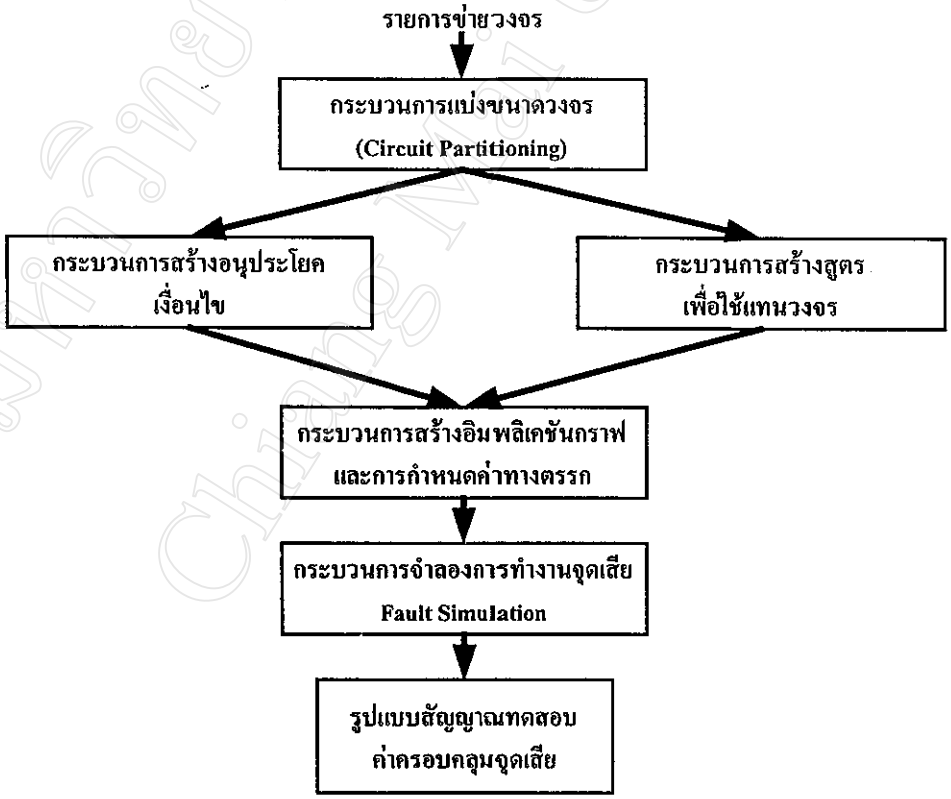
บทที่4

ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบเป็นขั้นตอนให้กำเนิดรูปแบบสัญญาณทดสอบเพื่อทดสอบจุดเสียที่ยากแก่การทดสอบโดยใช้วิธีการบูลลีนแซททิสฟายอะบิลิตี้ร่วมกับวิธีการทางโครงสร้าง ภายในโปรแกรมการทดสอบมีกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการแบ่งขนาดวงจร (Circuit Partitioning) กระบวนการสร้างสูตรเพื่อใช้แทนวงจร กระบวนการสร้างอนุประโยคเงื่อนไข กระบวนการกำหนดค่าทางตรรกให้กับสูตร และ กระบวนการจำลองการทำงานจุดเสีย โดยความสัมพันธ์ของแต่ละกระบวนการภายในโปรแกรมการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

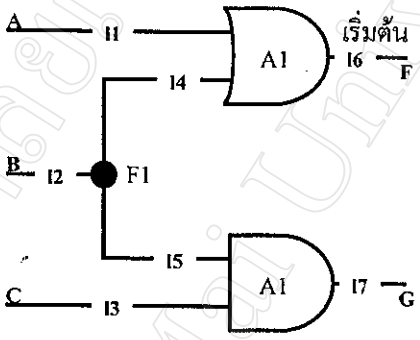


รูปที่ 4.1 กระบวนการภายในขั้นตอนการทดสอบ

4.1 กระบวนการแบ่งขนาดวงจร (Circuit Partitioning)

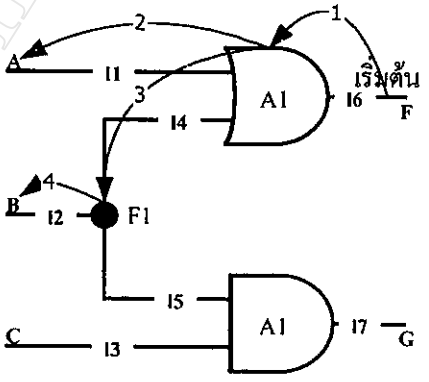
กระบวนการแบ่งขนาดวงจรเป็นกระบวนการที่ใช้ในการลดขนาดของวงจรลงเพื่อลดจำนวนตัวแปรที่ต้องถูกกำหนดค่าในขั้นตอนของการกำหนดค่าทางตรรก โดยใช้วิธีการแยกวงจรในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับขั้วขาออกที่กำลังพิจารณาอยู่ออกไป ซึ่งจะทำให้ได้วงจรที่มีขนาดเล็กลง กระบวนการแบ่งขนาดวงจรจะทำกับทุกๆขั้วขาออก และการทดสอบจุดเสียจะนำจุดเสียที่เกี่ยวข้องกับวงจรที่แยกออกมาใหม่เท่านั้นมาทดสอบ ขั้นตอนการแบ่งขนาดวงจรมีดังต่อไปนี้

1) กำหนดขั้วขาออกเป้าหมายที่ต้องการ จากตัวอย่างรูปที่ 4.2 ขั้วขาออกเป้าหมายคือขั้วขาออก F



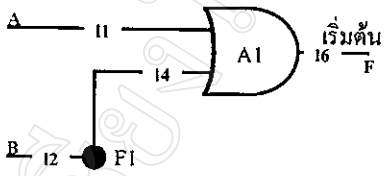
รูปที่ 4.2 กำหนดขั้วขาออกเป้าหมายในวงจรที่จะนำมาแบ่งขนาด

2) จากขั้วขาออกเป้าหมายที่กำลังพิจารณา ทำการสืบค้นย้อนกลับไปหาขั้วขาเข้า พร้อมทั้งเก็บค่าโหนด และ เส้นวงจรที่เกี่ยวข้องไว้



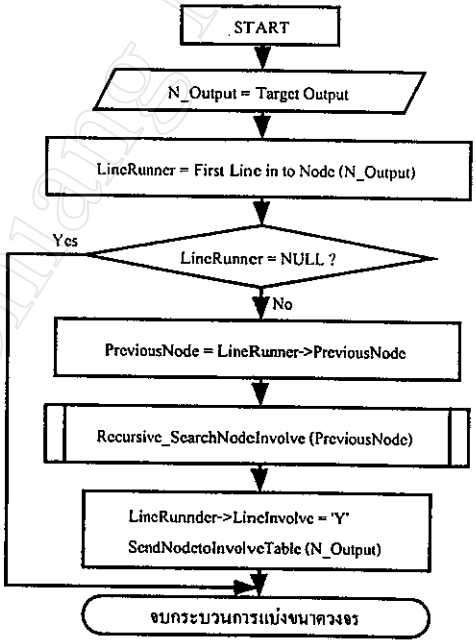
รูปที่ 4.3 ผลการสืบค้นในวงจรที่จะนำมาแบ่งขนาด

การสืบค้นใช้หลักวิธีการค้นหาแบบแนวลึก (Depth-First Search) [21] และใช้เทคนิคการเขียนโปรแกรมแบบ Recursive ผลการสืบค้นวงจรรูปที่ 4.2 แสดงในรูปที่ 4.3 จากผลการสืบค้นลำดับที่ 1- 4 พบว่ามีโหนดที่เกี่ยวข้องกับขั้วขาออก F คือ {F,A1,A,F1,B} และมีเส้นวงจรที่เกี่ยวข้องคือ {l6,l1,l4,l2} ซึ่งสามารถนำไปสร้างวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 4.4

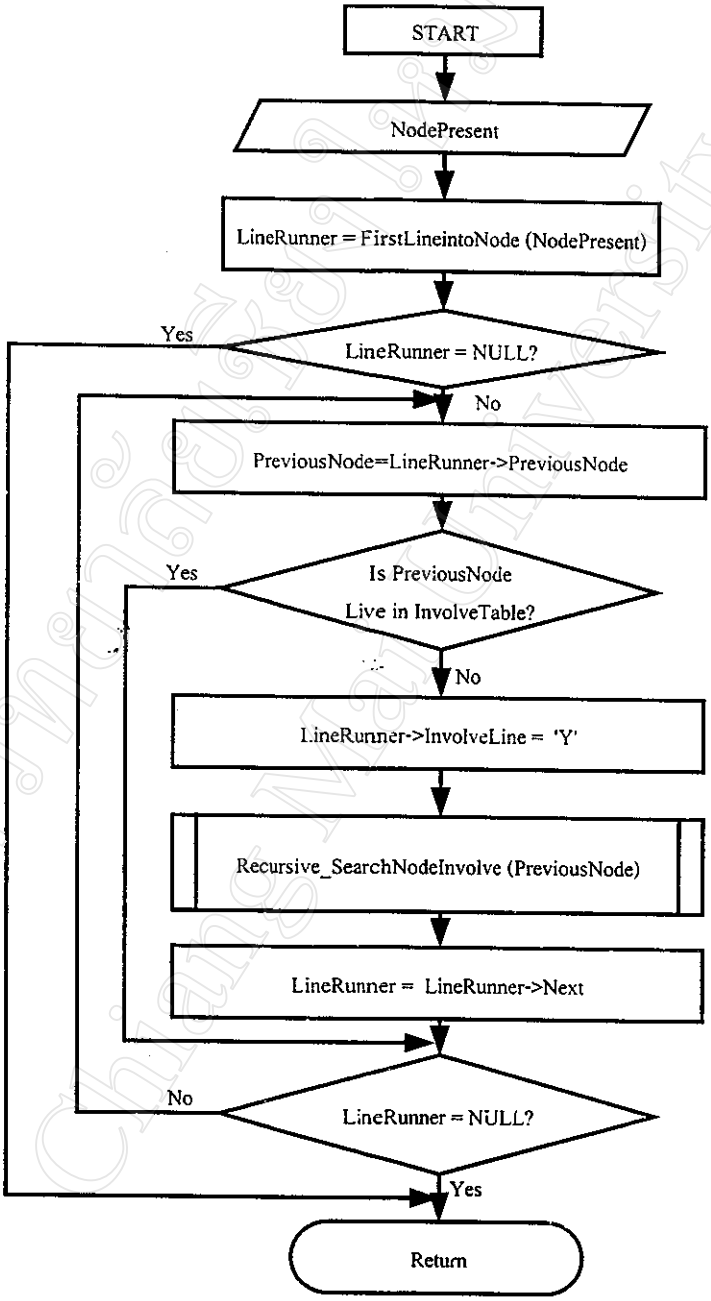


รูปที่ 4.4 วงจรที่ได้รับจากการแบ่งขนาดวงจร

จะเห็นได้ว่ากระบวนการแบ่งขนาดวงจรช่วยให้ขนาดของวงจรที่จะส่งไปให้กระบวนการทดสอบลำดับต่อไปมีขนาดและความซับซ้อนลดลง และ สามารถเลือกทดสอบจุดเสียเฉพาะจุดเสียที่เกี่ยวข้องกับขั้วขาออกที่กำลังพิจารณาได้ ผังการทำงานของกระบวนการแบ่งขนาดวงจรได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.5 และ รูปที่4.6



รูปที่ 4.5 ผังการทำงานกระบวนการแบ่งขนาดวงจร



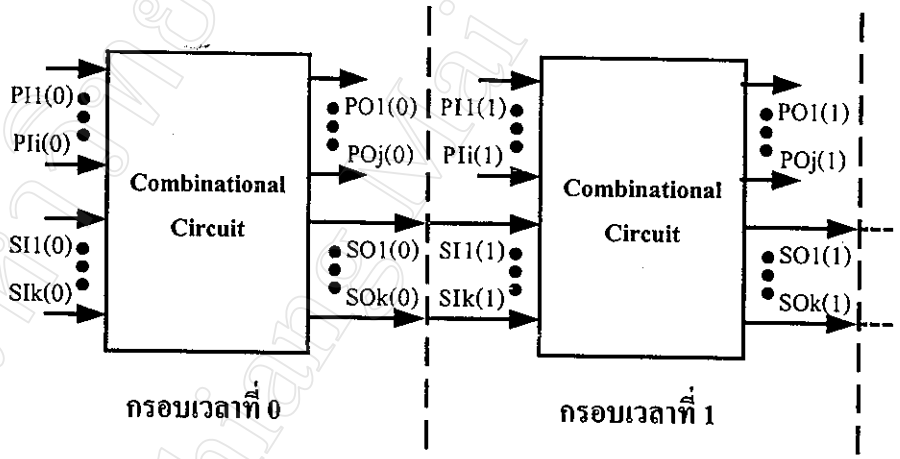
รูปที่ 4.6 ผังการทำงานฟังก์ชัน Recursive_SearchNodeInvolve

4.2 กระบวนการสร้างสูตรเพื่อใช้แทนวงจร

กระบวนการสร้างสูตรเพื่อใช้แทนวงจร เป็นกระบวนการสร้างสูตรทางพีชคณิตเพื่อใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ทางตรรกของวงจรที่ดี และสร้างสูตรเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนไปเมื่อวงจรมีจุดเสีย เนื่องจากวิธีการให้กำเนิดสัญญาณทดสอบโดยวิธีบูลลีนแซททิสฟายอะบิลิตี้ เป็นหลักวิธีที่นำมาใช้กับวงจรประกอบซึ่งการสร้างสูตรสำหรับวงจรประกอบได้มีการกล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 2.6 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง หลักวิธีที่นำมาใช้สำหรับสร้างสูตรเพื่อเป็นตัวแทนวงจรลำดับ โดยมีวิธีการดังนี้

1) แปลงวงจรลำดับให้อยู่ในรูปแบบวงจรประกอบ

วิธีการนี้ใช้การแปลงวงจรลำดับให้อยู่ในรูปแบบวงจรประกอบ ซึ่งเรียงต่อกันเป็นลำดับโดยอาศัยแบบจำลองที่เรียกว่า Iterative Combinational Circuit [18] ขั้วขาออกทุติยภูมิ (Secondary Output) ของกรอบเวลา (Time Frame) t ใดๆ จะถือว่าเป็นขั้วขาเข้าทุติยภูมิ (Secondary Input) ของกรอบเวลาถัดไป t+1 ตัวอย่าง แบบจำลอง Iterative Combinational Circuit แสดงดังรูปที่ 4.7

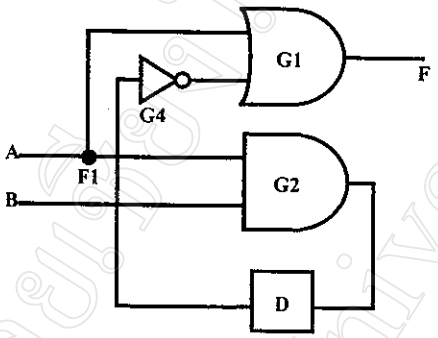


รูปที่ 4.7 แบบจำลอง Iterative Combinational Circuit [19]

จากรูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของขั้วขาออกทุติยภูมิที่กรอบเวลา t กับ ขั้วขาเข้าทุติยภูมิที่กรอบเวลา t+1 คือ $SO_k(t) = SI_k(t+1)$ และจากการแปลงวงจรลำดับให้อยู่ในรูปวงจรประกอบทำให้สามารถนำวิธีการบูลลีนแซททิสฟายอะบิลิตี้เข้ามาใช้ทดสอบวงจรลำดับได้ อย่างไรก็ตามจุดเสียแบบติดค้างค่าเดี่ยวในวงจรลำดับจะถูกพิจารณาเป็นจุดเสียหลายจุด (Multiple Fault) ใน Iterative Circuit

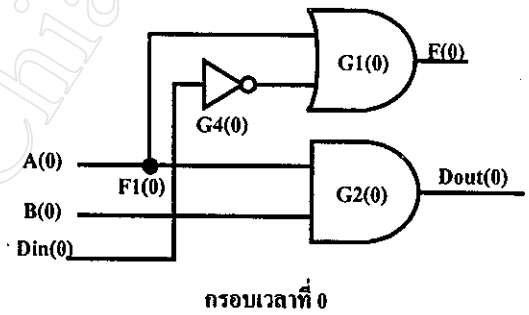
2) สร้างวงจรที่ดี

เนื่องจากวิธีการบูลลีนแซททิสฟายอะบิลิตี้ใช้การสร้างสูตรเพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ทางตรรกของวงจร ก่อนที่จะทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมเพื่อหารูปแบบสัญญาณทดสอบ ซึ่งการนำวิธีการนี้มาใช้กับวงจรลำดับมีวิธีการดังนี้



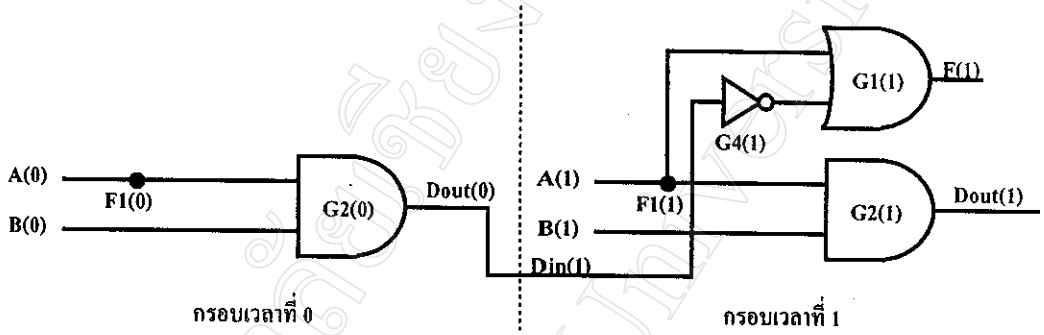
รูปที่ 4.8 วงจรลำดับอย่างง่าย [19]

ก) กรณี กรอบเวลา = 0 การสร้างสูตรสำหรับวงจร Itarative Combinational ณ กรอบเวลา 0 จะพิจารณาให้ขั้วขาเข้าทุติยภูมิเป็นขั้วขาเข้าที่รวมอยู่ในขั้วขาเข้าปกติ และ ขั้วขาออกทุติยภูมิเป็นขั้วขาออกที่รวมอยู่ในขั้วขาออกปกติ โดยในขั้นตอนการกำหนดค่า ขั้วขาเข้าทุติยภูมิในกรอบเวลาที่ 0 จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 0 ทั้งหมด ตัวอย่างวงจรลำดับรูปที่ 4.8 สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบ Iterative Combinational Circuit ที่กรอบเวลาที่ 0 ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 Iterative Combinational Circuit ของวงจรลำดับ
ณ. กรอบเวลาที่ 0

ข) กรณี กรอบเวลา > 0 การสร้างสูตรสำหรับวงจร Iterative Combinational สามารถทำได้โดยการสร้างสูตรสำหรับวงจรประกอบของแต่ละกรอบเวลา ยกเว้น เส้นวงจร และ เกต ที่ไม่เกี่ยวข้องกับขั้วขาออกที่กรอบเวลาสูงสุดจะไม่ถูกนำมาสร้างเป็นสูตรเนื่องจากไม่มีส่วนในการแพร่ผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกที่กรอบเวลาสูงสุดได้ ตัวอย่างวงจรลำดับรูปที่ 4.8 แปลงเข้าสู่วงจร Iterative Combinational ที่มีกรอบเวลาสูงสุดคือ กรอบเวลาที่ 1 ได้ดังรูปที่ 4.10



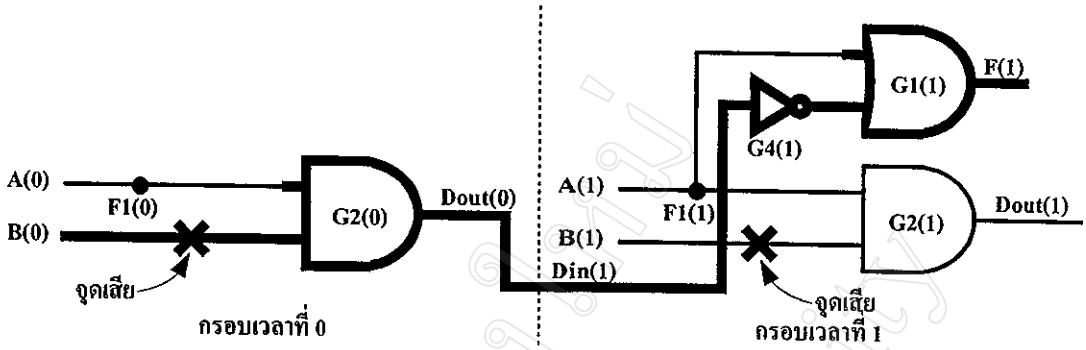
รูปที่ 4.10 Iterative Combinational Circuit ของวงจรลำดับ ณ. กรอบเวลาที่ 1

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าส่วนของวงจรในกรอบเวลาที่ 0 ที่ไม่เกี่ยวข้องกับวงจรในกรอบเวลาที่ 1 จะถูกตัดออกไป และ ณ กรอบเวลาที่ 1 วงจร Iterative Combinational Circuit มีขนาดของวงจรเพิ่มขึ้นจากกรอบเวลาที่ 0 ซึ่งในการทดสอบถ้ามีการกำหนดจำนวนกรอบเวลาที่จะทำการทดสอบมากก็จะทำให้มีโอกาสที่จะได้ค่าครอบคลุมจุดเสียที่สูงขึ้นแต่ก็จะต้องใช้เวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดจำนวนกรอบเวลาไว้ที่ 10 กรอบเวลา

3) สร้างวงจรที่เสีย และวงจรที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างวงจรที่ดีกับวงจรที่เสีย

เนื่องจากการให้กำเนิดสัญญาณทดสอบโดยวิธีบูลลีนแซททิสฟายอะบิลิตี้ อาศัยความสัมพันธ์ทางตรรกที่แตกต่างกันของวงจรที่ดีและวงจรที่เกิดจุดเสีย ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างวงจรที่เกิดจุดเสียเพื่อหาความสัมพันธ์ทางตรรกที่เกิดขึ้นดังนี้

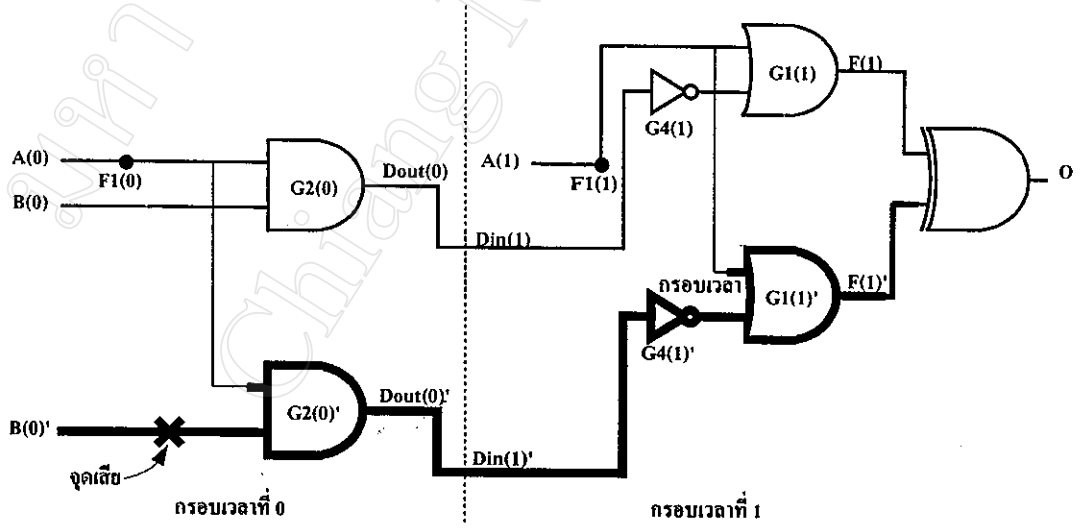
ก) จากตำแหน่งที่เกิดจุดเสีย ค้นหาเส้นทางเดินที่สามารถออกสู่ขั้วขาออก ตัวอย่าง วงจรรูปที่ 4.8 เกิดจุดเสียแบบติดค้างค่าเดี่ยวที่ขั้วขาเข้า B ซึ่งจากแบบจำลอง Iterative Combinational Circuit ที่กรอบเวลาที่ 1 จุดเสียที่ขั้วขาเข้า B มีทางเดินออกสู่ขั้วขาออกตามแนวเส้นทึบดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เส้นทางเดินจากจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกที่กรอบเวลาที่ 1

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าจุดเสียที่กรอบเวลาที่ 0 มีทางเดินที่สามารถออกสู่ขั้วขาออกได้ตามแนวเส้นทึบ สำหรับจุดเสียที่เกิดขึ้นในกรอบเวลาที่ 1 ไม่มีผลในการแพร่สัญญาณผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกเนื่องจากไม่มีทางเดินที่ออกสู่ขั้วขาออก

ข) สร้างวงจรที่เกิดจากจุดเสียและนำวงจรที่เกิดจากจุดเสียมาเชื่อมต่อกับวงจรที่ดีโดยใช้เกตแบบเอ็กคลูซีฟออร์เป็นตัวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วงจรที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างวงจรที่ดีกับวงจรที่เสีย

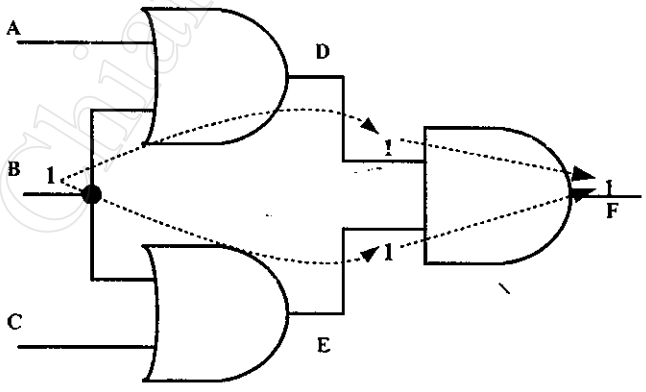
รูปที่ 4.12 ได้แสดงวงจรที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของวงจรที่ดีและวงจรที่เกิดจุดเสียที่ขั้วขาเข้า B โดยมีเกตแบบเอ็กคลูซีฟออร์เป็นตัวเชื่อม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ส่วนอื่นๆของวงจรที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการแพร่ผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกที่กำลังพิจารณาจะไม่ถูกนำมารวมอยู่ในวงจรที่สร้างขึ้นมา จากผลการเชื่อมต่อกันระหว่างวงจรที่ดีกับวงจรที่เกิดจุดเสียผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปสร้างเป็นสูตรตามวิธีการที่ได้อธิบายในบทที่ 2 เพื่อเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ทางตรรกของวงจรที่เกิดขึ้นและสูตรที่ได้จะถูกส่งไปให้กระบวนการกำหนดค่าเพื่อหารูปแบบสัญญาณทดสอบต่อไป ในกระบวนการกำหนดค่าให้กับตัวแปรในสูตร จุดเสียที่ขั้วขาเข้า B จะสามารถทดสอบได้ถ้าสามารถกำหนดค่าให้กับตัวแปรทุกตัวในสูตร แล้วทำให้ค่าทางตรรกของ F(1) แตกต่างจาก F(1)' หรือทำให้ค่าทางตรรกของ O มีค่า เป็น 1

4.3 กระบวนการสร้างอนุประโยคเงื่อนไข

กระบวนการสร้างอนุประโยคเงื่อนไขเป็นกระบวนการสร้างอนุประโยคเพื่อช่วยให้การกำหนดค่าเพื่อหารูปแบบสัญญาณทดสอบทำได้รวดเร็วขึ้นและลดจำนวนตัวแปรที่ถูกกำหนดค่าที่ไม่เหมาะสมลงโดยอาศัยหลักวิธีดังต่อไปนี้

4.3.1 Non-local Implications

จากหลักวิธี SOCRATES [20] ซึ่งใช้การทดสอบส่วนที่เป็น Reconvergent Fanout ภายในวงจรทำให้สามารถกำหนดความสัมพันธ์ของโหนดในวงจรแบบ Non-local Implication ได้ดังตัวอย่างวงจรรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การกำหนดค่าเพื่อหา Non-local Implication

จากวงจรรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ถ้ากำหนดค่าให้ B=1 จะทำให้ D=1, E=1 และ F=1 ซึ่งจาก Contrapositive Laws ในสูตรที่ 11

$$(P \Rightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg Q \Rightarrow \neg P) \qquad 11$$

ถ้าแทนค่าความสัมพันธ์ทางตรรกระหว่าง B กับ F ในสูตรที่ 11 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างคือ B กับ F ซึ่งเป็น Non-local Implication ดังสูตรที่ 12

$$((B=1) \Rightarrow (F=1)) \Leftrightarrow ((F=0) \Rightarrow (B=0)) \qquad 12$$

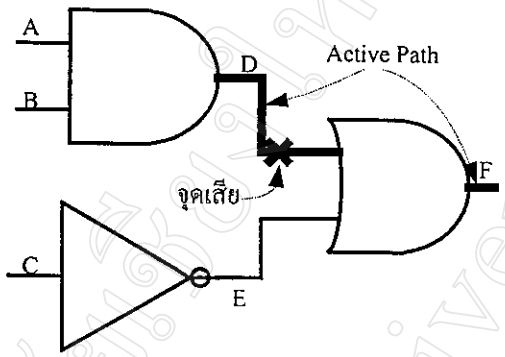
จากสูตรที่ 12 หมายความว่า ถ้ากำหนดให้ B มีค่าเป็น 1 แล้ว F จะต้องมีค่าเป็น 1 ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดให้ F มีค่าเป็น 0 แล้ว B จะต้องมีค่าเป็น 0 ด้วย ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรทุกครั้งจะเป็นตามความสัมพันธ์แบบ Non-local Implication จึงได้มีการเพิ่มอนุประโยคเงื่อนไข $(\overline{B} + F)$ เข้าไปในสูตรก่อนที่จะมีการกำหนดค่าให้กับตัวแปร

4.3.2 อนุประโยคแอกทีฟ (Active Clause)

เป็นวิธีการที่ใช้ตรวจหาทางเดิน (Sensitized Path) เพื่อนำผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออก โดยวิธีการที่นำมาใช้คือการสร้างอนุประโยคเงื่อนไขที่เรียกว่าอนุประโยคแอกทีฟ (Active Clause) [12] ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ช่วยให้สามารถค้นหาเส้นทางเดินที่สามารถนำผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกได้เร็วขึ้น ทางเดินที่สามารถนำผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกเรียกว่า ทางเดินแอกทีฟ (Active Path) และเส้นทางที่เป็นส่วนประกอบของทางเดินแอกทีฟ เรียกว่า เส้นวงจรแอกทีฟ (Active Line) โดยเส้นวงจรที่เกิดจุดเสียจะเป็นเส้นวงจรที่อยู่บนทางเดินแอกทีฟ และถ้าเส้นวงจรที่เกิดจุดเสียเป็นขั้วขาเข้าเข้าสู่เกตโดยที่เกตมีขั้วขาออกเพียงเส้นเดียว ขั้วขาออกนั้นจะเป็นเส้นวงจรแอกทีฟซึ่งอยู่บนทางเดินแอกทีฟด้วย การเพิ่มอนุประโยคเงื่อนไข มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างตัวแปรที่เรียกว่า ตัวแปรแอกทีฟ (Active Variable) ขึ้นมา เพื่อเป็นตัวแทนเส้นวงจรแอกทีฟที่อยู่ในทางเดินแอกทีฟ โดยแต่ละเกตที่มีเส้นวงจรแอกทีฟเป็นขั้วขาเข้าจะมีการเพิ่มอนุประโยคเข้าไปกำกับเรียกว่า อนุประโยคแอกทีฟ ตัวอย่างวงจรรูปที่ 4.14 เกิดจุดเสียที่เส้นวงจร D ดังนั้นเส้นวงจรนี้จึงเป็นเส้นวงจรแอกทีฟ และมีตัวแปรแอกทีฟที่สร้างขึ้นมาคือ ActD และเนื่องจากขั้วขาออกมีเส้นเดียวคือ F ดังนั้น F จึงเป็นเส้นวงจรแอกทีฟด้วยและมีตัวแปรแอกทีฟคือ

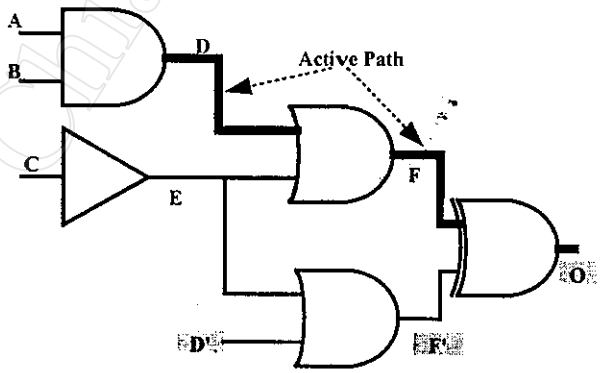
ActF อนุประโยคแอกทีฟที่สร้างขึ้นมากำกับความสัมพันธ์นี้คือ $(\overline{\text{ActD}} + \text{ActF})$ หมายความว่า ถ้าเส้นวงจร D แอกทีฟ แล้ว เส้นวงจร F จะต้องแอกทีฟด้วย



รูปที่ 4.14 จุดเสียและ ทางเดินแอกทีฟ

2) สำหรับจุดแยกที่มีหลายทางแยก เช่นมีขั้วขาเข้า X ซึ่งเป็นเส้นวงจรแอกทีฟ โดยที่มี ขั้วขาออก Y และ Z อนุประโยคแอกทีฟที่สร้างขึ้นมากำกับคือ $(\overline{\text{ActX}} + \text{ActY} + \text{ActZ})$ หมายความว่าถ้าเส้นวงจร X แอกทีฟ แล้ว เส้นวงจร Y หรือ เส้นวงจร Z จะต้องแอกทีฟ

3) ทุกๆตัวแปรแอกทีฟที่สร้างขึ้นมาจะมีการเพิ่มอนุประโยคเงื่อนไขเพื่อกำหนดให้เส้นวงจรที่อยู่ในทางเดินแอกทีฟ มีค่าทางตรรกแตกต่างกันระหว่างวงจรที่ดีและวงจรที่เสีย ตัวอย่างวงจรทางเดินแอกทีฟในวงจรที่เกิดจากจุดเสียในรูปที่ 4.14 แสดงดังรูปที่ 4.15

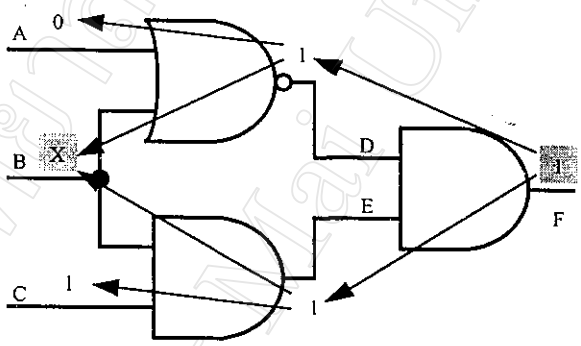


รูปที่ 4.15 ทางเดินแอกทีฟในวงจร

จากรูปที่ 4.15 อนุประโยคที่จะเพิ่มเข้าไปเพื่อกำหนดความแตกต่างของค่าทางตรรกระหว่างวงจรที่ดี และวงจรที่มีจุดเสีย คือ $(\overline{\text{ActD}}+\text{D}+\text{D}')\cdot(\overline{\text{ActD}}+\bar{\text{D}}+\bar{\text{D}}')$ และ $(\overline{\text{ActF}}+\text{F}+\text{F}')\cdot(\overline{\text{ActF}}+\bar{\text{F}}+\bar{\text{F}}')$ หมายความว่า ถ้าเส้นวงจร D แอกทีฟ แล้ว ค่าทางตรรกของ D และ D' จะต้องแตกต่างกัน และ ถ้าเส้นวงจร F แอกทีฟ แล้ว ค่าทางตรรกของ F และ F' จะต้องแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าทุกๆเส้นวงจรแอกทีฟ การเพิ่มอนุประโยคเข้าไปอีกสองอนุประโยคจะทำให้สามารถกำหนดค่าให้กับตัวแปรได้ง่ายและเห็นความแตกต่างระหว่างค่าที่ดีกับค่าที่เสียได้ชัดเจนขึ้น

4.3.3 การกำหนดค่าให้กับตัวแปรที่มีค่าตายตัว

วิธีการนี้เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้สามารถกำหนดค่าให้กับตัวแปรได้ง่ายขึ้น โดยการกำหนดค่าเพื่อทดสอบหาตัวแปรที่มีค่าตายตัว [4] ดังตัวอย่างรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การกำหนดค่าเพื่อหาตัวแปรที่มีค่าตายตัว

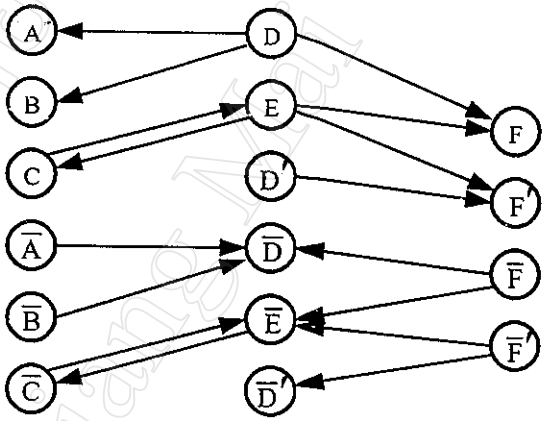
จากรูปที่ 4.16 การกำหนดค่าให้กับตัวแปร F = 1 จะมีผลทำให้เกิดข้อขัดแย้งขึ้นที่ตัวแปร B เนื่องจากถ้าตัวแปร D = 1 แล้ว A, B จะต้องเท่ากับ 0 ในขณะที่ ถ้าตัวแปร E = 1 แล้ว B, C จะต้องมีค่าเท่ากับ 1 จากการกำหนดค่าจะเห็นได้ว่าถ้าตัวแปร F = 1 จะมีผลทำให้ตัวแปร B ต้องถูกกำหนดค่าให้เป็นทั้ง 0 และ 1 ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นในขั้นตอนของการกำหนดค่าให้กับตัวแปร ตัวแปร F จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 0 เสมอ

4.4 การสร้างอิมพลิเคชันกราฟและการกำหนดค่าทางตรรก

การสร้างอิมพลิเคชันกราฟและการกำหนดค่าทางตรรกให้กับตัวแปรเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรเพื่อหารูปแบบสัญญาณทดสอบโดยมีหลักวิธีดังต่อไปนี้

4.4.1 การสร้างอิมพลิเคชันกราฟ

การสร้างอิมพลิเคชันกราฟเป็นกระบวนการที่นำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนข้อกำหนดทางตรรกภายในสูตร CNF ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในกระบวนการกำหนดค่าให้กับตัวแปร จากหัวข้อที่ 2.6.4 จะเห็นได้ว่า อนุประโยค (X+Y) สามารถมองได้เป็น 2 อิมพลิเคชันคือ $(\overline{X} \rightarrow Y)$ และ $(\overline{Y} \rightarrow X)$ อิมพลิเคชันแรก $(\overline{X} \rightarrow Y)$ หมายความว่า $\overline{X}$ เป็นโหนดก่อนหน้าของ Y และ Y เป็นโหนดตามหลังของ $\overline{X}$ ถ้ากำหนดค่าให้ $\overline{X}$=1 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้ Y=1 ด้วย หรือ ถ้ากำหนดค่าให้ Y=0 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้ $\overline{X}$=0 ด้วย จึงจะทำให้อนุประโยค (X+Y) มีค่าความจริงเป็นจริง อิมพลิเคชันที่สอง $(\overline{Y} \rightarrow X)$ มีข้อกำหนดคือ ถ้ากำหนดค่าให้ $\overline{Y}$=1 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้ X=1 หรือถ้ากำหนดค่าให้ X=0 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้ $\overline{Y}$=0 ด้วย จึงจะทำให้อนุประโยค (X+Y) มีค่าความจริงเป็นจริง ตัวอย่างวงจรรูปที่ 4.15 สามารถสร้างอิมพลิเคชันกราฟได้ดังรูปที่ 4.17 ผังการทำงานของกระบวนการสร้างอิมพลิเคชั่นกราฟถูกแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20



รูปที่ 4.17 อิมพลิเคชันกราฟของวงจร

4.4.2 การกำหนดค่าให้กับตัวแปร

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการกำหนดค่าให้กับตัวแปรในสูตร ซึ่งเป็นสูตรที่เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ทางตรรกระหว่างวงจรที่ดีกับวงจรที่มีจุดเสียรวมกับสูตรที่ได้มาจากอนุประโยคเงื่อนไขต่างๆ โดยอาศัยอิมพลิเคชันกราฟเป็นข้อบังคับทางตรรกและอนุประโยคที่มากกว่าสองเป็นอนุประโยคตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดค่าการกำหนดค่าให้กับตัวแปรภายในสูตรมีหลักวิธีดังนี้

1) จัดเรียงตัวแปรทั้งหมดให้อยู่ในแอเรย์โดยเรียงลำดับตัวแปรตามจำนวนโหนดที่อยู่ตามหลัง เช่นจากรูปที่ 4.17 ตัวแปร D มีโหนดที่อยู่ตามหลัง 3 โหนด คือ A, B, F ในขณะที่ตัวแปร C มีโหนดที่อยู่ตามหลังเพียงโหนดเดียวคือ E ดังนั้นตัวแปร D จะอยู่ก่อนตัวแปร C ในแอเรย์ ตัวอย่างการจัดเรียงตัวแปรของวงจรอิมพลิเคชันกราฟรูปที่ 4.15 แสดงดังรูปที่ 4.18

D	E	$\overline{F}$	$\overline{F}'$	C	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{C}$	D′	$\overline{E}$	A	B	$\overline{D}$	$\overline{D}'$	F	F′	O

รูปที่ 4.18 การจัดลำดับตัวแปรในแอเรย์

2) กำหนดค่าให้กับตัวแปรในแอเรย์ โดยจะเริ่มต้นที่ตำแหน่งแรกของแอเรย์ไล่ไปเรื่อยๆจนกระทั่งกำหนดค่าให้กับตัวแปรตัวสุดท้ายในแอเรย์การกำหนดค่าจึงจะสิ้นสุดและถือว่าการกำหนดค่าเพื่อหารูปแบบสัญญาณทดสอบสำเร็จโดยมีรูปแบบสัญญาณทดสอบคือค่าทางตรรกที่กำหนดให้กับตัวแปรที่เป็นตัวแทนขั้วขาเข้า วิธีการกำหนดค่ามีหลักวิธีคือ ณ ตำแหน่ง i ใดๆในแอเรย์จะกำหนดค่าให้กับตัวแปรมีค่าเป็น 1 ซึ่งผลจากการกำหนดค่าถ้าไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดในอิมพลิเคชันกราฟหรืออนุประโยคที่มากกว่าสองจะทำการยกเลิกการกำหนดค่าและทำการกำหนดค่าให้กับตัวแปรใหม่โดยกำหนดให้ตัวแปรมีค่าเป็น 0 ถ้ายังพบข้อขัดแย้งจะยกเลิกการกำหนดค่าให้กับตัวแปรในตำแหน่ง i และย้อนกลับไปกำหนดค่าให้กับตัวแปรในแอเรย์ในตำแหน่ง i-1 ใหม่ และถ้า i-1 มีค่าน้อยกว่า 0 การกำหนดค่าจะสิ้นสุดลงโดยถือว่าไม่สามารถหารูปแบบสัญญาณทดสอบให้กับจุดเสียที่กำลังพิจารณาอยู่ได้

3) เงื่อนไขที่ใช้ในการกำหนดค่าภายในลูป

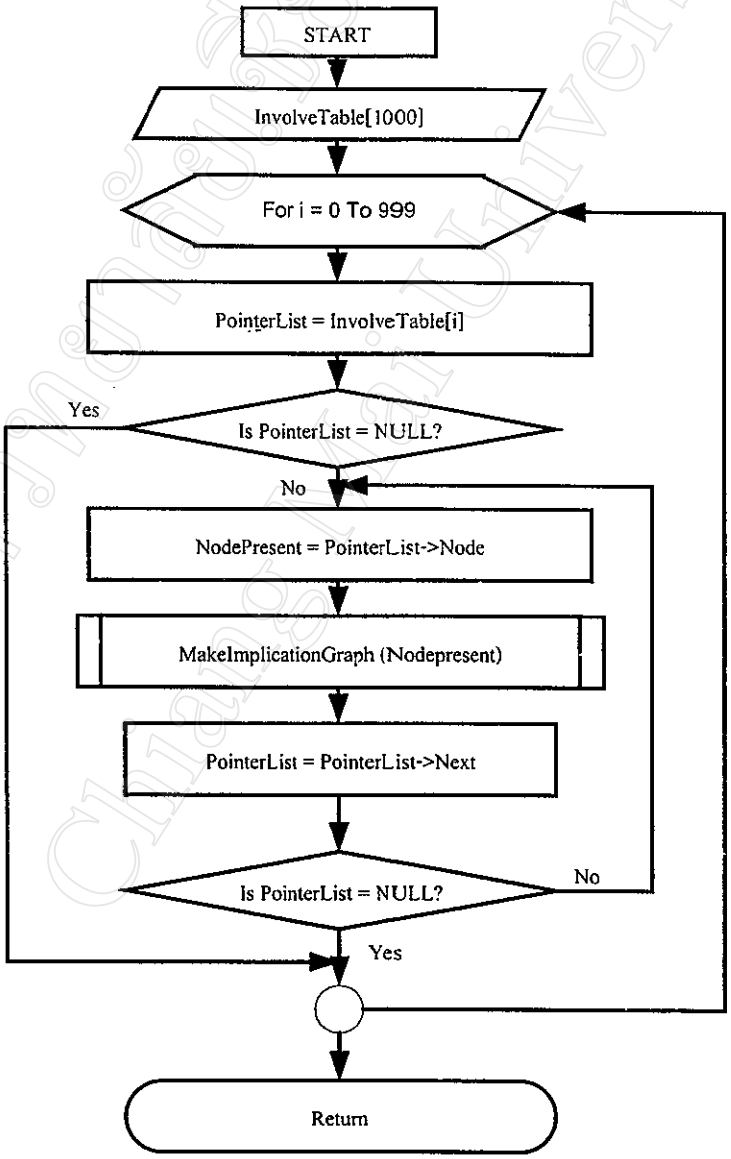
ก) ถ้าตัวแปรในตำแหน่งปัจจุบัน i ถูกกำหนดค่าแล้ว การกำหนดค่าจะข้ามไปกำหนดค่าให้กับตัวแปรในตำแหน่ง i+1 ต่อไป และจะสิ้นสุดการกำหนดค่าเมื่อ i+1 มีค่ามากกว่าขนาดของแอเรย์

ข) ถ้าตัวแปรในตำแหน่งปัจจุบัน i ยังไม่ถูกกำหนดค่า กำหนดค่าตัวแปรนี้ให้เป็น 1 และกำหนดค่าให้กับตัวแปรตาม (ข้อบังคับที่ได้จากอิมพลิเคชันกราฟ) ทุกตัวให้มีค่าเป็น 1 ถ้าพบข้อขัดแย้งให้ยกเลิกการกำหนดค่า และกำหนดค่าให้กับตัวแปรปัจจุบันใหม่ ให้มีค่าเป็น 0

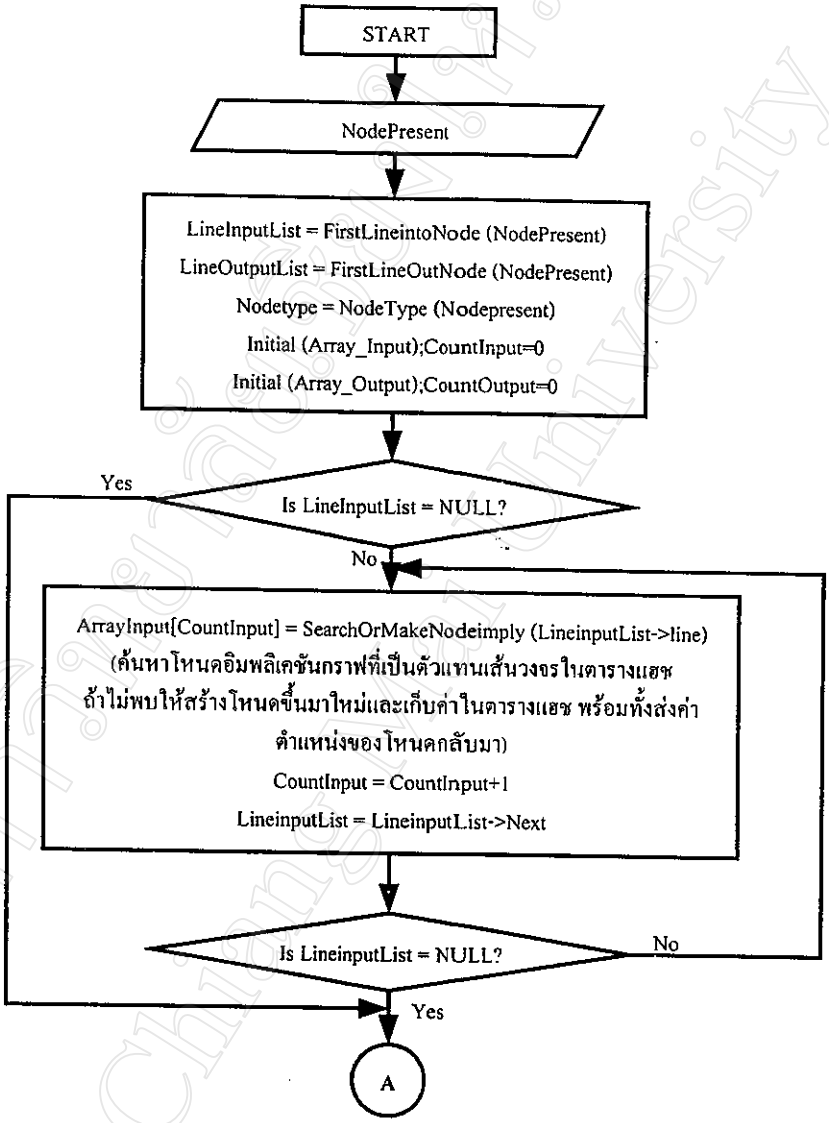
ค) ถ้ากำหนดค่าให้กับตัวแปร X=1 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้ตัวแปร $\overline{X}$=0 และถ้ากำหนดค่าให้กับตัวแปร $\overline{X}$=1 แล้วจะต้องกำหนดค่าให้กับตัวแปร X=0

ง) การกำหนดค่าจะยกเลิกเมื่อพบค่าที่เหมาะสมให้กับทุกตัวแปร (i+1 > ขนาดของแอเรย์) หรือ พบว่าไม่สามารถหาค่าที่เป็นไปได้ให้กับตัวแปร (i-1 < 0) หรือมีการกำหนดค่าให้กับตัวแปรที่ตำแหน่งเดิมวนซ้ำไปซ้ำมาเกินกว่าค่าที่กำหนด (กำหนดไว้ 15 ครั้ง)

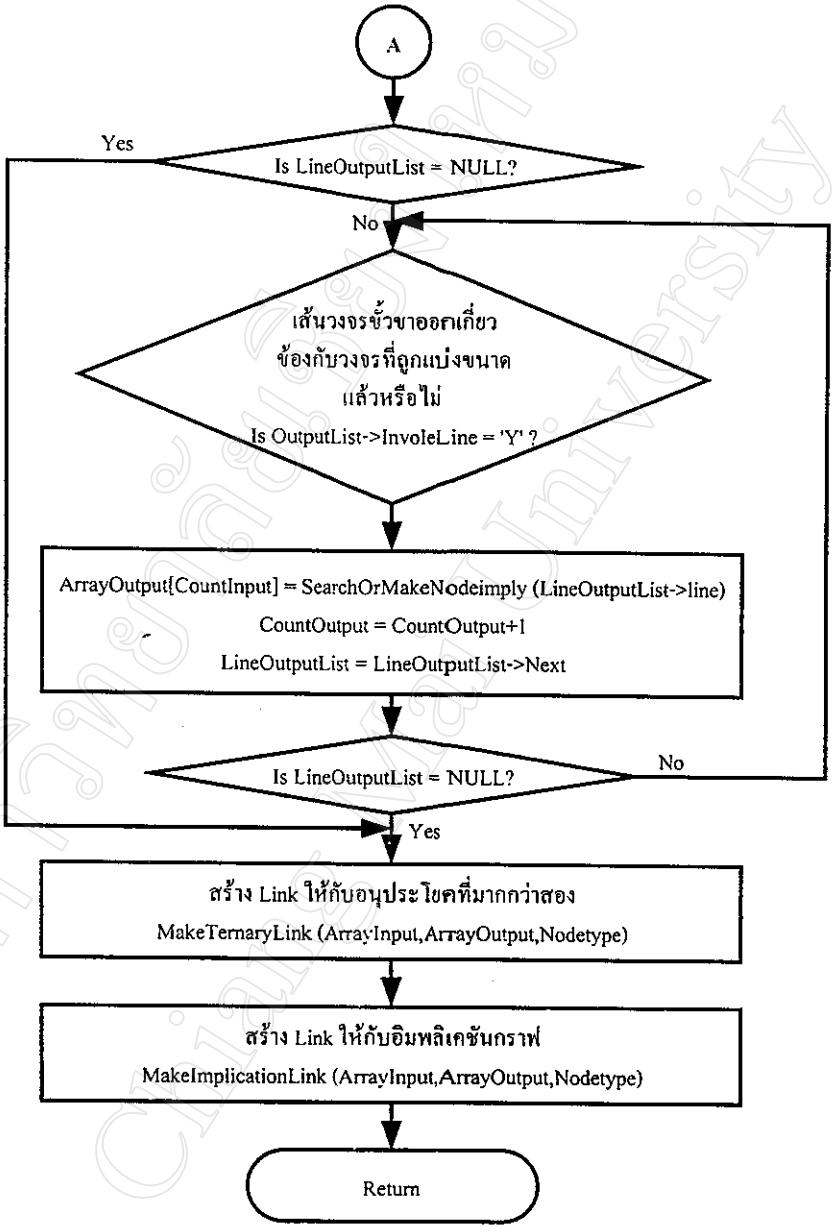
ผังการทำงานของกระบวนการกำหนดค่าให้กับตัวแปรในแอเรย์ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.21



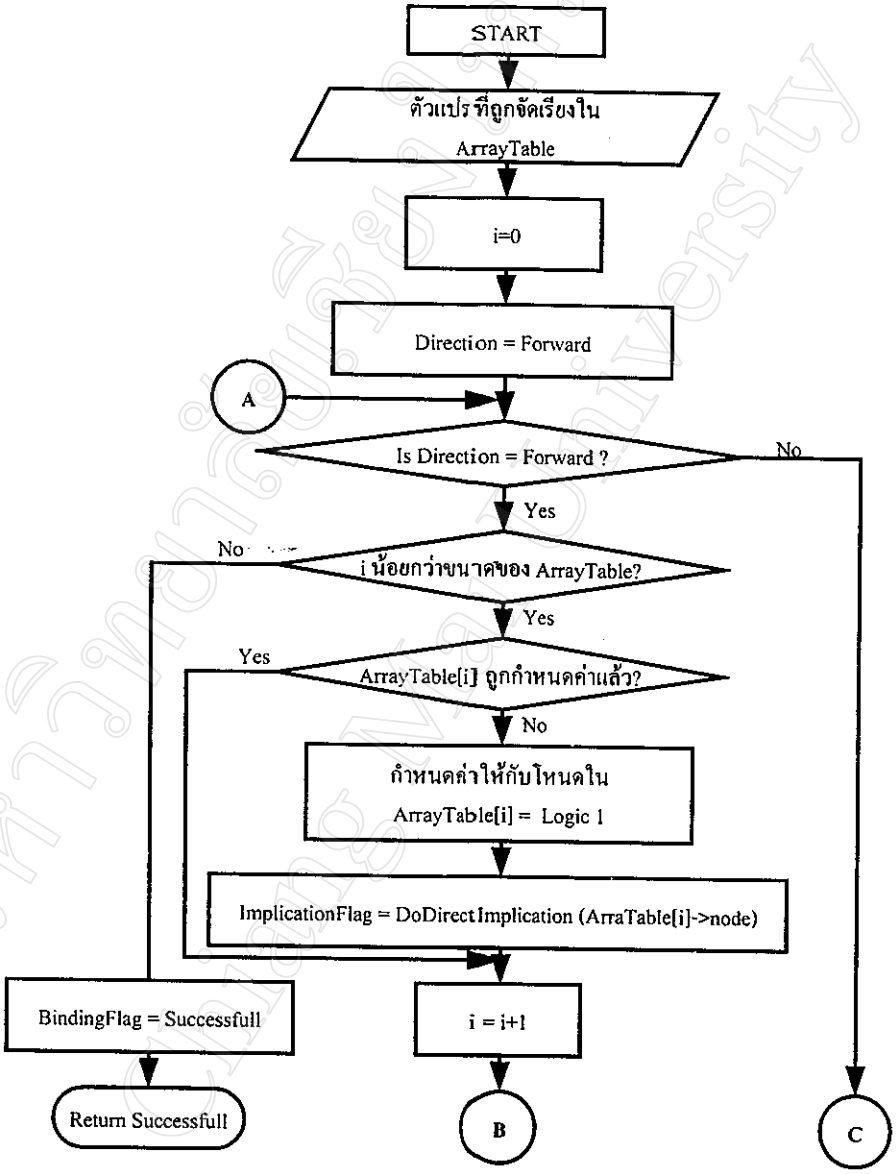
รูปที่ 4.19 ผังการทำงานกระบวนการสร้างอิมพลิเคชันกราฟ



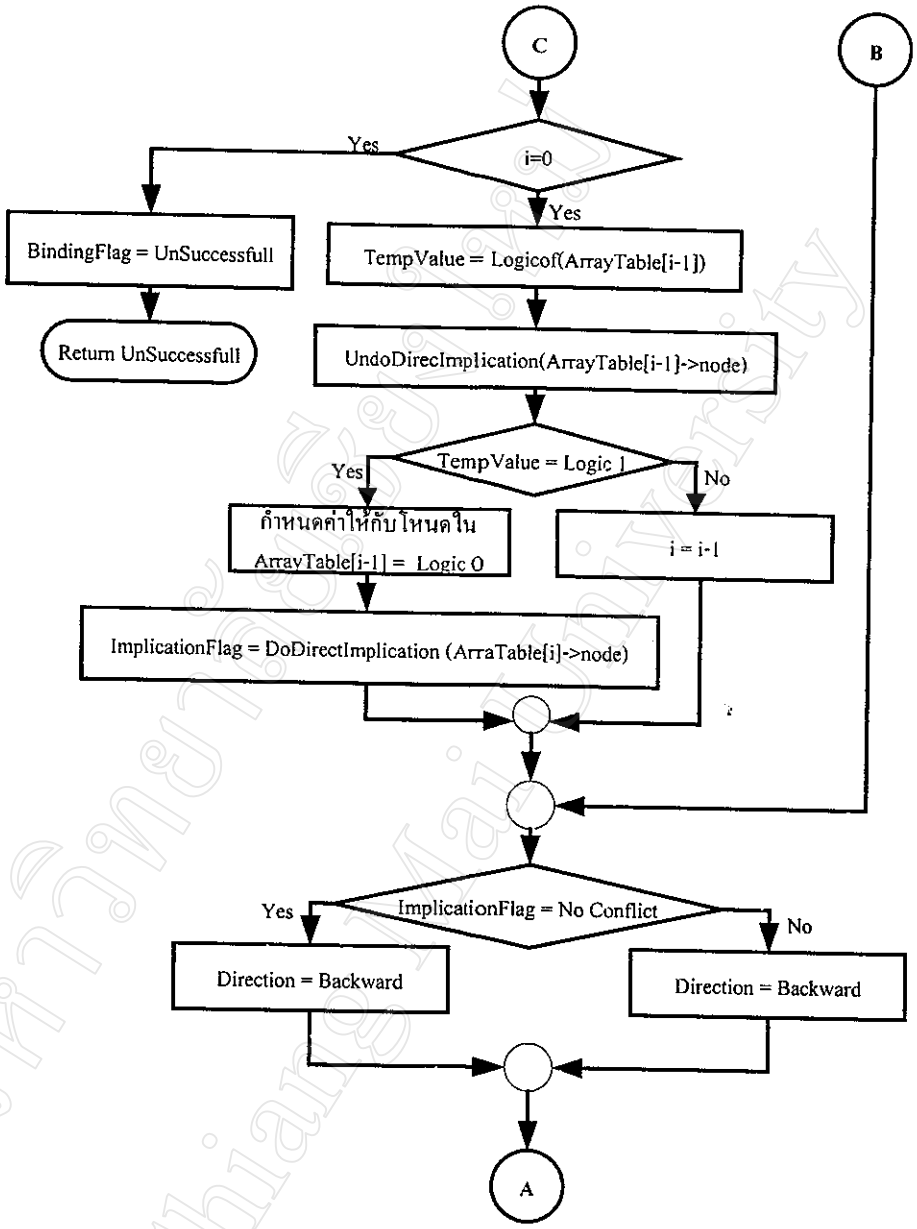
รูปที่ 4.20 ผังการทำงานฟังก์ชันก์ MakeImplicationGraph


A
Yes
Is LineOutputList = NULL?
No
เส้นวงจรขั้วขาออกเกี่ยว
ข้องกับวงจรที่ถูกแบ่งขนาด
แล้วหรือไม่
Is OutputList->InvoleLine = 'Y' ?
ArrayOutput[CountInput] = SearchOrMakeNodeimply (LineOutputList->line)
CountOutput = CountOutput+1
LineOutputList = LineOutputList->Next
Is LineOutputList = NULL?
No
Yes
สร้าง Link ให้กับอนุประโยคที่มากกว่าสอง
MakeTernaryLink (ArrayInput,ArrayOutput,Nodetype)
สร้าง Link ให้กับอิมพลิเคชันกราฟ
MakeImplicationLink (ArrayInput,ArrayOutput,Nodetype)
Return

รูปที่ 4.20 (ต่อ)



รูปที่ 4.21 ผังการทำงานกระบวนการกำหนดค่าให้กับตัวแปรในแอเรย์

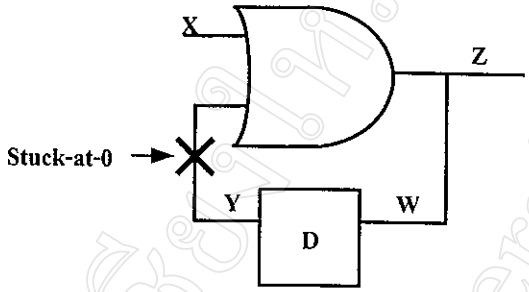


รูปที่ 4.21 (ต่อ)

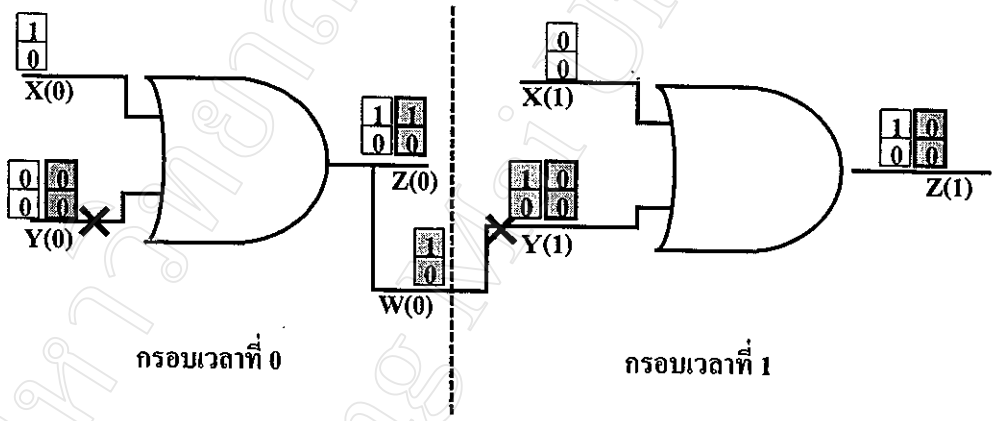
4.5 การจำลองการทำงานจุดเสียในขั้นตอนการทดสอบ

กระบวนการจำลองการทำงานจุดเสียในขั้นตอนการทดสอบ ใช้หลักวิธีเดียวกันกับกระบวนการจำลองการทำงานจุดเสียที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวเพิ่มเติมในการนำหลักวิธีการ PPSFP เพื่อมาทดสอบจุดเสียในวงจรลำดับ เนื่องจากจุดเสียแบบติดค้างค่าเดี่ยวในวงจรลำดับเมื่อแปลงเข้าสู่รูปแบบวงจร Iterative Combinational จะถูกพิจารณาเป็นจุดเสียแบบหลายจุด

ดังนั้นผลของการแพร่ค่าผลของจุดเสียออกสู่ขั้วขาออกโดยวิธี PPSFP จึงต้องคำนึงถึงจุดเสียในแต่ละกรอบเวลา ตัวอย่างวงจรลำดับรูปที่ 4.22 มีผลการจำลองการทำงานจุดเสีย ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 วงจรลำดับเกิดจุดเสียคงค้างค่า 0 ที่เส้น Y



รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบจุดเสียในวงจรลำดับกับโปรแกรมจำลองการทำงานจุดเสีย

จากรูปที่ 4.23 จากผลการจำลองการทำงานจุดเสียด้วยหลักวิธี PPSFP จะเห็นได้ว่าที่กรอบเวลาที่ 0 ยังไม่สามารถตรวจพบจุดเสียที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากรูปแบบสัญญาณที่ได้รับที่ขั้วขาออกจากวงจรที่ดีกับวงจรที่มีจุดเสีย (แอเรย์ที่แรเงา) มีรูปแบบที่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามจุดเสียที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรวจพบได้ที่ขั้วขาออกของกรอบเวลาที่ 2 เนื่องจากมีการแพร่ค่าที่เหมาะสมจากกรอบเวลาที่ 0 เข้ามากระตุ้นจุดเสีย Y(1) ที่กรอบเวลาที่ 1

ผลการทดสอบโปรแกรมจำลองการทำงานจุดเสียกับวงจรประกอบและวงจรลำดับมาตรฐานได้ถูกแสดงในบทที่ 5