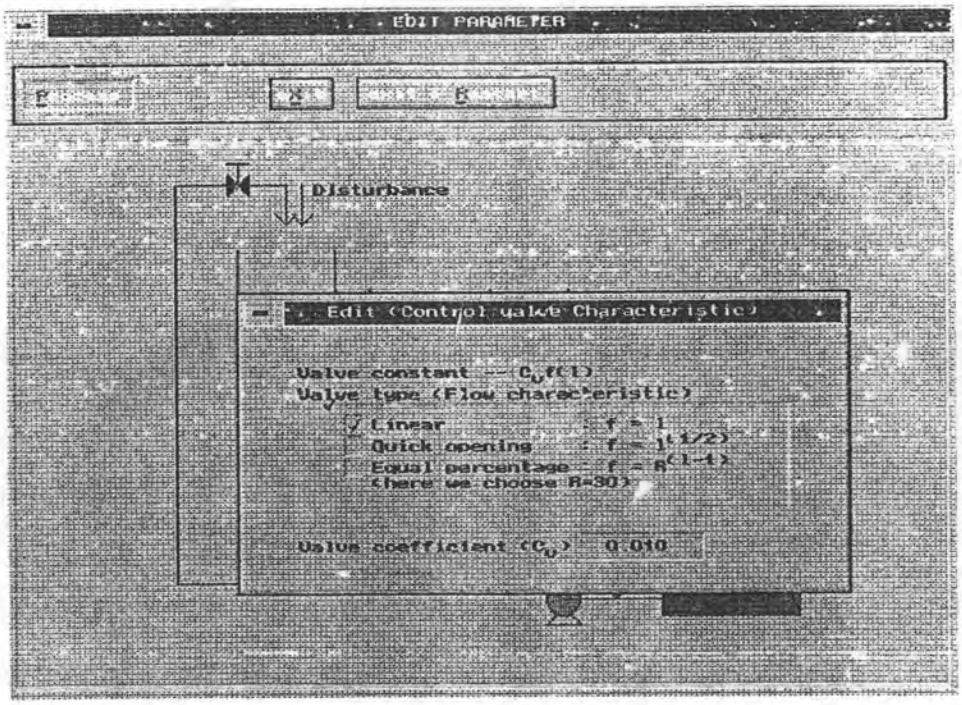
รูปที่ 5.19 หน้าต่างการแก้ไขเส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ 1.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



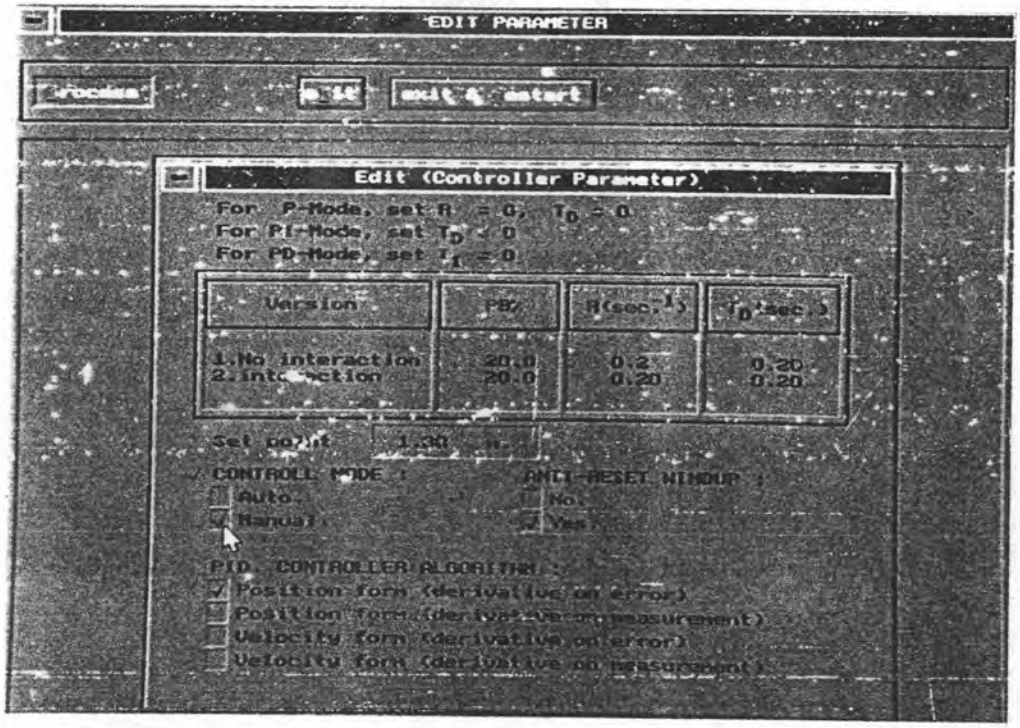
รูปที่ 5.20 เส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ถูกปรับให้เป็นอัตราส่วนกันระหว่างถังที่ 1 และถังที่ 2.

เมื่อเลือกแก้ไขพารามิเตอร์ของวาล์วควบคุมตัวที่ 1 จะปรากฏหน้าต่างการแก้ไขดังรูปที่ 5.21.



รูปที่ 5.21 หน้าต่างการแก้ไขพารามิเตอร์ของวาล์วควบคุมตัวที่ 1.

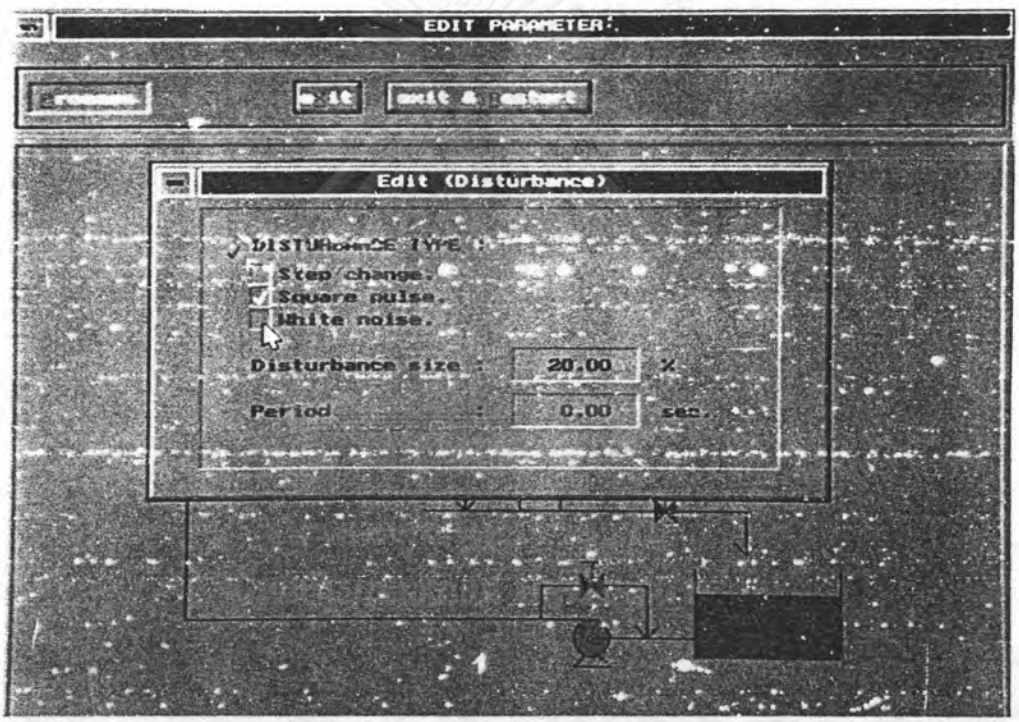
หน้าต่างในรูปที่ 5.21 จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้เลือกชนิดของวาล์วควบคุม, ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 และ 4 ซึ่งถ้าการแก้ไขอยู่ในส่วนแรกนี้ จะมีเครื่องหมายถูกสีแดงอยู่ที่กลุ่มของหัวข้อที่จะเลือก. การเลือกชนิดของวาล์วควบคุม กระทำได้โดยการเลื่อนเครื่องหมายถูกสีฟ้าด้วยปุ่มลูกศรขึ้น/ลงบนคีย์บอร์ด. เมื่อพอใจแล้วให้กดปุ่ม 'Tab' การแก้ไขพารามิเตอร์จะเข้าสู่ส่วนที่สอง คือการกำหนดค่าคงที่ของวาล์ว (C_v) หากผู้ใช้ต้องการกลับไปแก้ชนิดของวาล์ว ก็กระทำได้โดยกดปุ่ม 'Tab' เช่นเดิม. การออกจากหน้าต่างนี้ กระทำได้โดยการกดปุ่ม 'Esc'. การเลือกชนิดของวาล์วและการแก้ไขค่าคงที่ของวาล์วสำหรับผู้ใช้ที่ใช้เมาส์ สามารถกระทำได้ง่าย โดยคลิกที่ตำแหน่งที่ต้องการ และออกจากหน้าต่างนี้โดยคลิกที่บริเวณใดๆ นอกหน้าต่างนี้.



รูปที่5.22 หน้าต่างแก้ไขพารามิเตอร์ของตัวควบคุม.

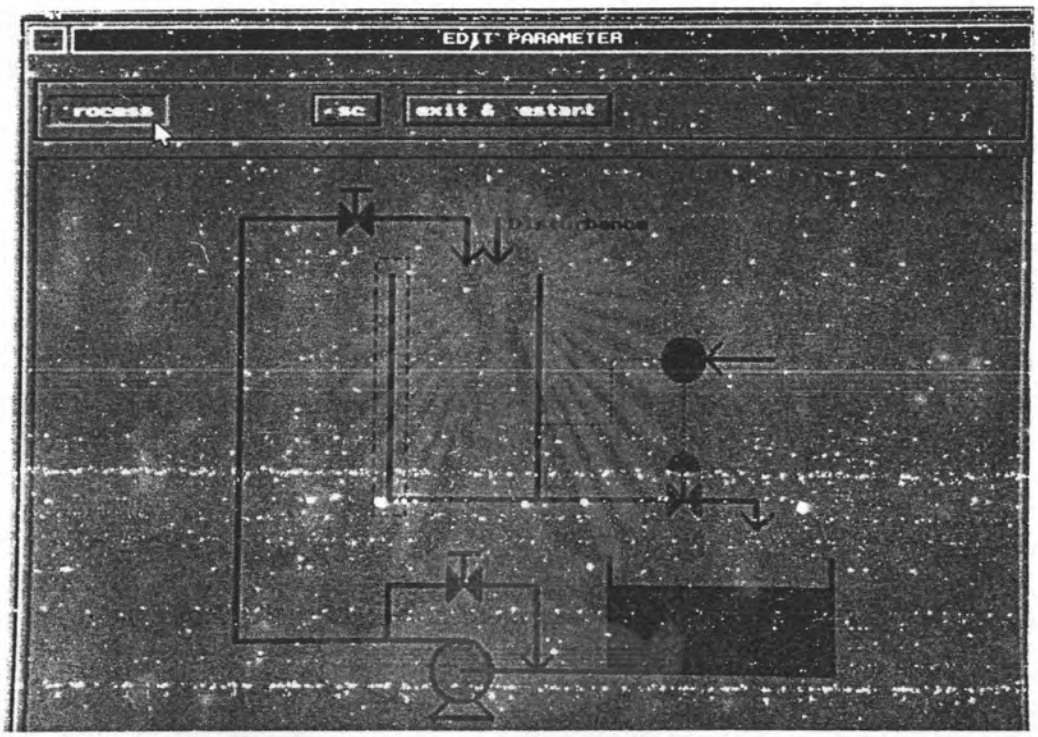
การแก้ไขพารามิเตอร์ของตัวควบวคุมตัวที่ 1 (หรือ 2) ก็กระทำได้ในทำนองเดียวกันกับการแก้ไขพารามิเตอร์ของวาล์วควบคุม และจะปรากฏหน้าต่างการแก้ไขพารามิเตอร์ดังรูปที่ 5.22 ในรูปที่5.22 จะเห็นว่ามีพารามิเตอร์มากมายให้แก้. ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจความหมายของพารามิเตอร์แต่ละตัวโดยย้อนไปอ่านในบทที่3 และ 4. อนึ่ง เมื่อผู้ใช้เปลี่ยนค่าเซ็ทพอยท์, ตำแหน่งของเส้นสัญญาณค่าวัดจะถูกปรับไปสู่ตำแหน่งที่เป็นสัดส่วนจริงบนถังที่เกี่ยวข้อง. โปรดสังเกตภาพไดอะแกรมเมื่อออกจากหน้าต่างนี้แล้ว

หน้าต่างการแก้ไขการรบกวนแสดงดังรูปที่ 5.23.



รูปที่ 5.23 หน้าต่างแก้ไขการรบกวนระบบ.

สำหรับในระบบถังเดียววิธีแก้ไขพารามิเตอร์และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ก็เป็นทำนองเดียวกับในระบบสองถัง ภาพไดอะแกรมก่อนเลือกหน้าต่างแก้ไขพารามิเตอร์แสดงดังรูปที่ 5.24.



รูปที่ 5.24 หน้าจอภาพไดอะแกรมการแก้ไขพารามิเตอร์ในระบบถังเดียว.

5.3 ผลการเลียนแบบระบบ

การใช้โปรแกรม TANKSIM ในการวิจัยนี้จะแยกศึกษาเป็นกรณีต่างๆ โดยใช้การจูนตัวควบคุมแบบทดลอง-สอบผล ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 5.3.7 และตามวิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม 6 กรณี คือ กรณีไม่มีการกระทบกันระหว่างถังทั้งสอง, กรณีมีการกระทบกัน, กรณีใช้พารามิเตอร์ของตัวควบวคุมชุดเดียว, กรณีเกิดการรบกวนจากภายนอก, กรณีใช้วาล์วควบคุมแบบไม่เชิงเส้น และกรณีตั้งเซ็ทพอยท์ไว้ที่จุดกระทบกันของถังทั้งสอง. โดยในสองกรณีแรกจะเป็นการจูนตัวควบคุมตัวที่ 1 เพื่อดูผลตอบ แล้วนำพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้ไปใช้ในการศึกษาในกรณีที่ 3, 4 และกรณีที่ 6.

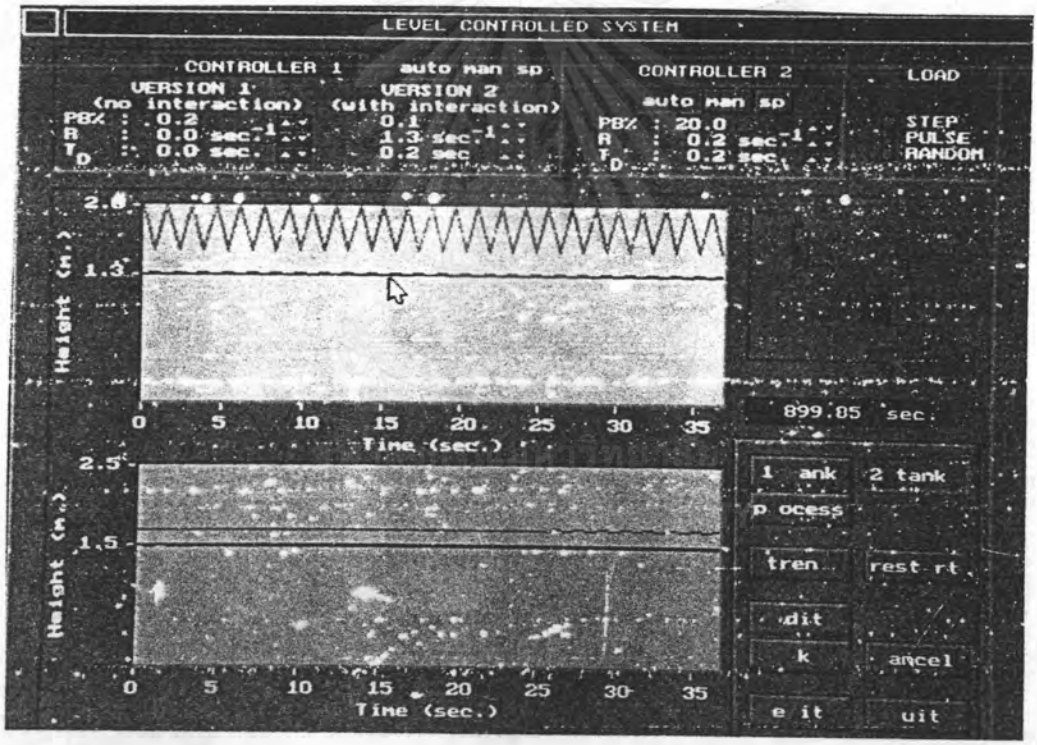
อนึ่ง ระบบที่ทำการวิจัยนี้สามารถควบคุมได้ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยมีพารามิเตอร์ของระบบและของตัวควบคุมดังที่ตั้งไว้เป็นค่าเริ่มต้นของ TANKSIM โดยพารามิเตอร์ของตัวควบคุม คือ PB% = 20%, R = 0.2 วินาที $^{-1}$ และ T_D = 0.2 วินาที โดยใช้ค่านี้ในทั้งสองชุดของตัวควบคุมตัวที่ 1 และในตัวควบคุมตัวที่ 2 ด้วย. การกำหนดค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยสมมติสุ่มขึ้นเองโดยไม่มีหลักเกณฑ์ใดๆ ฉะนั้นจึงไม่ได้ให้ผลตอบที่ดี แต่เป็นไปตามที่ผู้วิจัยตั้งใจไว้ คือเพียงเพื่อให้ TANKSIM ทำงานได้เองเมื่อถูกเรียกใช้.

5.3.1 กรณีไม่มีการกระทบกัน (ไม่ส่งผลกระทบกัน) ระหว่างถังทั้งสอง

ดังได้กล่าวแล้วว่า ระบบนี้สามารถควบคุมได้ด้วยพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ที่กำหนดขึ้นโดยการทดลองเดาสุ่มที่ไม่หวังผลการควบคุมที่ดีที่สุด. ในหัวข้อนี้จะทดลองจูนตัวควบคุมโดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม (แบบเกนสุดยอด) เพราะเป็นวิธีที่รู้จักกันดี. สำหรับ

โดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม (แบบเกนสุดยอด) เพราะเป็นวิธีที่รู้จักกันดี. สำหรับวิธีของ Ziegler-Nichols แบบปรับปรุง คือแบบมีโอเวอร์ชูทเล็กน้อย และแบบไม่มีโอเวอร์ชูท ผู้เขียนได้ทดลองใช้จูนตัวควบคุมด้วยซึ่งให้ผลที่คล้ายๆ กันกับการจูนแบบดั้งเดิม จึงจะขอข้ามไป.

หลังจากที่กระทำตามขั้นตอนของการจูนแล้ว ได้ลักษณะของเส้นกราฟที่แสดงถึงการแกว่งของตัวแปรระบบ คือระดับของของเหลวในถังที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.25.



รูปที่ 5.25 ลักษณะการแกว่งของระดับของเหลวในถังที่ 1 เมื่อกระทำตามขั้นตอนการจูนตัวควบคุมตามวิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม.

โดยค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากรูปที่ 5.25 จะแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งค่า PB% ที่แสดงในรูปที่ 5.25 เป็นค่าที่ได้จากการปัดเศษทศนิยม 1 ตำแหน่ง ซึ่งถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม TANKSIM.

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการจูนตัวควบคุมตัวที่ i ในขณะที่ไม่มีการกระทบกันในระบบ.

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
PB_U%	0.17%
Kc_U	1388.9
Pu	3.00
PB% (ที่คำนวณได้)	0.120
R (ที่คำนวณได้)	0.667
τ_D (ที่คำนวณได้)	0.375

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ ไปตั้งที่ตัวควบคุม พบว่าให้ผลตอบที่ไม่ดีนัก คือ มีการแกว่งของระดับของเหลวหลายครั้งก่อนจะคงตัว. แต่ผู้วิจัยทราบว่าระบบไม่คงตัวจริงโดยดูจากเส้นกราฟของการเปิดปิดวาล์วที่ยังแกว่งอยู่ ซึ่งแสดงว่าการจูนนั้นไม่ถูกต้อง ทั้งนี้ ผู้วิจัยคาดว่าอาจเกิดจากสาเหตุใหญ่ๆ คือ การแก้สมการอนุพันธ์ด้วยวิธีของออยเลอร์ ที่อาจให้คำตอบผิดพลาด

ในกรณีที่ตัวแปรมีการเปลี่ยนค่าที่รวดเร็ว. ประการที่สองอาจเกิดจากความละเอียดของการแสดงผลบนหน้าจอ ซึ่งการแกว่งของระดับของเหลวดังรูปที่ 5.25 อาจเกิดขึ้นก่อนที่ค่า PB% จะเป็น 0.17 % แต่แกว่งเบามาก การแสดงผลจึงผิดพลาด. ฉะนั้น การปรับปรุงโปรแกรม TANKSIM ในอนาคตอาจมีการขยายค่าของพารามิเตอร์เพื่อวาดกราฟโดยเป็นปุ่มฉุกเฉินให้ผู้ใช้เลือกขณะที่ TANKSIM ทำการเลียนแบบระบบ. ประการที่สาม ระดับของของเหลวอาจแกว่งก่อนหน้านี้แล้วแต่ผู้วิจัยไม่สังเกตเห็น เพราะการวาดกราฟไม่ได้กระทำทุกครั้งที่มีการอ่านค่าระดับของเหลว ทั้งนี้เพื่อไม่ให้โปรแกรมต้องเสียเวลาในการวาดกราฟ. การข้ามการวาดกราฟหลายๆ จุด อาจทำให้ได้เส้นกราฟที่ไม่ตรงความจริง เพราะ TANKSIM เก็บข้อมูลมาวาดกราฟ 1 ครั้งในขณะที่ตัวควบคุมอ่านระดับของของเหลว 15 ครั้ง. ประการสุดท้าย, ระบบนี้มีเดทไทม์น้อย (ผู้อ่านจะสังเกตได้เมื่อได้ใช้โปรแกรม TTLSIM) ทำให้การจูนโดยวิธีนี้มีข้อผิดพลาดเนื่องจากการอ่านเส้นกราฟมาก. ผลของการจูนแสดงในรูปที่ 5.27.

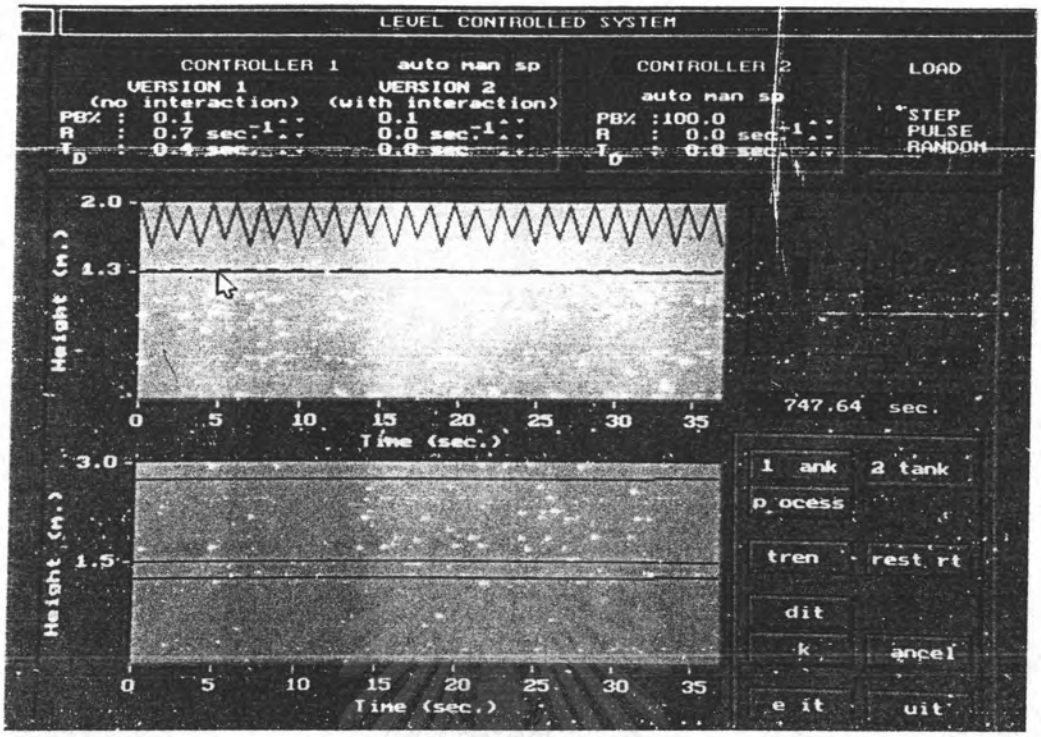
5.3.2 กรณีมีการกระทบกัน

การจูนระบบที่จะยกตัวอย่างต่อไปนี้ กระทำที่พารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ ดังตารางที่ 5.2.

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุมที่ใช้ก่อนจูนตัวควบคุม ในกรณีที่มีการกระทบกัน.

พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
เส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ 1	0.5 เมตร
ความสูงของถังที่ 1	2.0 เมตร
เซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมตัวที่ 1	1.3 เมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางของถังที่ 2	1.0 เมตร
ความสูงของถังที่ 2	2.5 เมตร
เซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมตัวที่ 2	1.5 เมตร
วาล์วควบคุมทั้ง 2 ตัว ชนิดของลิ้นวาล์ว ค่าคงที่	 เชิงเส้น 0.01
ตำแหน่งของการรบกวนเทียบกับถังที่ 2	1.2

พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการจูนแสดงดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.26.



รูปที่ 5.26 การแกว่งด้วยเกนสุดยอด ของการจูนตัวควบคุมตัวที่ 1 เมื่อมีการกระทบกัน.

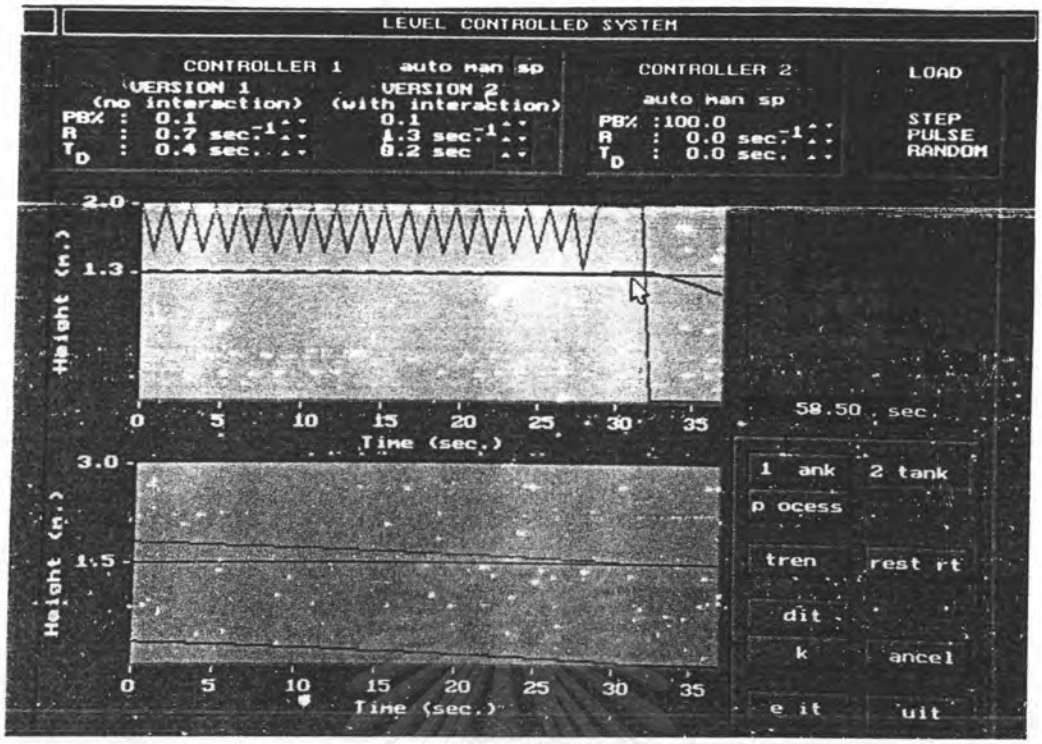
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการจูนตัวควบคุมตัวที่ 2 ในขณะที่มีการกระทบกันในระบบโดยเงื่อนไขตามตารางที่ 5.2.

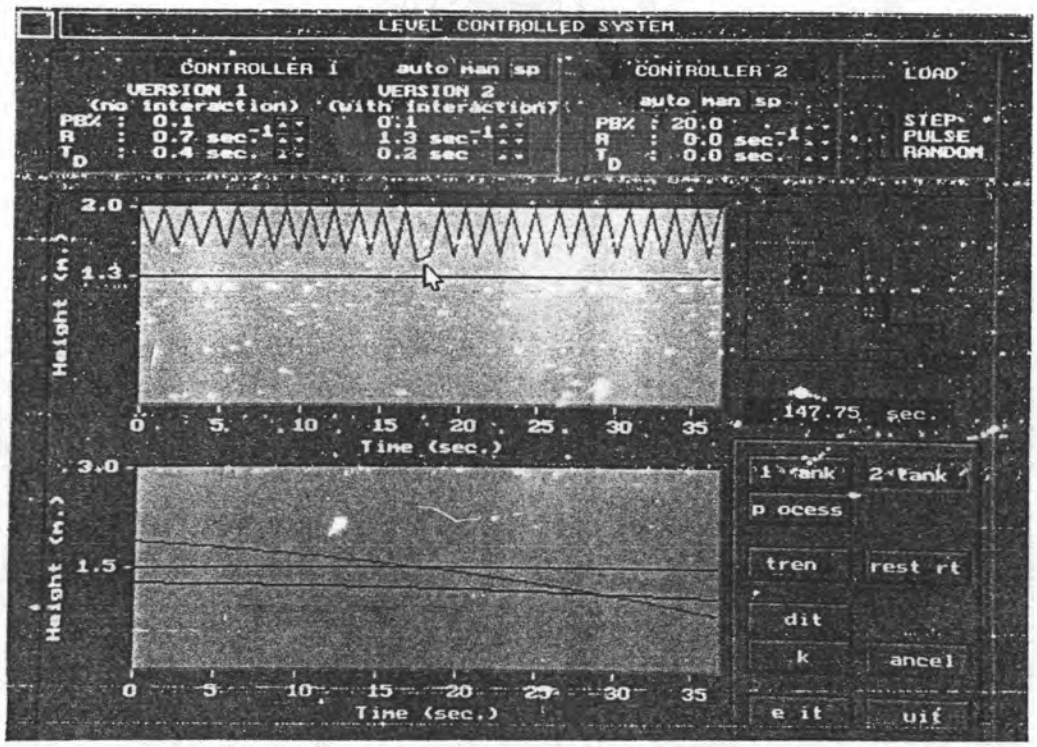
พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์
PB_U%	0.063%
Kc_U	1587.3
Pu	1.562
PB% (ที่คำนวณได้)	0.105
R (ที่คำนวณได้)	1.28
τ_D (ที่คำนวณได้)	0.195

ผลของการจูนเป็นทำนองเดียวกับกรณีไม่กระทบกันในหัวข้อ 5.3.1.

ผลการจูนในกรณีไม่กระทบกัน และกระทบกัน แสดงในรูปที่ 5.27 และ 5.28 เพื่อความเข้าใจมากขึ้น ขอให้ผู้อ่านพิจารณารูปที่ 5.27 บริเวณที่เกิดการแกว่งของระดับของเหลวก่อนจะคงตัว และพิจารณารูปที่ 5.28 บริเวณที่เริ่มกระทบกัน (ในกราฟรูปบนที่ลูกศรชี้) คือบริเวณที่ระดับของของเหลวในถังที่ 2 ประมาณ 1.2 เมตร.



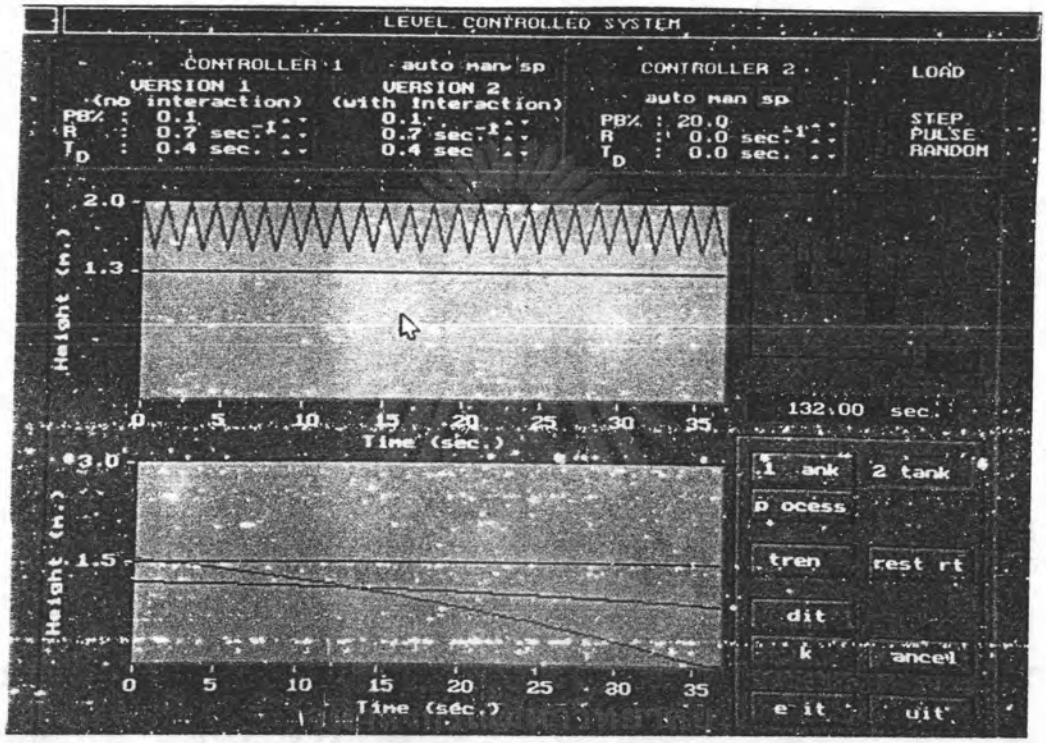
รูปที่ 5.27 การตอบสนองของระบบที่จูนแล้วในช่วงแรก.



รูปที่ 5.28 การตอบสนองของระบบที่จูนแล้วช่วงกระทบกัน.

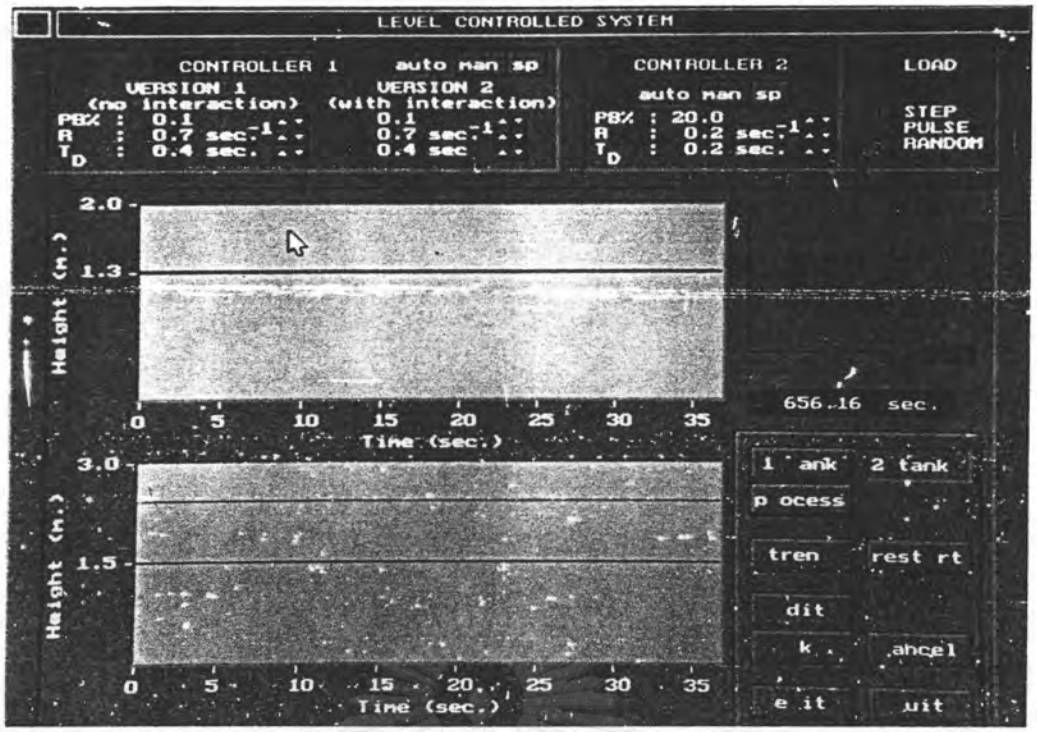
5.3.3 กรณีใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมชุดเดียว

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาว่า หากใช้ตัวควบคุมแบบธรรมดา คือมีพารามิเตอร์เพียงชุดเดียว จะให้ผลตอบเป็นอย่างไร กระทำโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการจูนในหัวข้อ 5.3.1 และ 5.3.2 ดังรูปที่ 5.29, 5.30 และ 5.31.

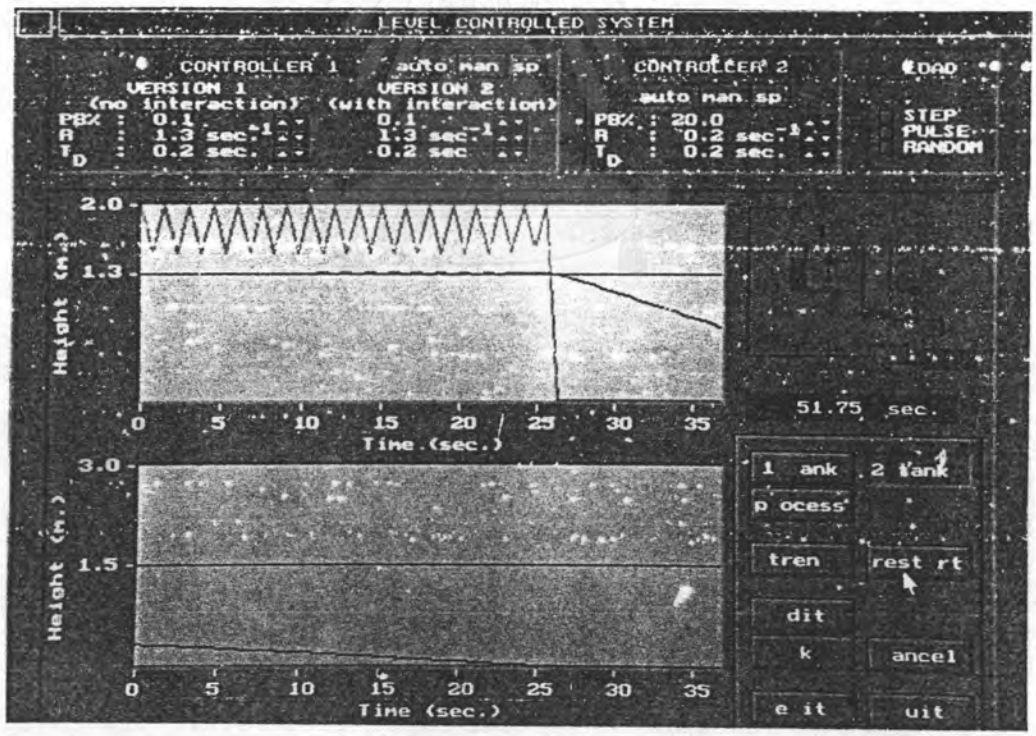


รูปที่ 5.29 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จาก

การจูนระบบที่ไม่กระทบกันที่บริเวณเริ่มกระทบ.



รูปที่ 5.30 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จากการจูนระบบที่เวลานานมาก.



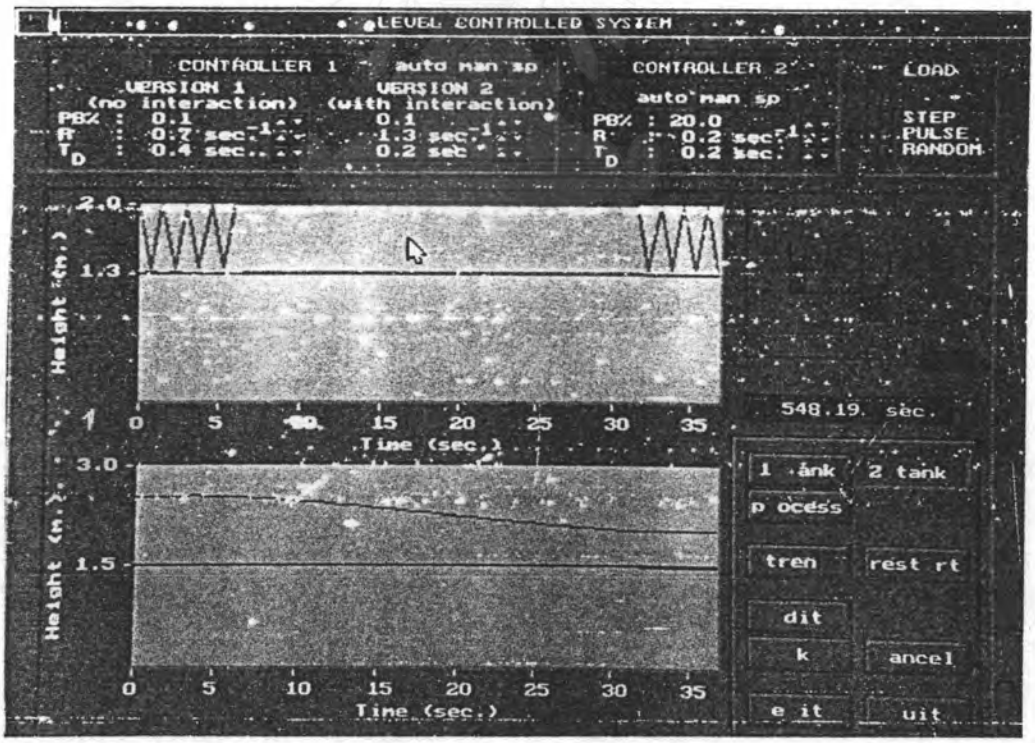
รูปที่ 5.31 ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ได้จากการจูนระบบที่กระทบกัน

ในช่วงต้นของการเลียนแบบ.

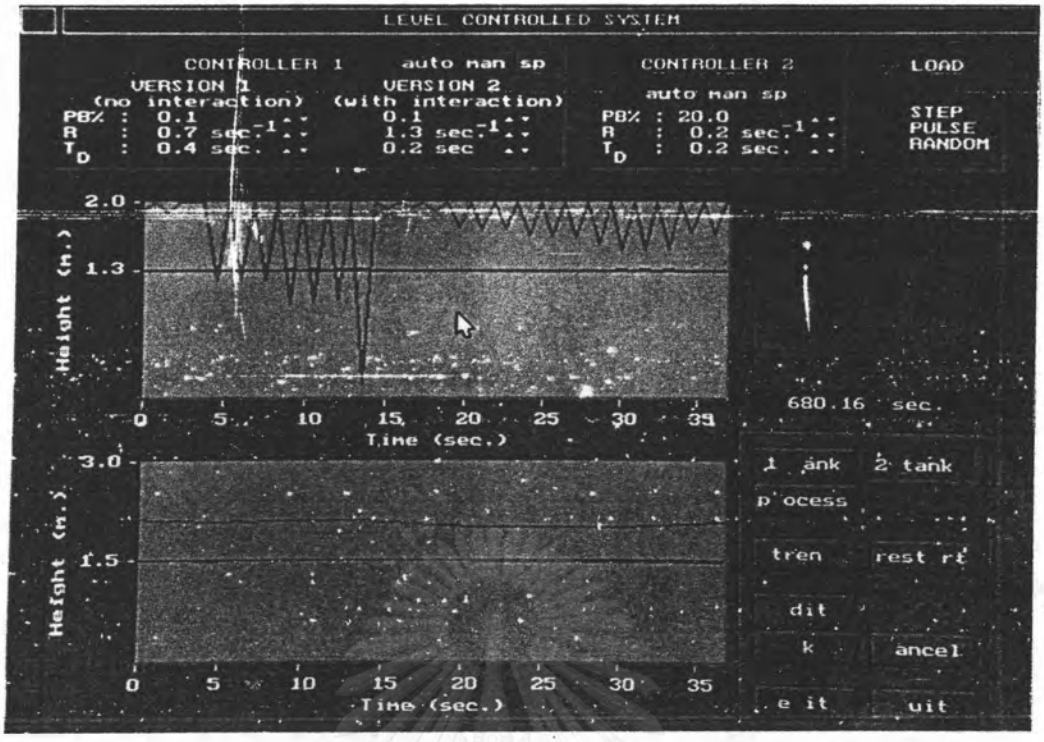
จากการพิจารณารูปที่ 5.29, 5.30 และ 5.31 จะเห็นว่าสภาวะที่ทดลองนี้ การใช้พารามิเตอร์ชุดเดียวก็ยังสามารถควบคุมกระบวนการได้ (โดยถ้ามีการเพิ่มค่า PB% หรือลดค่า τ_D ระบบจะคงตัวอย่างแท้จริง).

5.3.4 กรณีเกิดการรบกวนจากภายนอก

จากการจูนในกรณีเกิดการกระทบและไม่กระทบ, นำพารามิเตอร์ทั้งสองชุดมาจูนตัวควบคุม แล้วรบกวนระบบด้วยฟังก์ชันสองแบบคือ แบบแรกเป็นฟังก์ชันแบบพัลส์ 20% เป็นเวลา 25 วินาที และแบบที่สองเป็นฟังก์ชันแบบสุ่มขนาด 20% ความกว้างช่วงละ 5 วินาที. ผลตอบถูกแสดงดังรูปที่ 5.32 และ 5.33.



รูปที่ 5.32 ผลตอบของระบบที่จูนแล้วเมื่อถูกรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์.



รูปที่ 5.33 ผลตอบของระบบที่จูนแล้วเมื่อถูกรบกวนด้วยฟังก์ชันแบบสุ่ม.

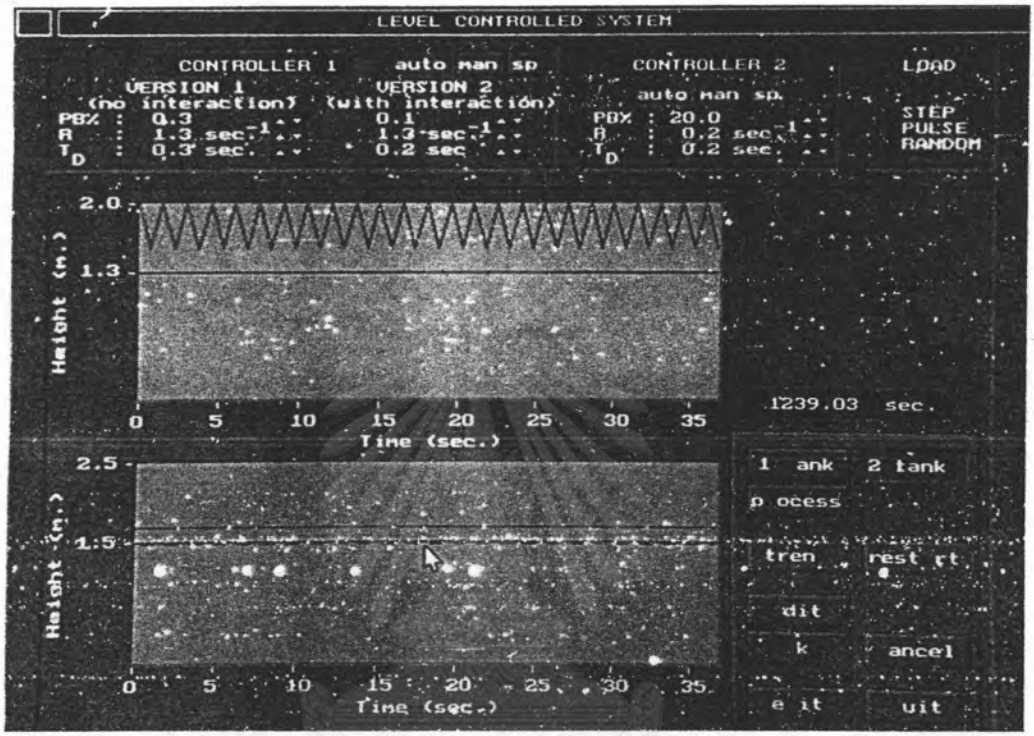
จากการพิจารณารูปที่ 5.32 และ 5.33, จะเห็นว่าระบบเสียเสถียรภาพน้อยมาก อาจสามารถกล่าวได้ว่า การควบคุมระบบที่วิจัยด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี ยังสามารถกระทำได้แม้ระบบจะถูกรบกวนอย่างรุนแรงพอสมควร.

5.3.5 กรณีที่ใช้วาล์วควบคุมแบบไม่เชิงเส้น

การใช้วาล์วควบคุมแบบไม่เชิงเส้นสำหรับระบบที่ถูกวิจัยนี้ก็เป็นจุดสำคัญที่จะศึกษาอีกจุดหนึ่ง. ในที่นี้ผู้วิจัยจะใช้วาล์วควบคุมชนิดอีควาลเปอร์เซ็นเตจ ซึ่งมีความไม่เชิงเส้นมากที่สุดในกลุ่มนี้ (ที่เปอร์เซ็นต์การเปิด/ปิดที่ทำการศึกษา) โดยการใช้พารามิเตอร์ของกระบวนการเหมือนในหัวข้อ 5.3.1 ได้พารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมดังนี้.

PB% = 0.283%, R = 1.28 วินาที$^{-1}$, τ_D = 0.195 วินาที.

ผลตอบถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.34.



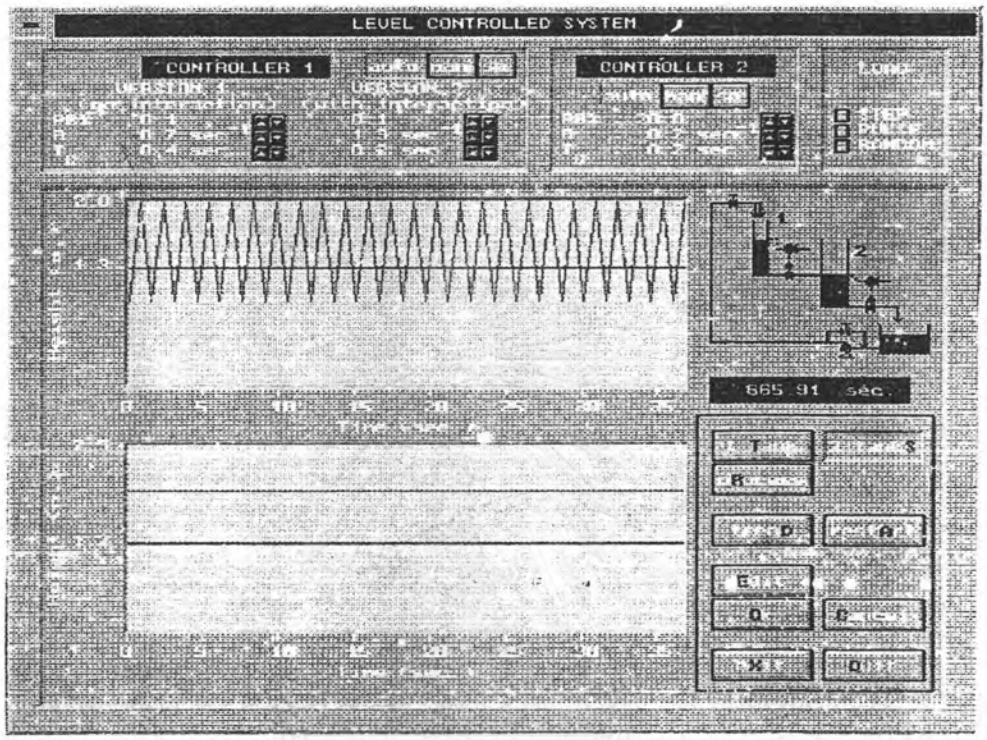
รูปที่ 5.34 ผลตอบของระบบที่ใช้วาล์วควบคุมแบบอีควาลเปอร์เซ็นเตจ.

จากรูปที่ 5.34 จะเห็นว่าระบบยังถูกควบคุมไว้ได้.

5.3.6 กรณีที่เซ็ทพอยท์ในลูปที่ 2 อยู่ที่จุดต่อของการกระทบ

ในกรณีนี้ จะตั้งเซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมตัวที่ 2 ที่ระดับ 1.2 เมตรซึ่งตรงกับจุดต่อของการกระทบและไม่กระทบกันของการไหลของของเหลวใน 2 ถังพอดี. พารามิเตอร์ของตัวควบ

คุมแต่ละตัวได้จากข้อ 5.3.1 และ 5.3.2 ผลการทดลองพบว่าระบบยังถูกควบคุมไว้ได้โดยง่าย ดังรูปที่ 5.35.



รูปที่ 5.35 ผลตอบของระบบเมื่อเซ็ทพอยท์อยู่ที่จุดต่อของการกระทบกันภายในระบบ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3.7 ผลตอบของระบบที่จูนแบบทดลอง-สอบผล

จากหัวข้อ 5.3.1 จนถึงหัวข้อ 5.3.6 การศึกษาผลตอบได้จากระบบที่จูนด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols แบบดั้งเดิม และไม่มีการปรับเพิ่มนอกเหนือจากนั้นอีกเลย. จะเห็นว่าได้เส้นกราฟซึ่งอาจดูไม่คุ้นนัก. ในหัวข้อต่อไปนี้, จะกล่าวถึงผลตอบที่ได้จากการจูนตัวคุมด้วยการทดลอง-สอบผล ซึ่งจะใช้เวลาในการจูนมากกว่าวิธีข้างต้น. ผู้วิจัยได้ทดลองจูนตัวควบคุมตัวที่ 1 โดยปรับระบบให้มีพารามิเตอร์ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ผลของการทดลองจะนำมาแสดงเฉพาะที่เงื่อนไขสุดท้ายในตารางที่ 5.4 เท่านั้น ในการทดลองจะมีพารามิเตอร์ของระบบมากกว่านี้ โดยส่วนที่แสดงในตารางนั้นจะยกมาเฉพาะที่แตกต่างกัน และ พารามิเตอร์ที่เหลือได้ระบุไว้ในตัวโปรแกรมซึ่งสามารถเรียกดูได้ที่หน้าแก้ไขพารามิเตอร์.

ในการทดลองที่จะกล่าวถึงนี้ จะใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตัวที่ 1 จำนวน 3 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้พารามิเตอร์ที่จูนไว้ดีแล้วทั้ง 2 กรณีคือกรณีกระทบกัน และไม่กระทบกัน. แบบที่ 2 ใช้พารามิเตอร์เพียงชุดเดียวคือใช้เฉพาะที่จูนไว้สำหรับกรณีไม่กระทบกัน. และแบบที่ 3 ใช้ชุดที่จูนไว้สำหรับกรณีกระทบกัน. แต่ละแบบจะมีการทดสอบการรบกวนอีก 6 แบบ คือ

- เปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบฟังก์ชันสเต็พ จาก 1.3 เมตร เป็น 1.8 เมตร
- เปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบฟังก์ชันพัลส์ความสูง 0.5 เมตร
- เปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบฟังก์ชันพัลส์ 2 ลูกติดต่อกันลูกแรกเป็นบวก 0.5 เมตร ลูกที่ 2 เป็นลบ 0.3 เมตร

- แบบที่ 4, 5 และ 6 จะเหมือนกับ 3 แบบข้างบน แต่จะเปลี่ยนเป็นการรบกวนด้วยตัวรบกวน

ตารางที่ 5.4 พารามิเตอร์ที่ได้จากการจูนตัวควบคุมแบบทดลอง-สอบผล.

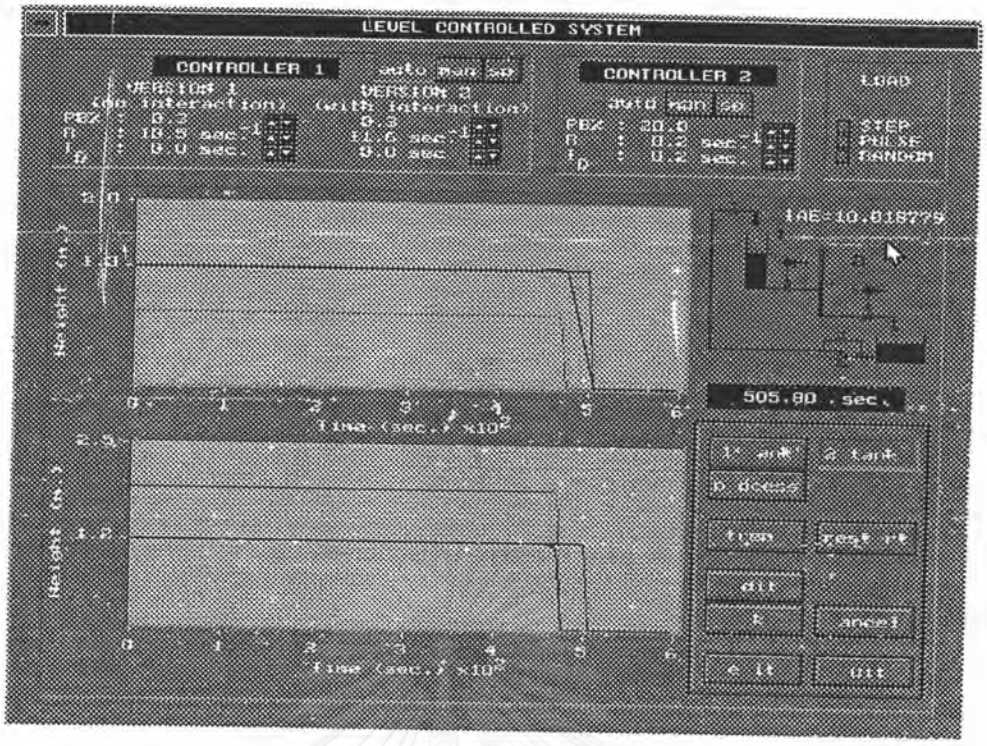
พารามิเตอร์ของระบบ	ไม่กระทบกัน			กระทบกัน		
	PB%	τ_I	τ_D	PB%	τ_I	τ_D
∅ ถังที่ 1 = 0.5 ม. ∅ ถังที่ 2 = 0.4 ม. ค่าคงที่วาล์ว = 0.01	0.146	11.500	0.003	0.138	9.857	0.006
∅ ถังที่ 1 = 0.2 ม. ∅ ถังที่ 2 = 0.2 ม. ค่าคงที่วาล์ว = 0.01	0.910	8.250	0.004	0.836	11.630	0.006
∅ ถังที่ 1 = 0.5 ม. ∅ ถังที่ 2 = 0.1 ม. ค่าคงที่วาล์ว = 0.01	0.146	11.500	0.003	0.138	9.857	0.006
∅ ถังที่ 1 = 0.5 ม. ∅ ถังที่ 2 = 0.1 ม. ค่าคงที่วาล์ว = 0.02	0.292	10.460	0.003	0.278	11.600	0.006

ซึ่งจะเห็นว่าใช้วิธีคล้ายกับในหัวข้อ 5.3.1 ถึง 5.3.6 แต่ในหัวข้อนี้จะเห็นการตอบสนองดีกว่า และยังมีการเปรียบเทียบผลโดยใช้ตัวชี้ประสิทธิภาพการควบคุมแบบ ไอเออี (IAE; Integral of the absolute value of the error) ด้วย

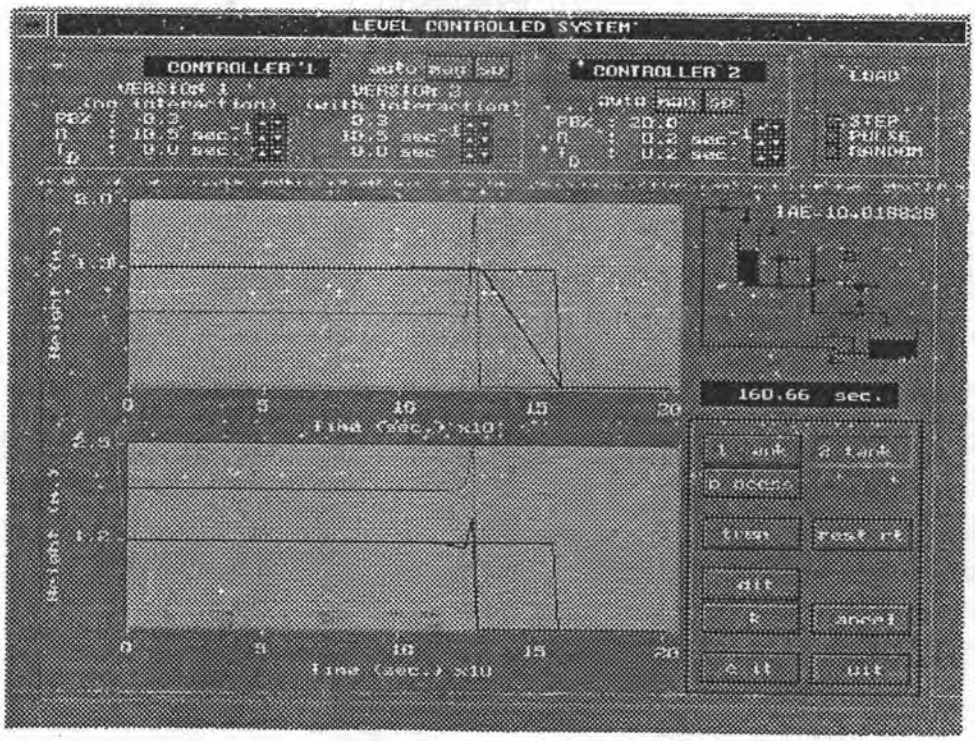
การทดลองในตอนนี้จะมีทั้งหมด 18 กรณี (ใช้พารามิเตอร์ 3 แบบ แต่ละแบบมีการรบกวน 6 แบบ) แต่เพื่อให้เปรียบเทียบง่ายขึ้น, ผู้เขียนจะแยกพิจารณาเป็น 7 กรณี ตามการรบกวนระบบ โดยแต่ละกรณีจะเปรียบเทียบผลอันเกิดจากการใช้พารามิเตอร์ 3 แบบข้างต้น ยกเว้นกรณีแรก ดังหัวข้อ 5.3.8.

5.3.8 ผลตอบเมื่อเข้าสมดุลหลังเดินเครื่อง

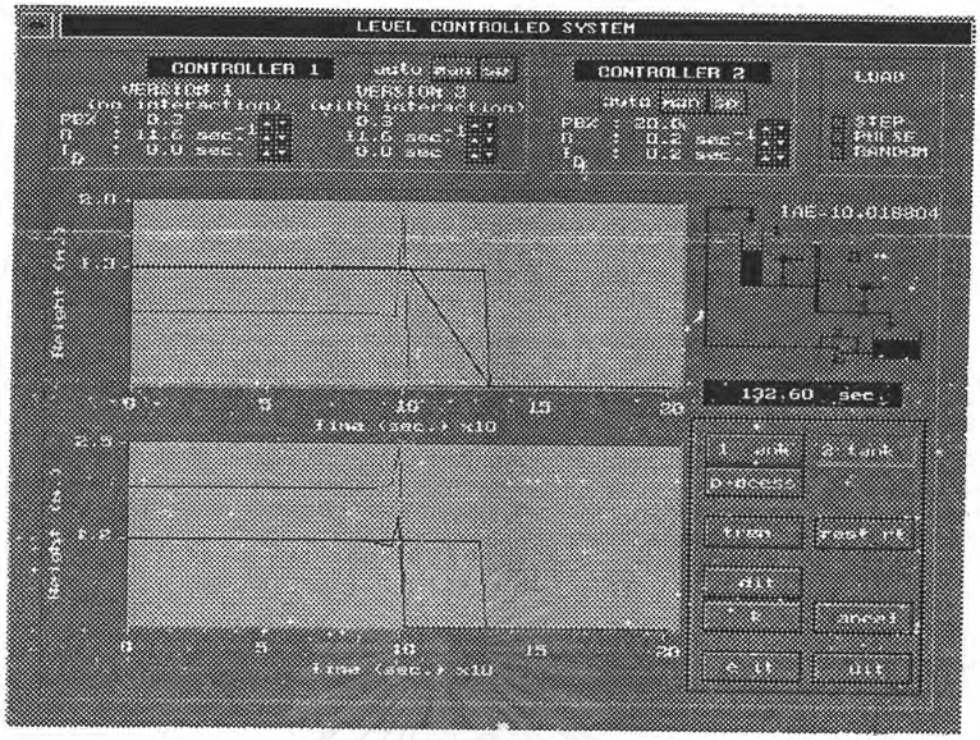
จากรูปที่ 5.36 - 5.38 จะเห็นว่าระบบมีผลตอบดีทั้ง 3 กรณี คือมีโอเวอร์ชูต น้อยมาก และแทบไม่มีการแกว่ง. และเป็นที่คาดเดาได้ว่า ระบบที่ใช้ตัวควบคุมที่ใช้พารามิเตอร์ 2 ชุดจะให้ผลตอบที่ดีกว่า ดังรูปที่ 5.36 คือ มี ไอเออี น้อยที่สุด รองลงไปคือ แบบใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 (กระทบ; รูปที่ 5.38) ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงที่เกิดโอเวอร์ชูตแรกซึ่งเป็นช่วงที่ค่าความผิดพลาด มีดีไรเวทีฟ มากนั้นตรงกับช่วงที่มีการกระทบกัน ฉะนั้นระบบที่ควบคุมด้วยพรามิเตอร์ชุดที่ 2 จึงให้ผลตอบที่ดีกว่า. ค่าไอเออีในรูปที่ 5.36, 5.37 และ 5.38 คือ 10.018779, 10.018828 และ 10.018804 ตามลำดับ.



รูปที่ 5.36 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



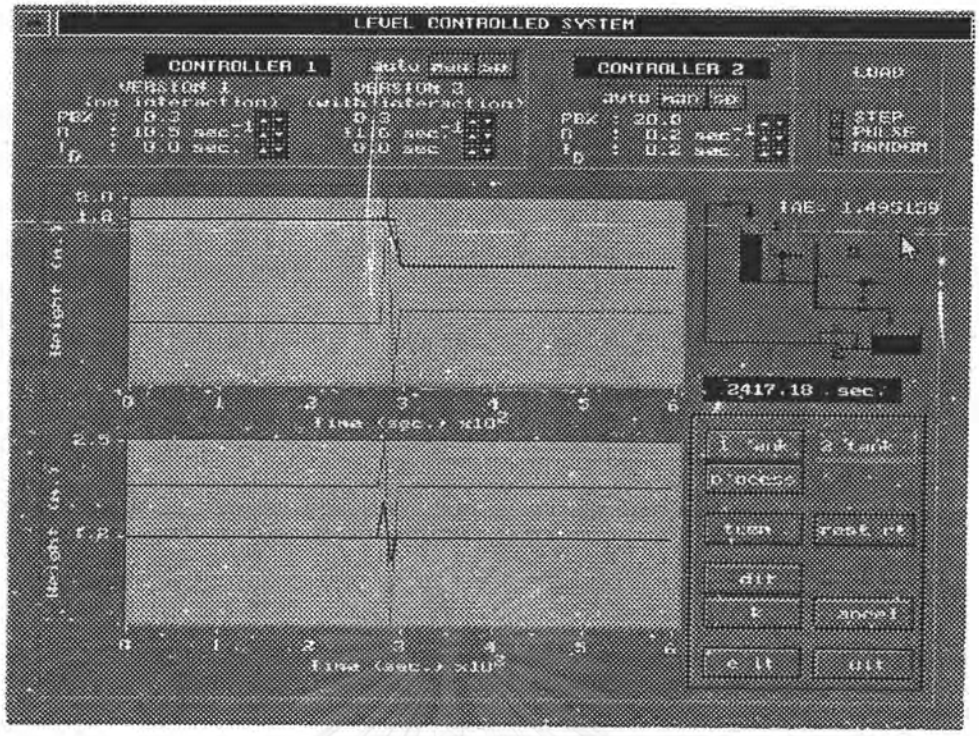
รูปที่ 5.37 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดแรก.



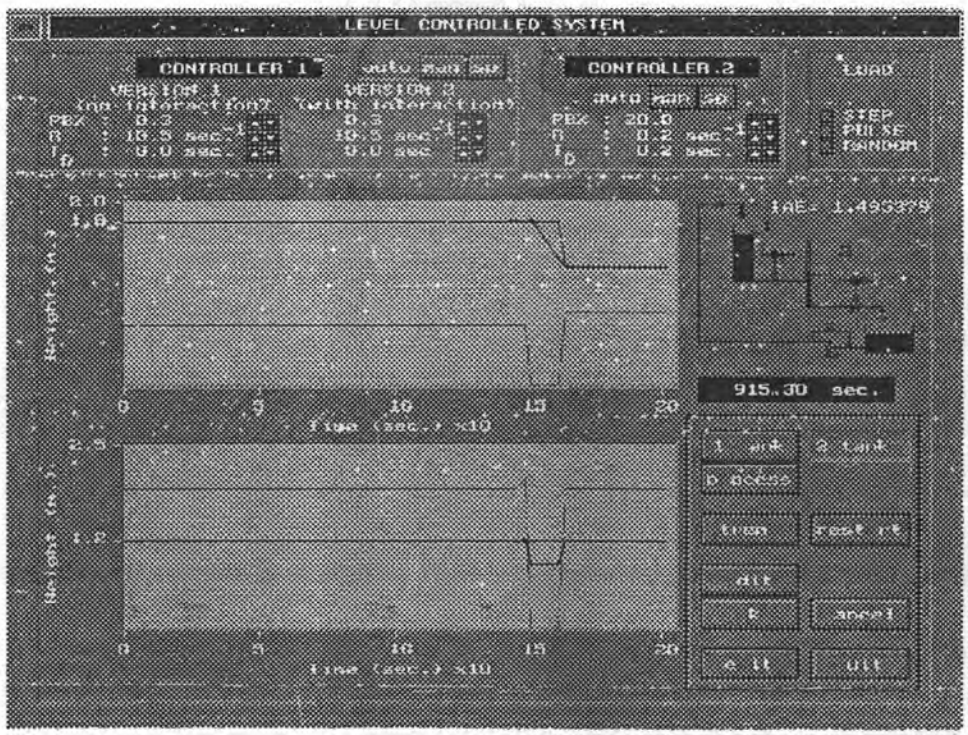
รูปที่ 5.38 ผลตอบหลังเดินเครื่องเมื่อตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.9 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์เป็นฟังก์ชันแบบสเต็พ

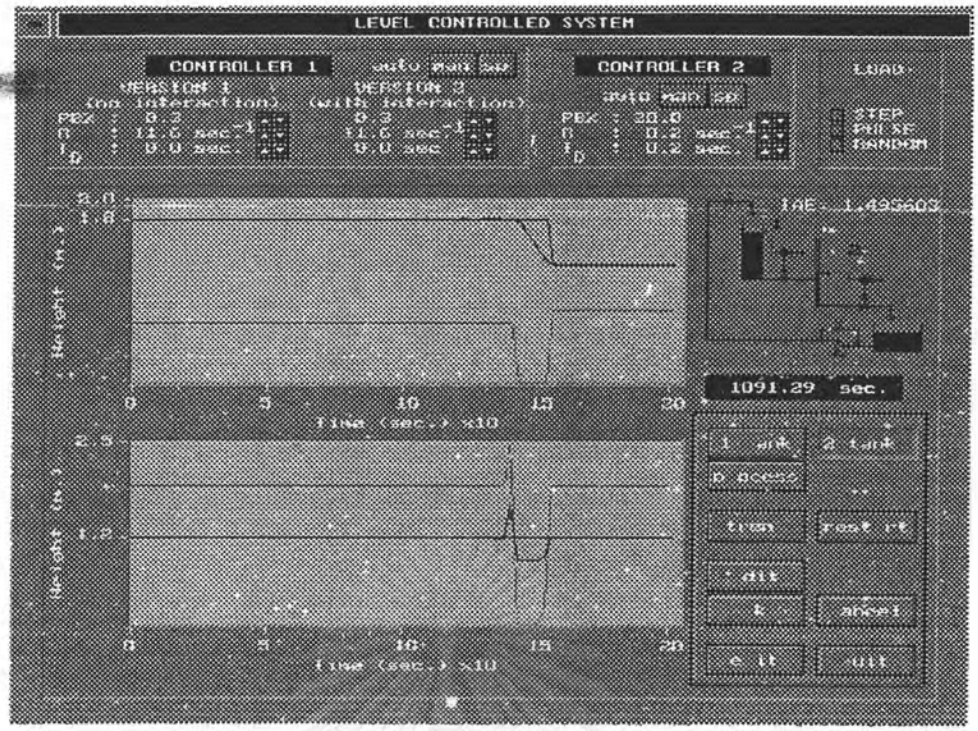
ผลตอบแสดงดังรูปที่ 5.39, 5.40 และ 5.41. ในระบบที่ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด มีผลตอบที่ดีมากทั้งในถังที่ 1 และถังที่ 2 เมื่อดูจากรูปที่ 5.39 ผิดกับแบบที่เหลือ ซึ่งมีการรบกวนกันจนทำให้ผลตอบเสียไป. ในกรณีนี้ผลตอบของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดแรกจะดีกว่าแบบที่ 2 (มีไอเออี 1.495379 เมื่อเทียบกับ 1.495603) ซึ่งอธิบายได้ด้วยผลตอบในถังที่ 2 คือช่วงระดับของบองเหลวลดลงไปอยู่ใต้จุดเริ่มกระทบเป็นเวลานาน



รูปที่ 5.39 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



รูปที่ 5.40 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



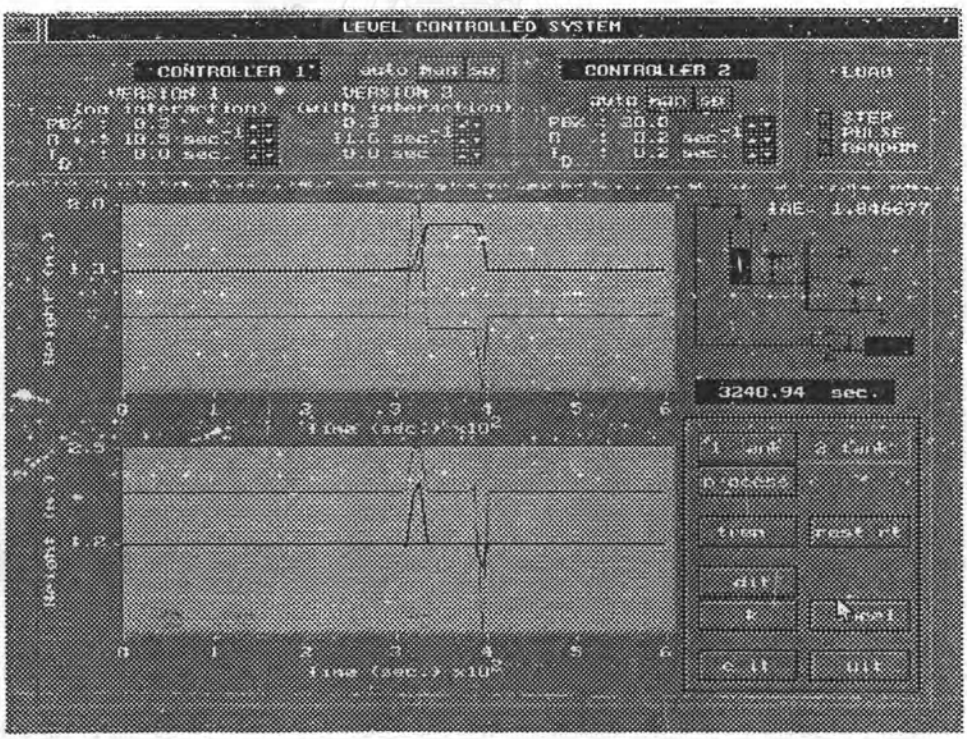
รูปที่ 5.41 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบสเต็พเมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.10 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์

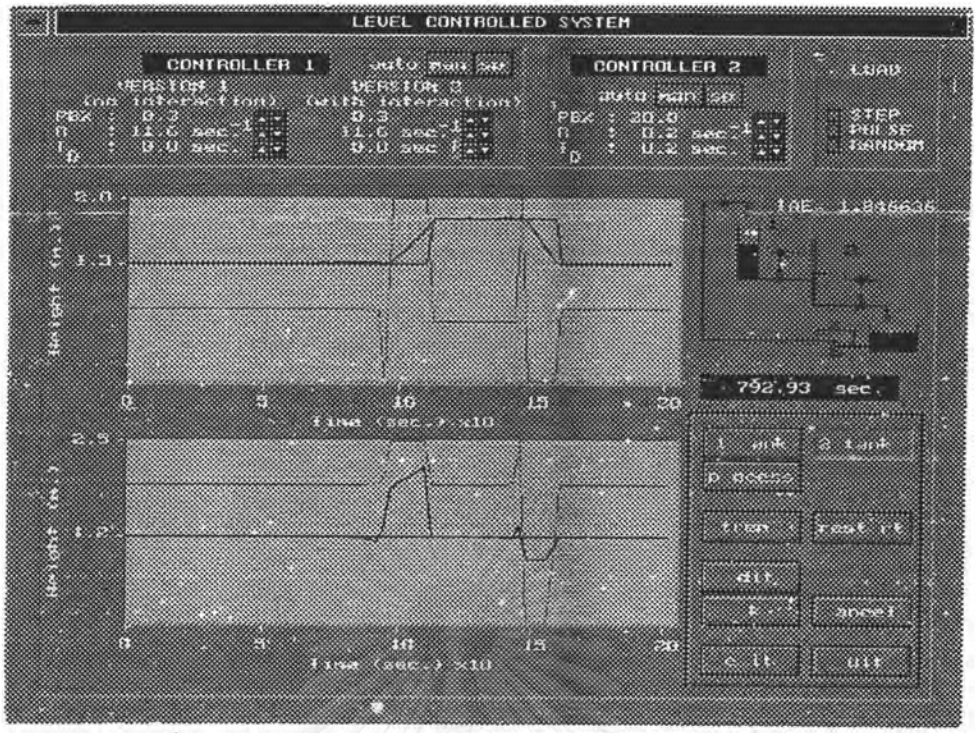
ฟังก์ชันแบบพัลส์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความกว้างไม่ตายตัวเพราะในตัวโปรแกรมไม่มีสนับสนุน แต่สามารถทำได้ด้วยมือ. ผู้เขียนกำหนดความกว้างโดยคอยให้ระบบคงตัวก่อนที่จะเปลี่ยนเซ็ทพอยท์กลับมาที่เดิม (1.3 เมตร).

ในระบบที่ใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุม 2 ชุด ยังให้ผลตอบที่ดีเช่นเคย (ไอเออี 1.495159+1.816677=2.311836) ส่วนใน 2 แบบที่เหลือนั้น ช่วงลูกคลื่นขึ้นระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 จะให้ผลตอบดีกว่า แต่ช่วงลูกคลื่นลง เมื่อดูจากกราฟจะเห็นว่าระดับของของเหลวในถังที่ 2 เพิ่มสูงมาก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าถังแรก 5 เท่า) ฉะนั้นจึงมีการกระทบ

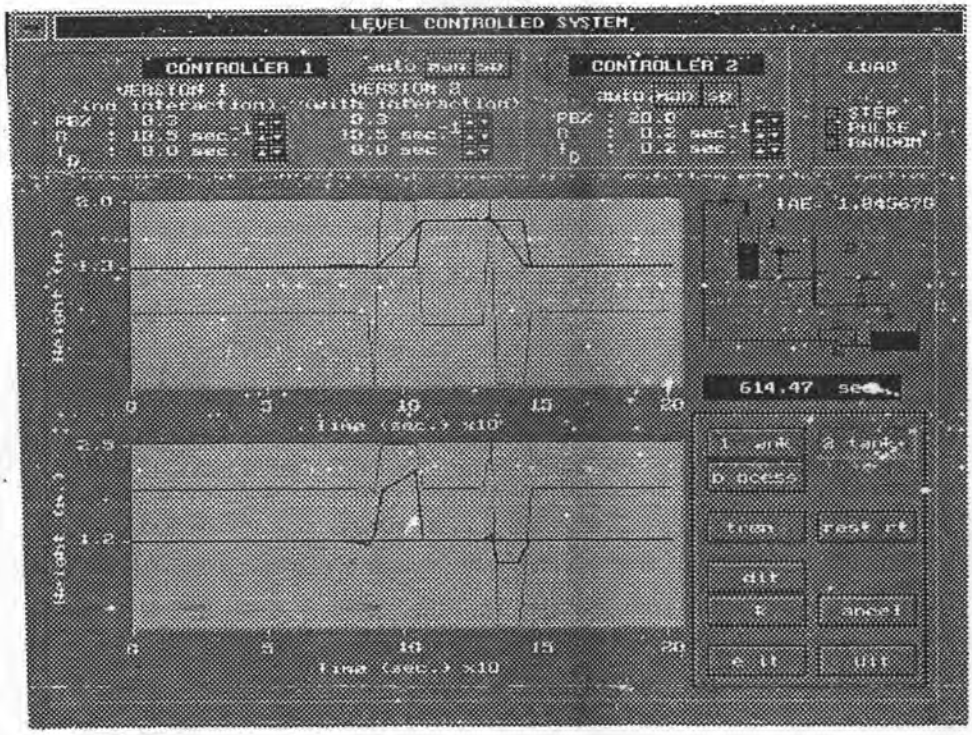
ตลอดช่วง การใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 จึงดีกว่า. ปัจจัยที่แย้งกันเช่นนี้ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าในกรณีนี้หากจำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมที่มีพารามิเตอร์ชุดเดียว จะเลือกใช้ชุดใดดี แต่ต้องขึ้นกับพารามิเตอร์ของระบบ เช่นสัดส่วนขนาดของถัง, จุดกระทบ, เซ็ทพอยท์, ขนาดวาล์วควบคุม เป็นต้น. น่าแปลกที่พบว่าค่าไอเออีของระบบที่ใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 กลับดีกว่าในทั้ง 2 กรณี ซึ่งที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการกระทบมีผลพอดีไปความผิดพลาดในถังที่ 1 พอดี. หรืออาจเห็นอีกสาเหตุหนึ่งคือ เมื่อดูจากรูป จะเห็นวาล์วเปิดสุดทั้งสองรูป นั่นหมายถึงค่าพารามิเตอร์ที่ดีกว่า จะยังไม่สามารถส่งผลได้. ผลการทดลองครั้งนี้ชี้ว่าควรใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 ของตัวควบคุม เพราะให้ค่าไอเออีรวมน้อยกว่า (1.495379+1.845670=3.341049 เทียบกับ 1.495603+1.846636=3.342239).



รูปที่ 5.42 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



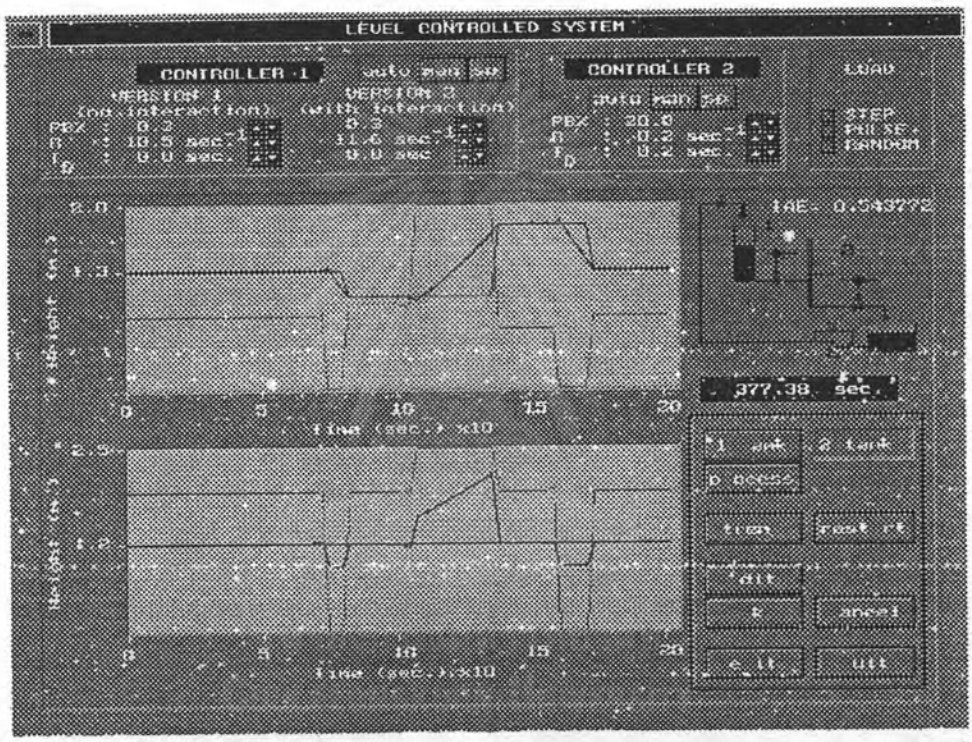
รูปที่ 5.43 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



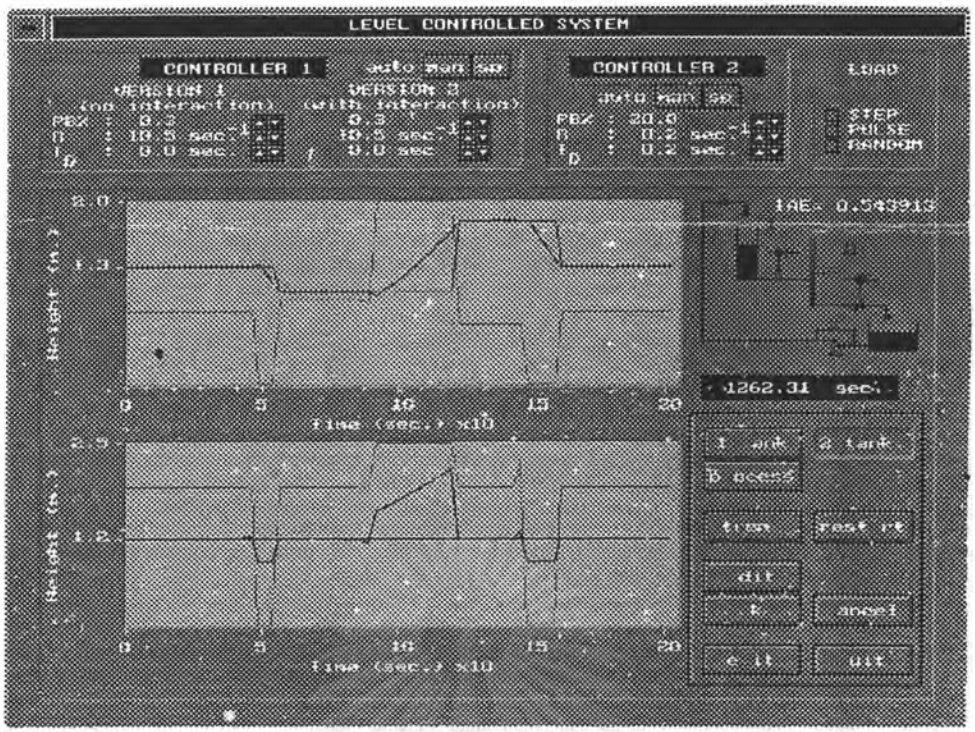
รูปที่ 5.44 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์แบบพัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.11 เมื่อเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ด้วยฟังก์ชันแบบพัลส์ 2 ลูก

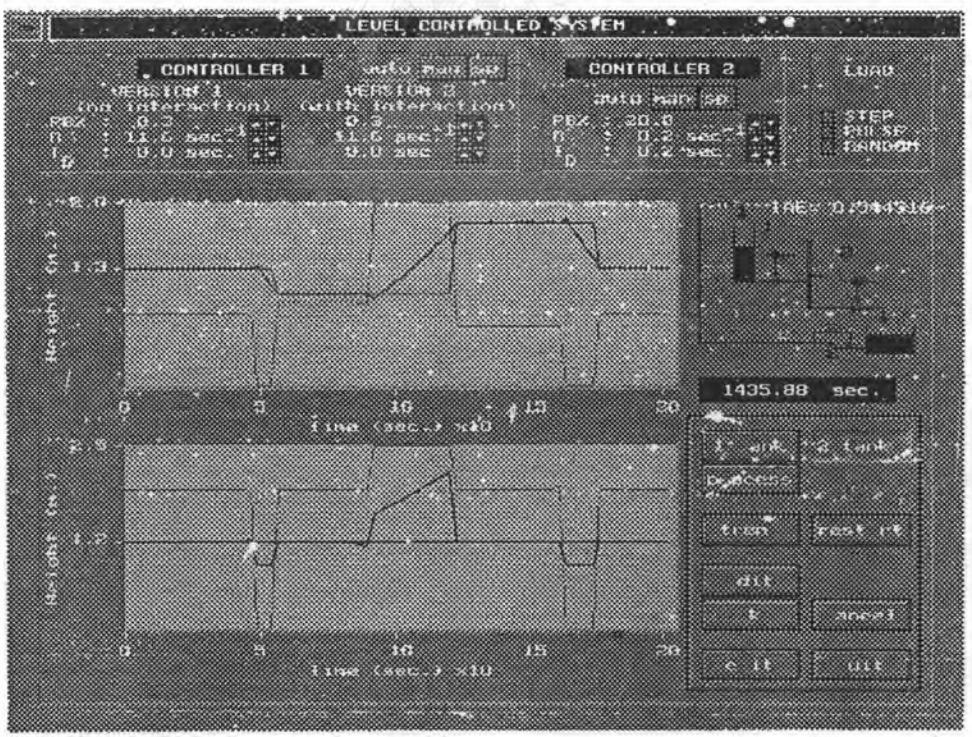
การทดลองในกรณีนี้เป็นการรบกวนระบบที่รุนแรงขึ้นและกระทำในทางตรงข้ามกันกลับไปมา 2 ครั้ง. ลักษณะของผลตอบก็จะสามารถคาดได้ เพราะจะเป็นทำนองเดียวกันกับกรณีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้. ผลตอบแสดงดังในรูปที่ 5.45 - 5.47. ค่าไอเออีของผลตอบในระบบที่ใช้พารามิเตอร์ควบคุม 2 ชุด, ชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 คือ 7.229874, 7.230020, 7.231057.



รูปที่ 5.45 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



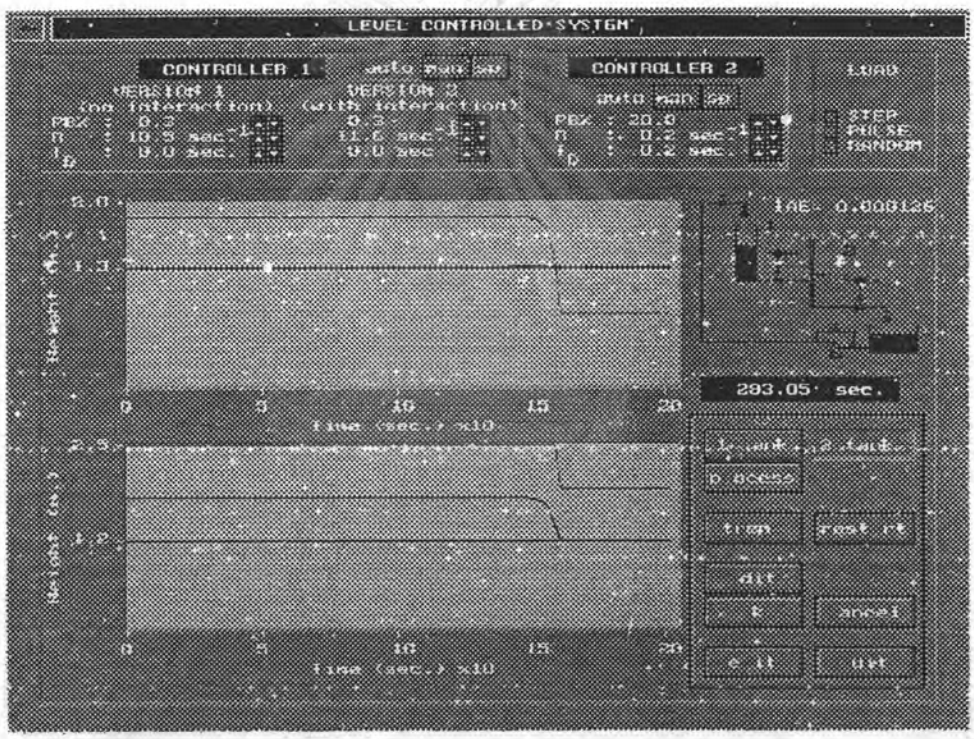
รูปที่ 5.46 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



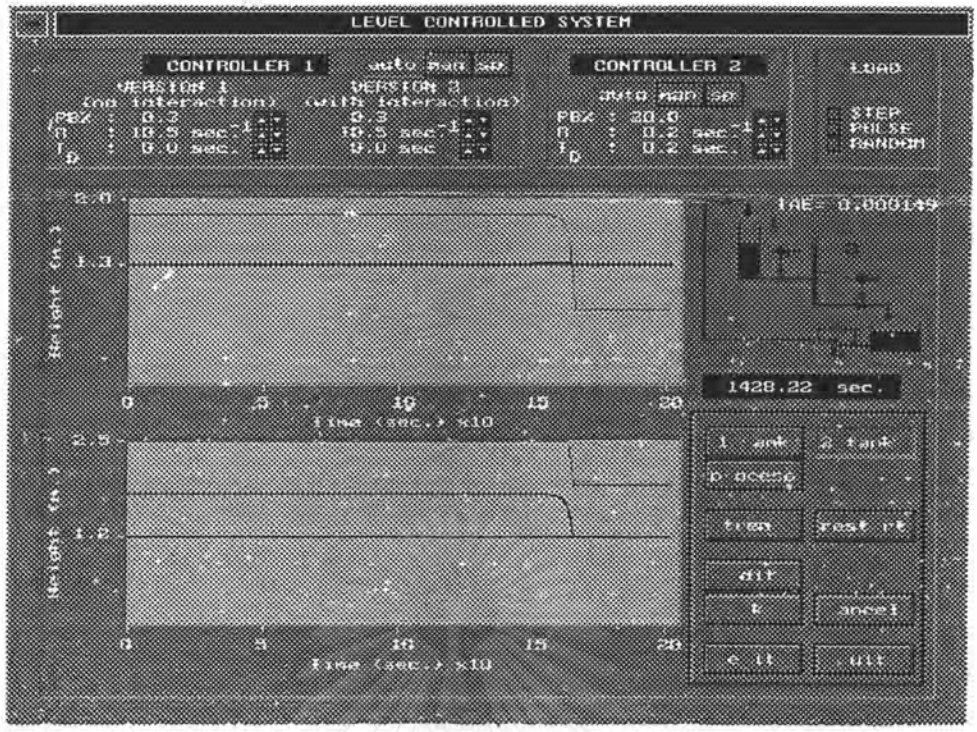
รูปที่ 5.47 ผลตอบหลังเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ 2 พัลส์เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.12 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พ

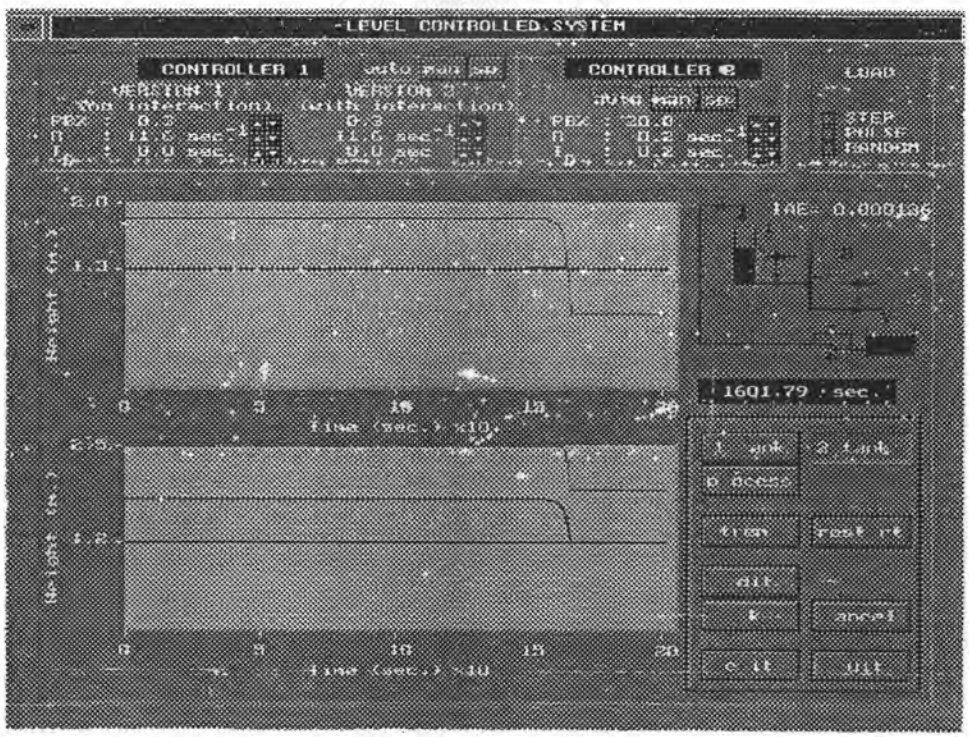
เมื่อรบกวนระบบด้วยตัวรบกวนที่เป็นฟังก์ชันแบบสเต็พดังในรูปที่ 5.48 - 5.50 จะเห็นว่าระดับของของเหลวในทั้งสองถังแทบไม่เปลี่ยนแปลงเลย (ในกระบวนการจริง หากการควบคุมเป็นลูปเดี่ยว ระบบจะถูกรบกวนด้วยตัวรบกวน มิใช่เซ็ทพอยท์) ซึ่งอาจสรุปว่าตัวควบคุมสามารถใช้พารามิเตอร์ชุดใดหรือทั้งสองชุดก็ให้ผลพอๆ กัน. ค่าไอเออีเรียงตามลำดับการใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด, ชุดที่ 1, ชุดที่ 2 เป็นดังนี้ : 0.000126, 0.000149, 0.000126.



รูปที่ 5.48 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



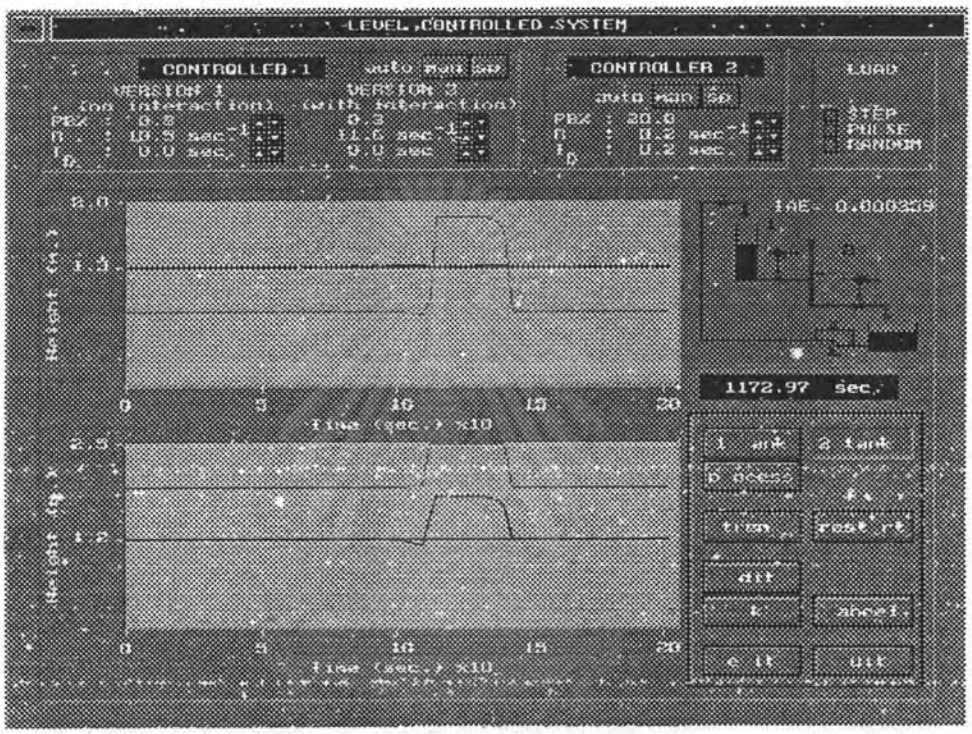
รูปที่ 5.49 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



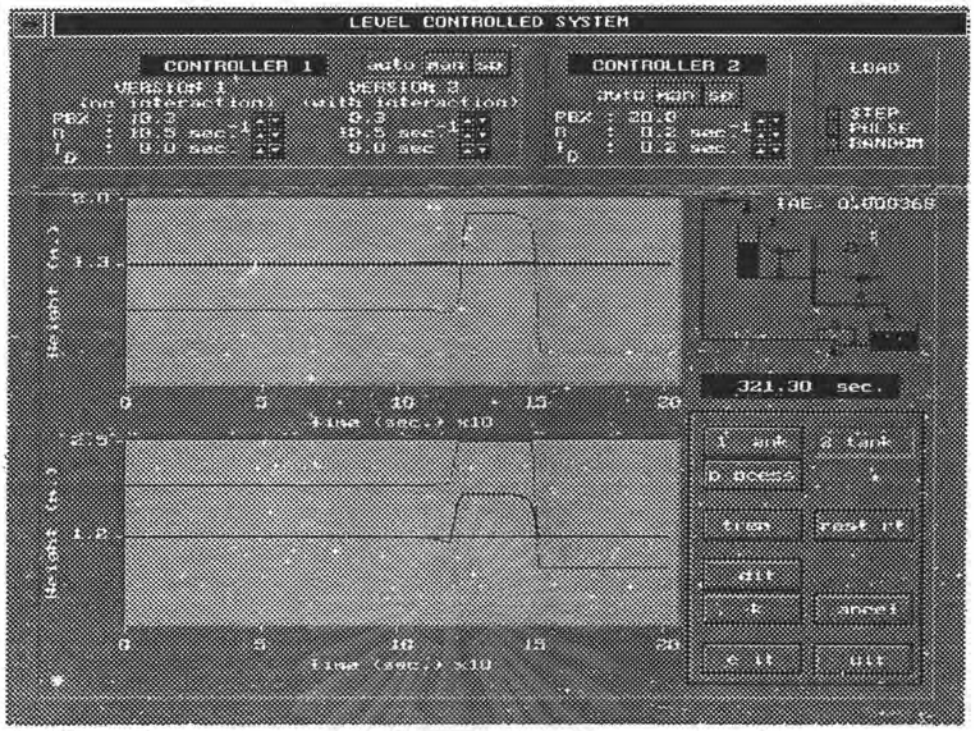
รูปที่ 5.50 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบสเต็พตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.13 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์

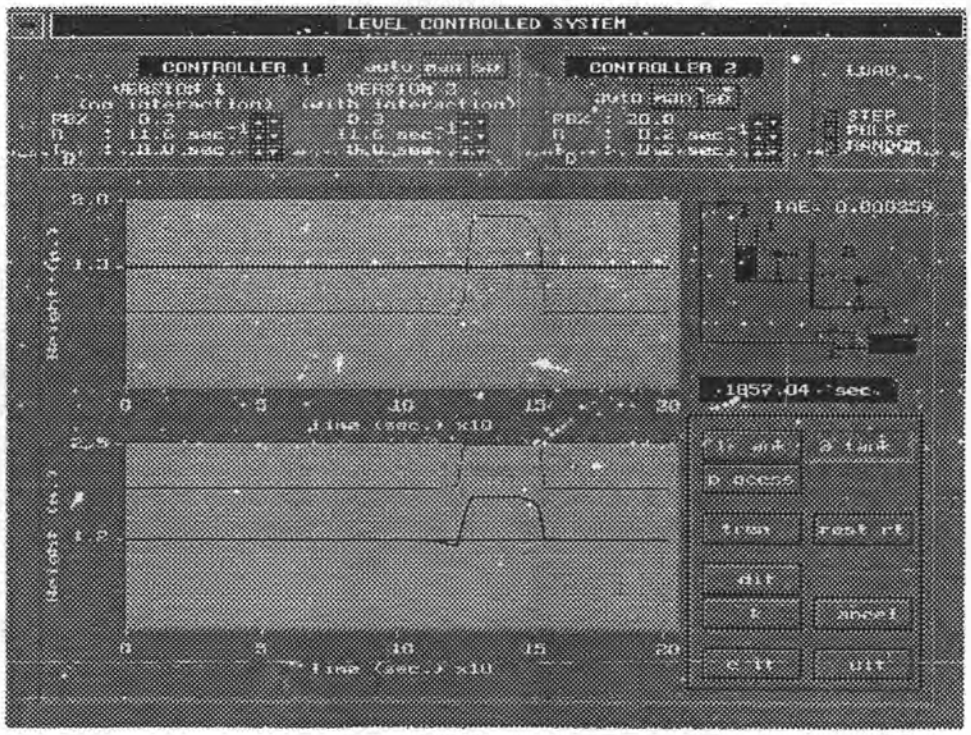
สำหรับในกรณีนี้ให้ผลเช่นเดียวกับข้อ 5.3.12 เพราะแทบไม่มีการแกว่งของระดับของของเหลวเลย. ไอเออีมีค่าน้อยมาก ระบบยังเสถียรดีมาก. ผลตอบแสดงในรูปที่ 5.51 - 5.53.



รูปที่ 5.51 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



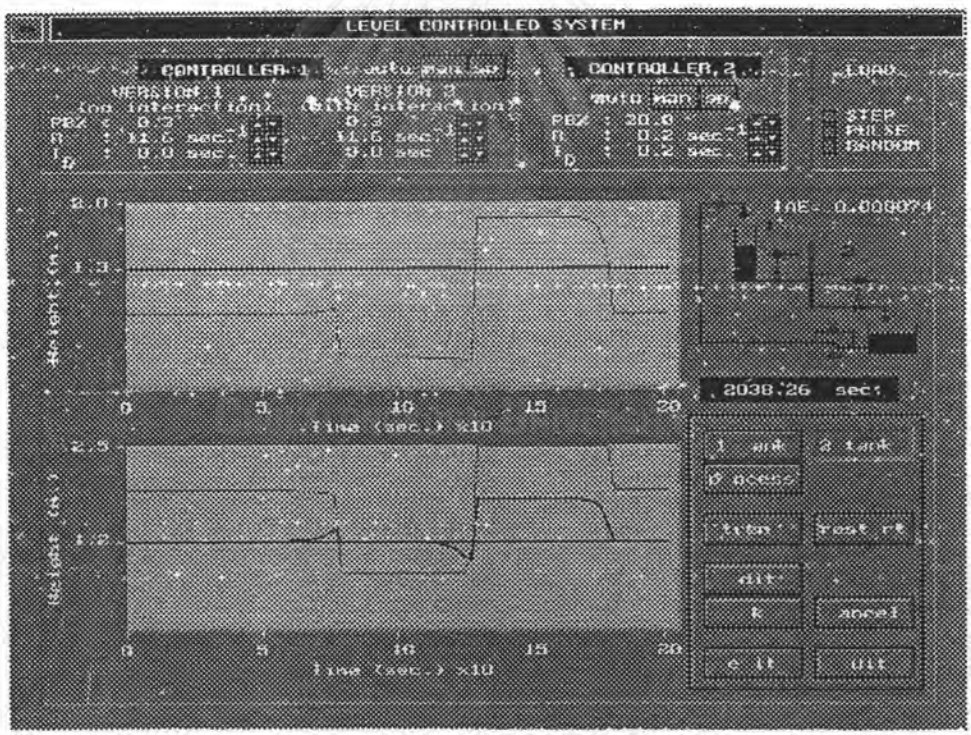
รูปที่ 5.52 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



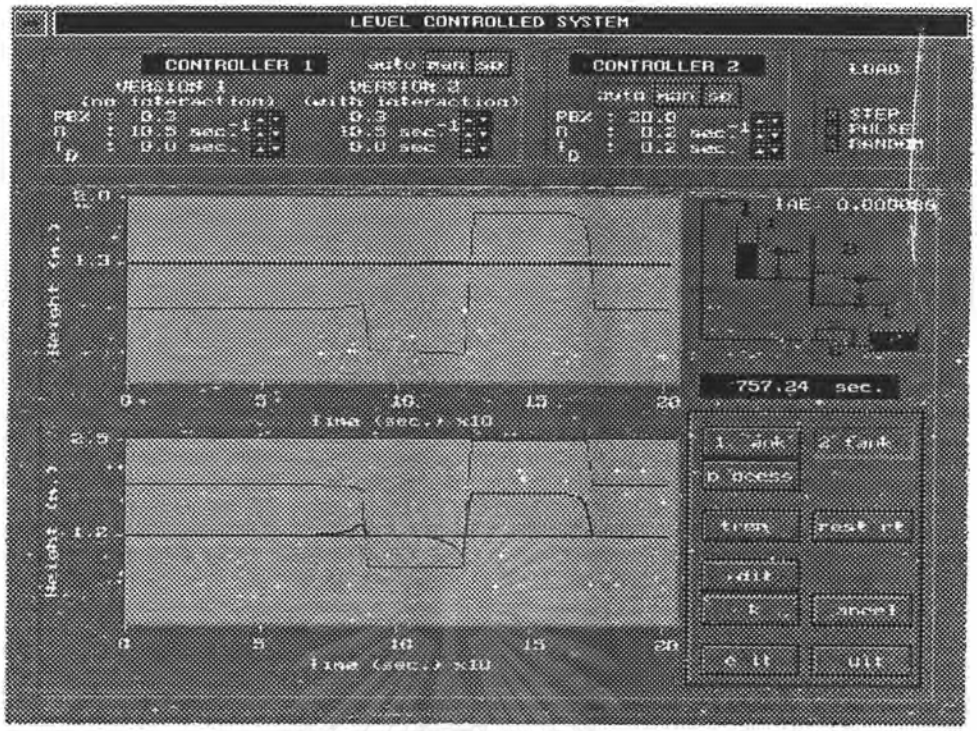
รูปที่ 5.53 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.

5.3.14 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก

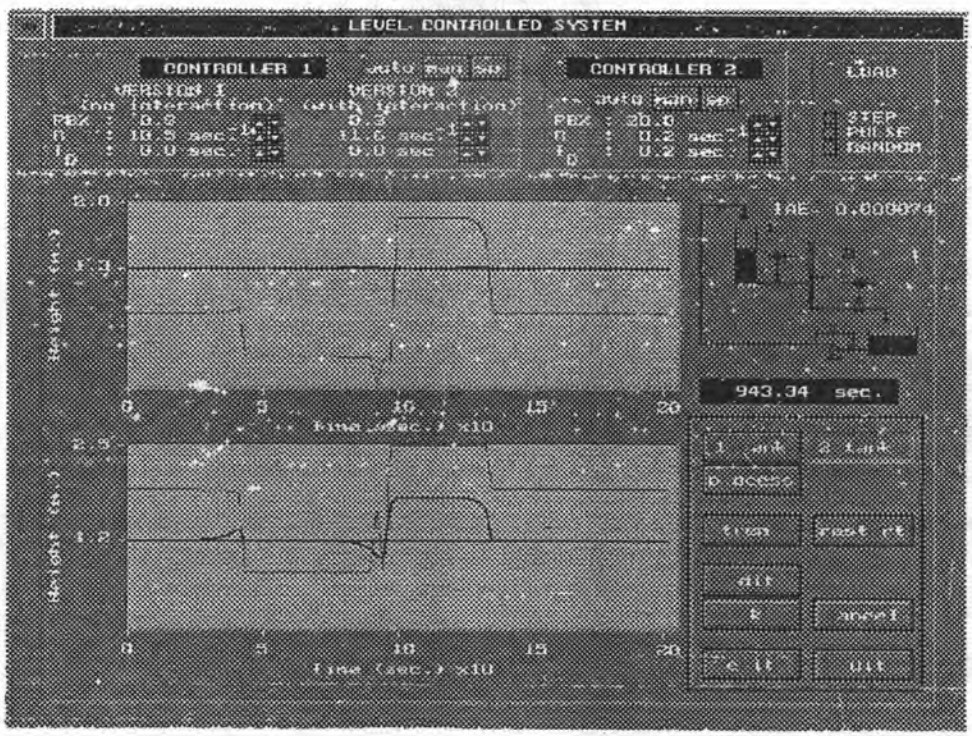
สำหรับผลตอบของระบบที่ถูกการรบแบบพลส์ 2 ลูก (ขึ้นและลงติดต่อกัน) ดังรูปที่ 5.54 - 5.56 ก็ยังมีค่า ไอเออี น้อยมากเช่นเดิม (0.000843, 0.000437, 0.000391). เป็นที่น่าสังเกตว่า ในการใช้พารามิเตอร์ 2 ตัว นั้น ให้ค่าไอเออีมากกว่าอีก 2 แบบ ที่เหลือ (แต่มีค่าน้อยมาก) ทั้งนี้หากดูที่ผลตอบของถังที่ 2 อาจตั้งสมมติฐานได้ว่า ระดับของของเหลวที่สูงขึ้นมาในถังที่ 2 นั้น ไปรบกวนระบบมาก แต่ก็น่าแปลกที่ในรูปที่ 5.56 พารามิเตอร์ที่กำลังทำงานก็เป็นชุดเดียวกับรูปที่ 5.54 (ชุดที่ 2) แต่ค่า ไอเออียังน้อยกว่ามาก.



รูปที่ 5.54 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ 2 ชุด.



รูปที่ 5.55 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1.



รูปที่ 5.56 ผลตอบเมื่อใส่ตัวรบกวนแบบพัลส์ 2 ลูก ตัวควบคุมใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2.