

10

เดินเส้น (Routing)

ในบทนี้ท่านจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับ

- การจัดการ คอนเนคชั่น
- การกำหนดกริด
- กำหนดกฎการออกแบบ
- เดินเส้นด้วยมือ
- การเดินเส้นและเปลี่ยนเลเยอร์
- การแก้ไขแทร็ค
- เดินเส้นอัตโนมัติ (Auto Routing)
- การใช้ Auto Router
- การสร้างจุดทดสอบ (Test Point)
- การสร้างหยดน้ำตา (Tear Drop)

การเดินเส้นหรือ Routing คือหัวใจของการออกแบบ PCB มีความสำคัญใกล้เคียงกับ Placement บอร์ดจะใช้งานได้สมบูรณ์ วงจรจะต่อได้ถูกต้องขึ้นกับการวางเส้นหรือแทร็ค โปรเทลมี้เครื่องมือสำหรับเดินแทร็คสองวิธีคือให้ผู้ออกแบบเดินด้วยตนเองเรียกว่า Manual Routing และวิธีอัตโนมัติหรือ Auto Routing ทั้งสองวิธีมีความสำคัญขึ้นกับการใช้งานตามสถานะการณ์ใช้งานบางชนิดต้องการควบคุมแทร็คอย่างใกล้ชิดคือต้องการให้เดินเส้นในทิศทางที่กำหนด ต้องการกำหนดตำแหน่งเวีย ดังนั้นต้องใช้การเดินแทร็คด้วยมือ สำหรับวงจรทั่วไปเช่นดิจิตอล สามารถใช้ Auto Router เดินแทร็คให้อัตโนมัติ ซึ่งความสามารถ Auto Router ของโปรเทลมี้มีความสามารถมาก ใช้หลักการทำงานของ Shape Based คือมองวัตถุต่างๆตรงตามขนาดจริง ไม่ใช่วิธีเดินเส้นบนกริดเช่น ซอฟต์แวร์ในอดีต

การจัดการคอนเนคชั่น

คอนเนคชั่นหรือเส้นล่อยๆโยงระหว่างขาถึงขาอุปกรณ์ เป็นสัญลักษณ์ใช้แสดงการเชื่อมต่อ เส้นเหล่านี้กำหนดจากวงจร คอนเนคชั่นต้องถูกเปลี่ยนเป็นเส้นทองแดง(แทร็ค)ด้วยกระบวนการ Routing ไม่ว่าจะเดินด้วย PCB หน้าเดียวหรือ 2 หน้า ระหว่างเคลื่อนย้ายอุปกรณ์โปรเทลจะเปลี่ยนตำแหน่งคอนเนคชั่นโดยวิธีปรับจุดต่อ(Optimize) ตำแหน่งขาในเน็ตเดียวกัน ย้ายเข้าใกล้กว่าจุดเดิมคอนเนคชั่นจะเปลี่ยนไปที่จุดใหม่แทน ทั้งนี้การปรับจุดต่อจะต้องสอดคล้องกับกฎในกฎการออกแบบ(Design Rules) ดังจะกล่าวต่อไป เมื่อเดินเส้นทองแดงไปแล้วโปรเทลจะรับรู้โดยยกคอนเนคชั่นออกและไม่แสดงต่อไป โปรเทลจะรักษาข้อมูลนี้ ถึงแม้ว่าจะเดินเส้นทองแดงแล้วยกเลิกกลับเป็นคอนเนคชั่นเช่นเดิม ตำแหน่งการเชื่อมต่อจะกลับมาแสดงได้อย่างถูกต้องเสมอ หรือหากเดินเส้นทองแดงเพียงบางส่วนและเหลือไว้ โปรเทลจะแสดงคอนเนคชั่นโดยเริ่มจากจุดที่แทร็คหยุดไปถึงขาที่เป็นเป้าหมายแทน

การกำหนดกริด

โดยทั่วไปการเดินเส้นหรือการวางเส้นทองแดงไปบน PCB จะใช้วิธีวางไปบนกริด(ระยะห่างสม่ำเสมอทางแนวนอนและแนวตั้ง ใช้สำหรับวางวัตถุต่างๆเช่น แพ็ค, แทร็ค, เวีย เป็นต้น) ซึ่งกริดของการวางเส้น (Routing grid) จะต้องเป็นจำนวนเท่าของกริดของการวางอุปกรณ์(Placement grid) เช่นถ้ากริดการวางเส้นมีขนาด 25mils ดังนั้นกริดการวางอุปกรณ์ต้องมีขนาด 50 หรือ 100mils เพื่อให้เส้นที่เดินบนกริด 25mils วิ่งเข้าหาอุปกรณ์(ที่ขา)ได้ศูนย์กลางพอดี สำหรับอุปกรณ์ในยุคปัจจุบันมีขนาดเล็กลงมาก บางชนิดกำหนดขนาดเป็นหน่วยมิลลิเมตร บางชนิดกำหนดเป็นหน่วยนิ้ว เมื่อมีการผสมอุปกรณ์ทั้งสองชนิดในชิ้นงานเดียวกัน จึงยากที่จะกำหนดกริดให้เข้ากันได้กับทั้งสองหน่วย ดังนั้นโปรเทลได้แก้ปัญหานี้โดย

- ใช้ Electrical Grid (กำหนดได้จาก **Design>>Option>>Option** ช่อง Electrical Grid) เพื่อให้วัตถุวิ่งเข้าหา(Snap)วัตถุทางไฟฟ้าด้วยกัน ถึงแม้จะไม่วางอยู่บนกริด
- ใช้คาดการณ์ล่วงหน้า ระหว่างเดินเส้นทองแดง(ด้วยคำสั่ง **Place>>Interactive Routing**) เมื่อเลือกคอนเนคชั่นและเลื่อนเมาส์ โปรเทลจะค้นหาแนวทางที่คิดว่าจะใช้ เมื่อคลิกเมาส์จึงจะถือว่ายอมรับเส้นนั้น แต่ถ้าไม่ชอบสามารถเปลี่ยนเป็นจุดใหม่ เปิดโอกาสให้ผู้ออกแบบเลือกวิธีการวางเส้นได้ตรงตามความต้องการ
- หลีกเลี้ยงวัตถุกีดขวาง (ใช้คำสั่ง **Tools>>Preference>>Option>>PCB** เลือก **Avoid Obstacle**) สามารถตรวจสอบความผิดพลาดชนิดทันที ดังนั้นผู้ออกแบบมั่นใจได้ว่าไม่มีโอกาส วางเส้นให้ใกล้กันน้อยกว่าระยะห่างซึ่งกำหนดจากกฎการออกแบบ หากใช้ความสามารถนี้ตลอดเวลา จะมั่นใจได้ว่าเมื่อเสร็จชิ้นงาน จะไม่มีจุดใดมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเด็ดขาด

กำหนดกฎการออกแบบ

เมื่อต้องการแสดงกฎการออกแบบสำหรับการเดินเส้น เรียกคำสั่ง **Design>>Rules [D,R]** คลิกในช่อง Routing จะได้ดังรูปที่ 10—1 แต่ละช่องมีความหมายดังนี้

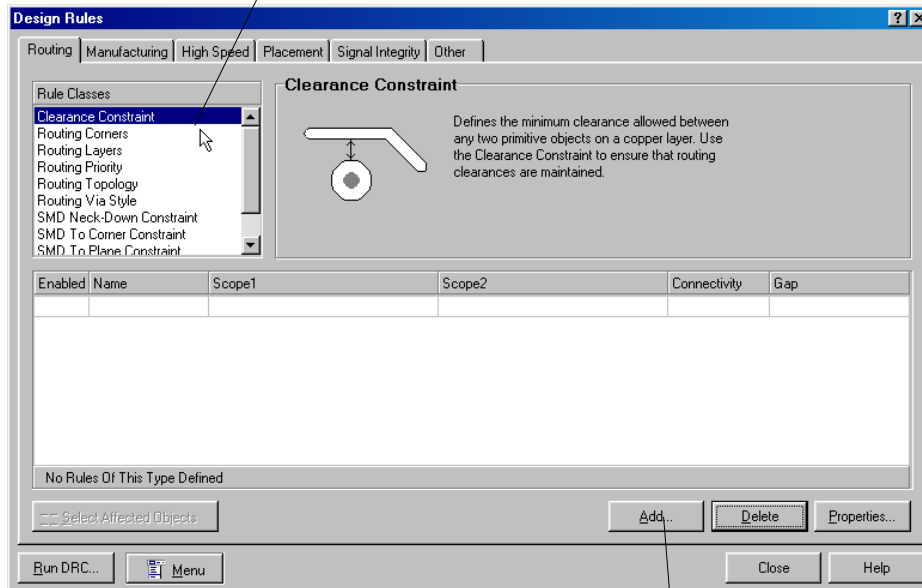
Clearance Constraint	กำหนดระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างวัตถุบน Signal Layer
Routing Corners	กำหนดวิธีเดินเส้นที่มุม เลือกได้เป็น 90, 45 องศา หรือเป็นมุมโค้ง
Routing Layers	กำหนด Layer และทิศทางการเดินเส้นใน Layer
Routing Priority	กำหนดลำดับความสำคัญของการเดินเส้น 100 จะสูงสุดและเดินก่อน 0 จะต่ำที่สุด
Routing Topology	กำหนดวิธีการเดินเส้นระหว่างแพ็ดถึงแพ็ดของอุปกรณ์ โดยทั่วไปกำหนดเป็นสั้นที่สุด หรือ Shortest สามารถเลือกได้คือ Horizontal, Vertical, Daisy-Simple, Daisy-Mid Driven, Daisy-Balance
Routing Via Style	กำหนดขนาดแพ็ดและรูเจาะส่วนของเวีย
SMD Neck-Down	กำหนดสัดส่วนระหว่างความกว้างเส้นทองแดงและความกว้างแพ็ดของอุปกรณ์ชนิด SMD หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์
SMD to Corner Constraint	กำหนดระยะห่างน้อยที่สุดจากแพ็ด SMD ไปที่จุดหักมุมแรก
SMD to Plane Constraint	กำหนดระยะห่างมากที่สุดจากแพ็ด SMD ไปยัง copper plane
Routing Width	กำหนดขนาดเส้นแตร็คทั้งระหว่างเดินวิธี Manual หรือ Auto

ในบทที่ผ่านมา เราได้ทดลองสร้างบอร์ดตัวอย่างค้างไว้ในชั้นจัดเรียงอุปกรณ์ ขั้นตอนต่อไปจะเริ่มเดินเส้น ซึ่งจำเป็นต้องกำหนดข้อบังคับต่างๆโดยสรุปดังนี้

- ระยะห่างระหว่างวัตถุใดๆกำหนดเป็น 10mils
 - กำหนดเวียเป็นชนิด Through Hole มีขนาด 50mils และมีรูเจาะ 28mils
 - กำหนดขนาดเส้น Power (VCC, GND) มีขนาด 50mils
 - กำหนดขนาดเส้นทั่วไปมีขนาด 12mils
 - กำหนดให้เดินเส้นบนด้าน Top ในแนวนอนและ Bottom ในแนวตั้ง
- ขั้นตอนการกำหนดมีดังนี้

1. เลือกชนิด

Clearance Rules

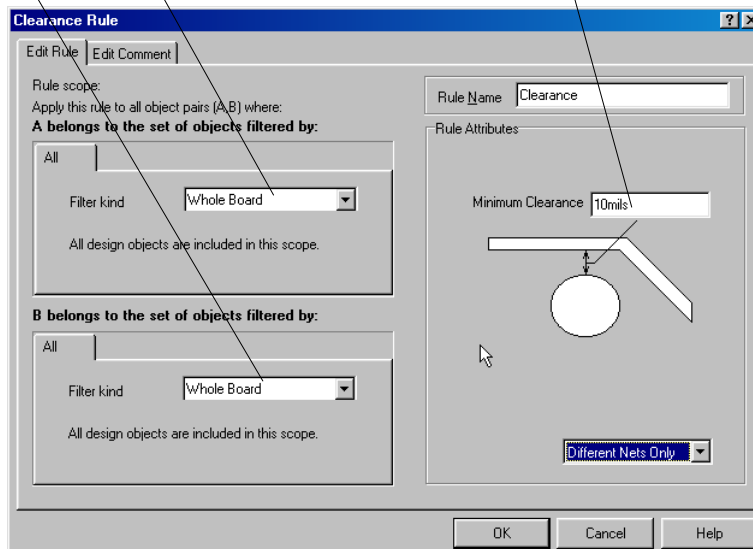


รูปที่ 10—1 กฎการออกแบบ

2. คลิก Add เพื่อเพิ่มกฎ

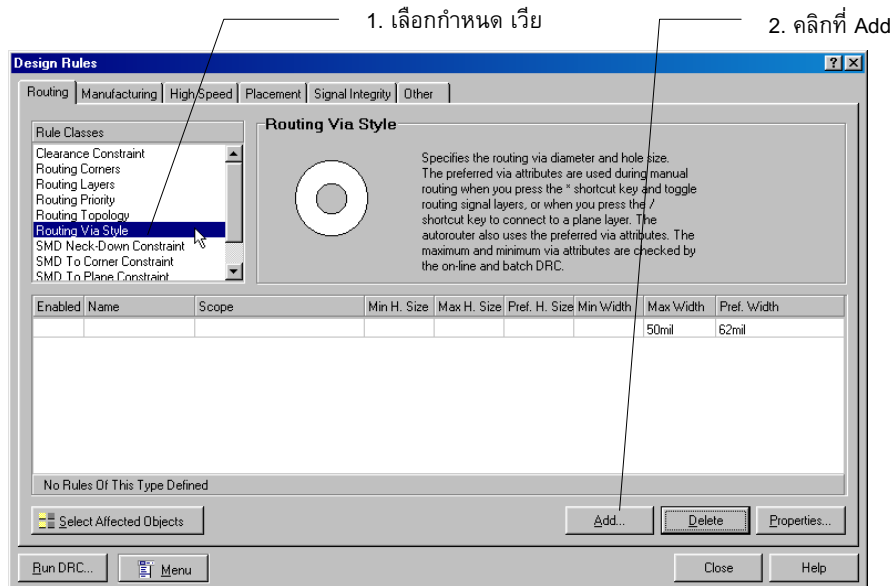
3. ช่องนี้เป็น Whole Board

4. กำหนดขนาด เป็น 10mils



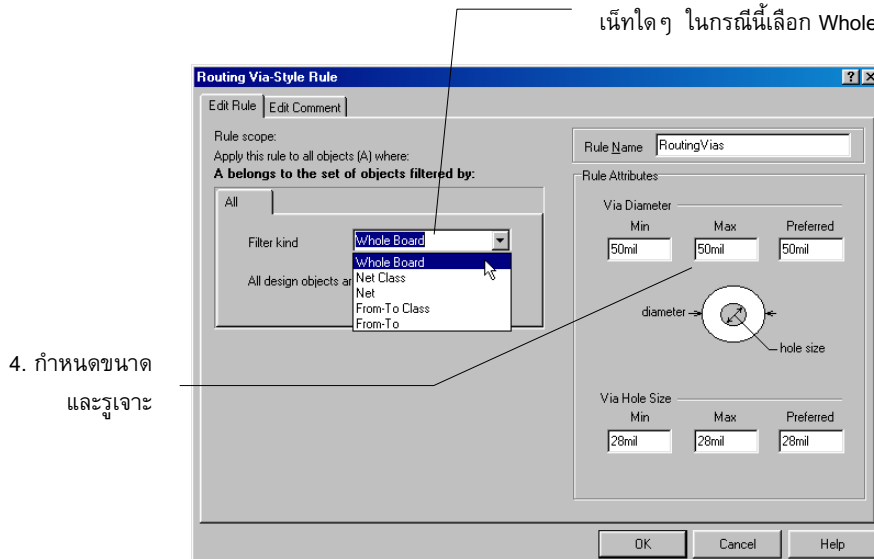
รูปที่ 10—2 กฎระยะห่าง (Clearance Rule)

การกำหนดในระดับ Whole Board หมายความว่าระยะห่าง(Clearance) ระหว่างวัตถุใดๆบน Electrical Layer จะมีระยะ 10 mils เหมือนกันทั้งบอร์ด ไม่ว่าจะเป็นแพ็ด,เวีย,แทร็ค ต่อไปจะกำหนดขนาดเวียสำหรับเน็ตใดๆโดยไม่เจาะจง(ระดับ Whole Board) ก่อน

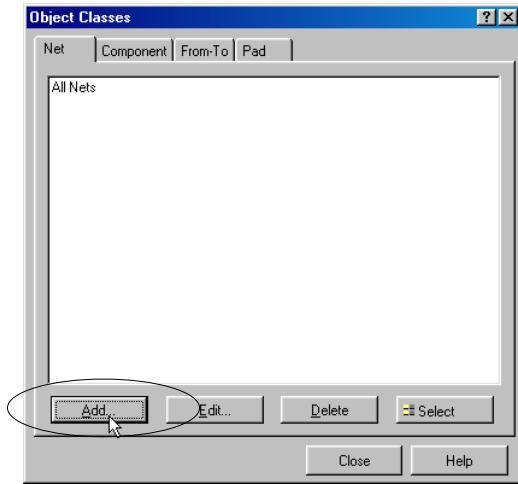


รูปที่ 10—3 เลือกกำหนดขนาดเวีย

3. เลือกกำหนดเวียนี้สำหรับทั้งบอร์ดหรือเฉพาะเน็ตใดๆ ในกรณีนี้เลือก Whole Board



รูปที่ 10—4 กำหนดกฎของการใช้เวีย



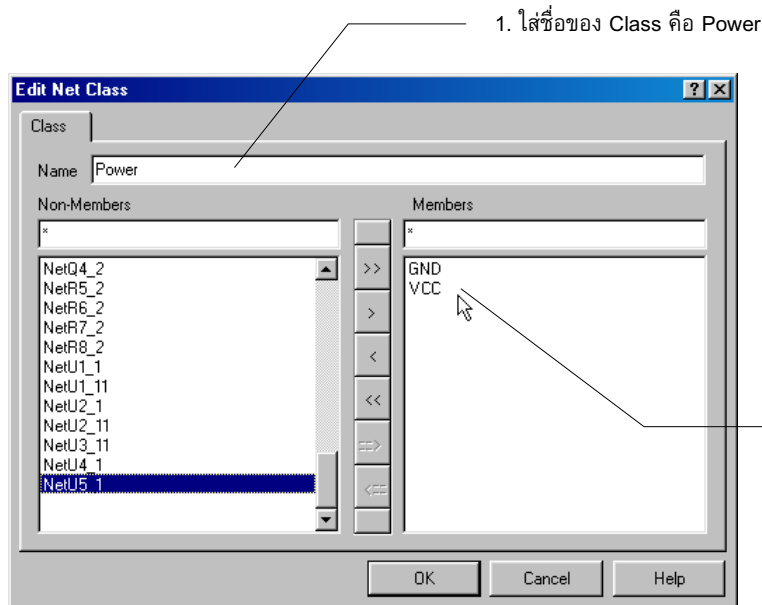
รูปที่ 10-5 กำหนดระดับ (Class) ของวัตถุ

กำหนดชื่อในช่อง **Name** เป็น **Power** จากนั้นเลือกชื่อ **Net** จากช่อง **Non-member** ให้เข้ามาในช่อง **Member** ให้ประกอบด้วย **VCC** และ **GND**

จะกำหนดขนาดเส้นและระยะห่างสำหรับ **VCC** และ **GND** ให้ต่างจากเน็ตอื่น ให้ปิดไดอะล็อกบ็อกซ์ของ **Design Rules** โดยคลิกที่ปุ่ม **Close** จากนั้นเรียกคำสั่ง **Design>>Class [D,R]** กำหนด Class ของเน็ตคลิกที่ปุ่ม **Add**

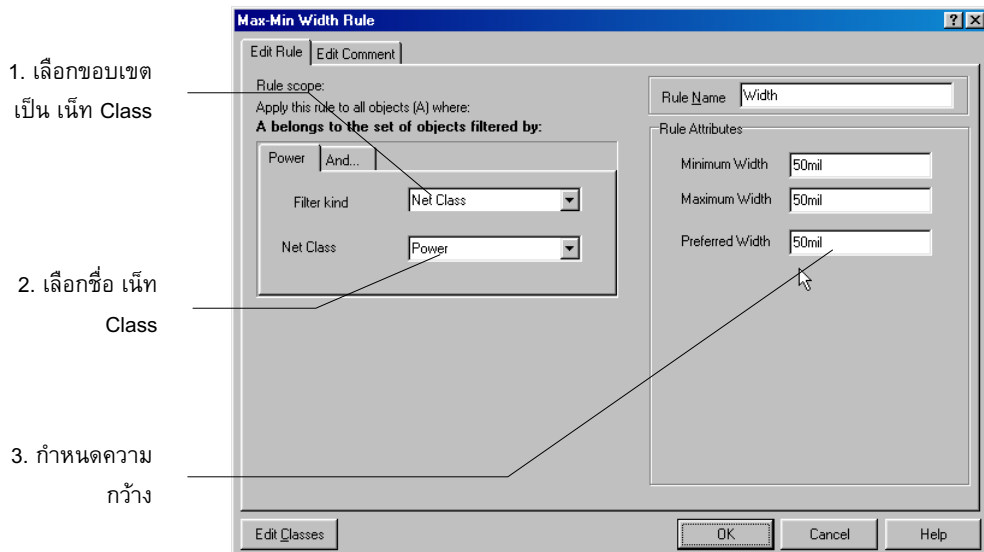
เนื่องจากเน็ต **VCC** และ **GND** มีความต้องการเรื่องระยะห่างเหมือนกัน ดังนั้นการกำหนด **Class** ซึ่งเหมือนเป็นตัวแทนเน็ตทั้งสอง และนำไปกำหนด **Clearance** ในกฎการออกแบบได้ง่ายกว่า

ในไดอะล็อกบ็อกซ์ **Edit Net Class**



รูปที่ 10-6 ขั้นตอนการกำหนดสมาชิกใน Class Power

เสร็จแล้วคลิก **OK** เรียกคำสั่ง **Design>>Rules** ในแถบ **Routing** เลือก **Width Constraint** จากนั้นเลือกตามรูปที่ 10-7 เมื่อกำหนดทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว คลิกที่ปุ่ม **OK**



รูปที่ 10—7 กำหนดความกว้างสำหรับ Power

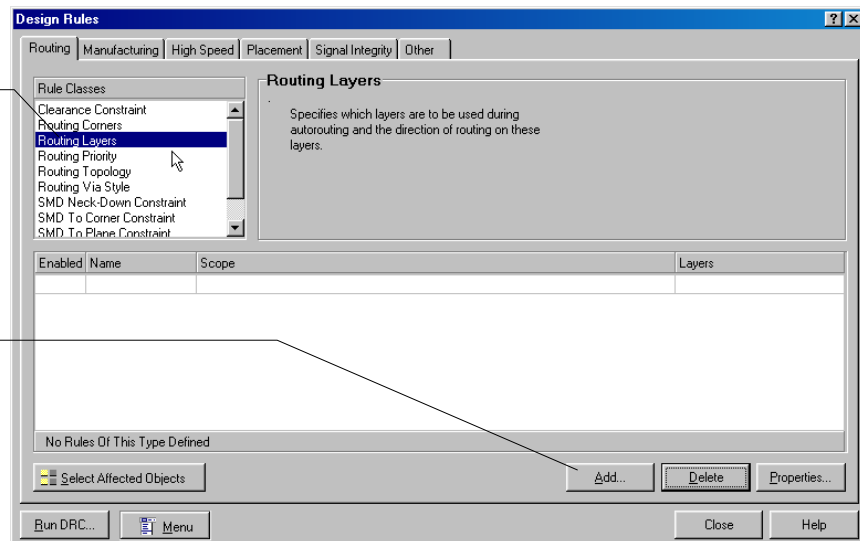
จะเห็นว่าได้กำหนด Width Constraint (ข้อจำกัดความกว้างขนาดเส้น) สองครั้งคือครั้งแรกกำหนดขอบเขต (Rule Scope) เป็น Whole Board ซึ่งมีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด ดังนั้นจะครอบคลุมเน็ตทั้งหมดให้มีความกว้างเป็น 12mils ครั้งที่สองกำหนดสำหรับเน็ต Class **Power** ซึ่งประกอบด้วย VCC และ GND มีขนาดความกว้าง 50mils เนื่องจาก Whole Board มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าเน็ต Class **Power** (ตามลำดับของกฎการออกแบบ) ดังนั้นครั้งที่สองจะทับเฉพาะของ Power แต่จะไม่เปลี่ยนข้อกำหนดเน็ตอื่นๆ

ต่อไปจะกำหนดทิศทางเดินเส้น เนื่องจากความต้องการกำหนดว่าจะต้องเดินเส้นในเลเยอร์ TOP ในทิศทางแนวนอน และเดินเส้นในด้าน BOTTOM ในแนวตั้ง ดังนั้นจาก **Design>>Rules** เลือกจากช่อง *Routing Layer* เลือกปุ่ม **Add** เพื่อเพิ่มกฎ

ในไดอะล็อกบ็อกซ์ *Routing Design Rule* เนื่องจากไม่กำหนดทางเลือกเฉพาะเน็ตใดๆเป็นพิเศษ ดังนั้นขอบเขตของกฎจึงเลือกบังคับที่ระดับ Whole Board ตามรูปที่ 10—9 สำหรับในด้าน Attribute เลือกทิศทางของแต่ละเลเยอร์จากดรอปดาวน์

1. เลือก
Routing
Layer

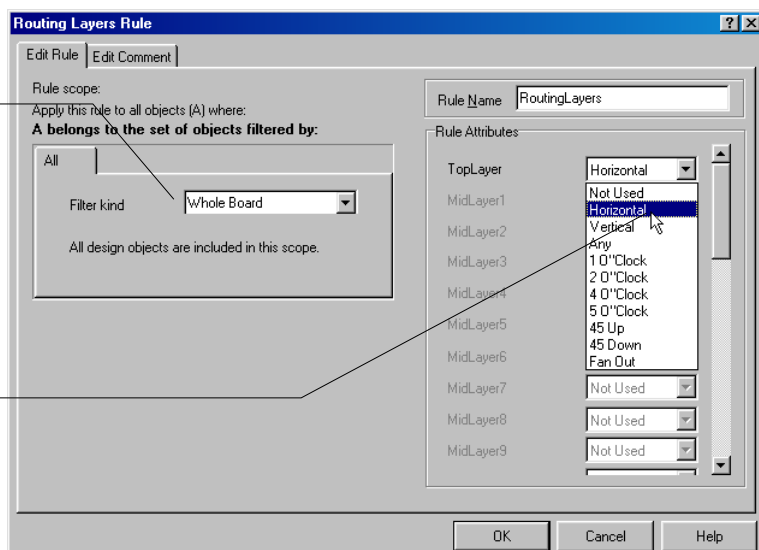
2. คลิกที่
Add



รูปที่ 10—8 กำหนด Routing Layer

3. ในช่องขอบเขตเลือก
Whole Board

4. เลือกทิศทางที่
ต้องการ



รูปที่ 10—9 กำหนดทิศทางของเลเยอร์

เมื่อกำหนดทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว คลิกที่ **OK**

เดินเส้นด้วยมือ

การเดินเส้นทองแดงหรือ Routing เป็นส่วนที่สำคัญของการออกแบบ PCB เพราะเวลาส่วนใหญ่ของทั้งชิ้นงานกว่า 40% จะหมดไปกับการเดินเส้น, การจัดแต่งเส้น โปรมเทลมีเครื่องมือสำหรับเดินเส้นที่มีประ

สิทธิภาพมาก และยังสามารถเป็นอย่างดีกับการจัดการเน็ต ซึ่งเมื่อเดินเส้นระหว่างจุดถึงจุดสำเร็จไปแล้ว คอนเนคชั่นซึ่งแสดงให้เห็นจะหายไปด้วย แต่ไม่ได้หมายความว่าเน็ตจะหายไป เพียงแต่ถูกแทนด้วยแพ็คเกจซึ่งเป็นลายวงจรที่ต่อเสร็จสมบูรณ์จริงๆเกิดขึ้นมาแทน ถ้าหากลายวงจรเส้นที่เดินไปไม่ถูกใจสามารถยกเลิกและคอนเนคชั่นจะกลับมาแสดงข้อมูลเน็ตได้เช่นดังเดิม

สำหรับบอร์ดทดลองที่จะสร้างต่อได้กำหนดขนาดเส้นและระยะห่างในหัวข้อที่แล้ว ส่วนทิศทางการเดินเส้นจะกำหนดให้ด้าน Top เดินในแนวนอน ส่วนด้าน Bottom เดินในแนวตั้ง

ตรวจสอบกำหนดค่า

- ก่อนจะเริ่มต้น ตรวจสอบค่าต่างๆดังนี้ ใช้คำสั่ง **Tools>>Preference>>Option** ดูในบริเวณ **Editing Option** ได้กำหนดให้ **Online DRC**(ตรวจสอบความผิดพลาดตลอดเวลา) และในบริเวณ **Interactive Routing** ได้กำหนด **Automatically Remove Loop**(ยกเลิกเส้นซ้ำเป็นวงรอบ)ไว้หรือไม่ ตรวจสอบและกำหนดให้เลือกไว้ สำหรับ **Interactive Routing Mode** เลือกเป็น **Avoid Obstacle**(หลบเลี่ยงสิ่งกีดขวาง)
- ระหว่างเดินเส้น หากได้กำหนดให้โปรเทลแสดงชื่อเน็ตและหมายเลขขาของอุปกรณ์จะช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น ตรวจสอบดูโดยเข้าไปที่ **Tools>>Preference>>Display** ดูว่าบริเวณ **Show** ช่อง **Pad Net**(แสดงชื่อเน็ตที่ขาอุปกรณ์) และ **Pad number**(แสดงหมายเลขขาที่ขาอุปกรณ์) เช็คว่าถูกหรือไม่ เมื่อแก้ไขเรียบร้อยแล้วคลิกที่ OK

เดินเส้นระหว่างจุด

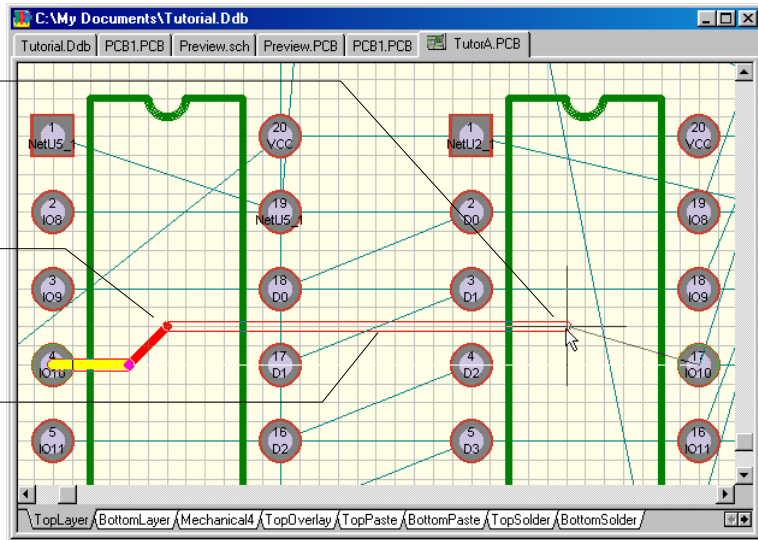
เริ่มต้นจะทดลองเดินเส้นระหว่าง U5 และ U2 เนื่องจากมีลักษณะเป็นบัสทดลองได้ง่าย เลื่อนจอภาพให้ทั้ง **U5, U2** อยู่กลางๆจอภาพ สำหรับชื่ออุปกรณ์และชื่ออ้างอิง(Part Type, Reference Designator) ระหว่างเดินเส้นอาจจะขวางการมองทิศทางการเดิน สามารถปิดอักษรเหล่านี้ได้ชั่วคราว เรียกคำสั่ง **Tools>>Preference>>Show/Hide** ในช่อง **String** กำหนดให้เป็น **Hidden** จากนั้นคลิกที่ OK

1. จะใช้กริดขนาด 25mils ระหว่างเดินเส้น กดคีย์ "G" จะเห็นกริดปรากฏให้เลือก เลื่อนไปเลือกที่ 25mils สังเกตดูว่าขณะนี้ได้อยู่บนเลย์เออร์ Top หรือไม่ หากไม่ใช่กดคีย์ "*" เพื่อเปลี่ยนเลย์เออร์ จากนั้นเรียกคำสั่งสำหรับเดินเส้น **Place>>Interactive Routing** เลื่อนไปคลิกที่ **U5.4** (U5 ขาหมายเลข 4) อาจจะคลิกบนคอนเนคชั่นซึ่งออกจาก U5.4 ก็ได้ ให้ผลเหมือนกัน
2. เลื่อนเคอร์เซอร์จะเห็นเส้นวิ่งออกมาจาก **U5.4** เลื่อนไปแล้วทางขวา คลิกเพื่อหักมุม 45 องศา ลากไปทางขวาเพื่อลดระหว่างขา U5 และ U2 สังเกตดูจะเห็นว่าคอนเนคชั่นจะวิ่งต่อจากปลายแพ็คเกจแทนที่จะวิ่งออกจากขา U5.4

ตำแหน่งเคอร์เซอร์ เมื่อ
เลื่อนไป เส้นจะเดินตาม

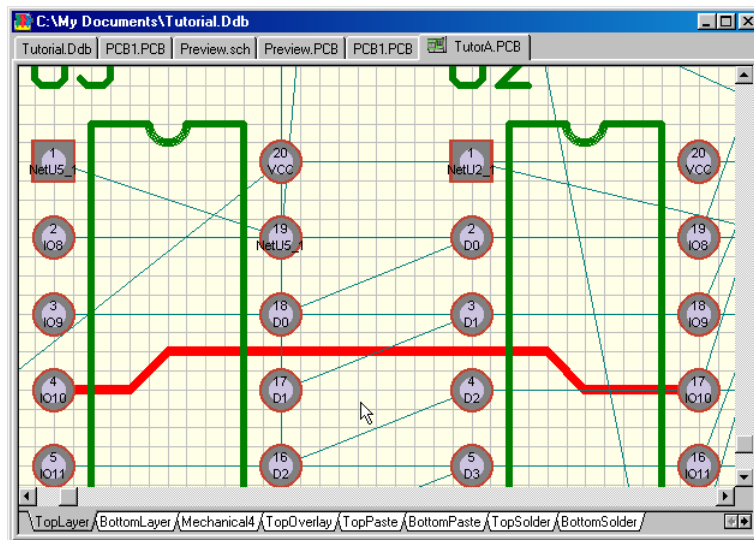
คลิกเพื่อหักมุมเส้น

โปรเทล แสดงการ
มองเส้นล่วงหน้า
(Look ahead)



รูปที่ 10—10 การเดินเส้นด้วยมือ

3. หากต้องการหยุดการเดินเส้นไว้เท่านั้น ให้กด ESC หรือคลิกเมาส์ปุ่มขวา ทดลองเดินต่อไปเรื่อยๆ จนจบที่ขา U2.17
4. หากต้องการยกเลิกเส้นที่เดินไปแล้ว ใช้คำสั่ง **Tools>>Unroute>>Connection** คลิกที่เส้นทองแดง ทั้งช่วงระหว่างขาถึงขาจะถูกยกเลิก กลายเป็นคอนเนคชั่นเหมือนเดิม



รูปที่ 10—11 เมื่อเดินเส้นจาก U5.4 จนจบที่ U2.17 เสร็จสิ้นแล้ว

การมองเส้นล่วงหน้า (Look Ahead)

จากตัวอย่างการเดินเส้นระหว่าง U5.4 ไปยัง U2.17 นั้น เราได้ใช้ความสามารถ Interactive Routing ที่เรียกว่า Look Ahead ซึ่งทำงานดังนี้

1. เส้น"โปร่ง" ซึ่งเลื่อนติดกับเมาส์ระหว่างเลื่อนเส้นคือเส้นล่วงหน้า เส้นนี้จะเลื่อนตามเมาส์ไปตลอด แต่ไม่ใช่เส้นที่จะวางลง เส้นที่จะวางจริงๆคือเส้นทึบ
2. เส้นโปร่งนี้จะช่วยให้เราคาดคะเนได้ว่าจะวางเส้นทึบในตำแหน่งใด หรือหักมุมที่ใด เพราะเมื่อวางเส้นทึบลงไปแล้ว เส้นโปร่งจะกลายเป็นเส้นทึบ หรือเป็นเส้นในลำดับต่อไปแทน ทดลองดูในกรณีเดินเส้นออกมาจาก U5.4 แล้วหักมุม เส้นที่ลอดระหว่างขา U5.17 และ U5.18 นั้นเดินได้ง่ายขึ้นเมื่อมี Look Ahead มาช่วย
3. การมองเส้นล่วงหน้าจะช่วยจัดระยะระหว่างวัตถุกับเส้นที่เดินให้ แม้บางครั้งจะทำให้เส้นทองแดงวางนอกกริดก็ตาม กรณีนี้มีประโยชน์มากต่อการเดินเส้นกับ IC ชนิด SMD เพราะตำแหน่งขามักไม่ตรงกริด

รูปแบบการเดินเส้น

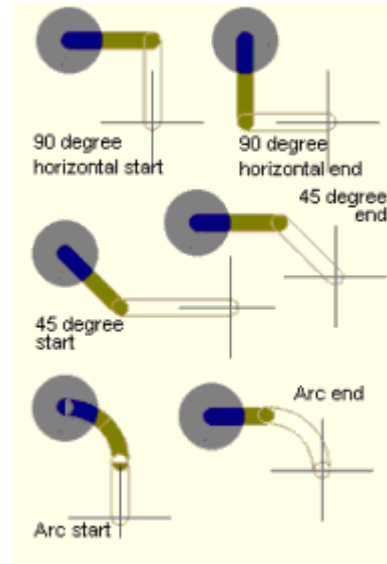
ระหว่างเดินเส้น โปรเทลจะมองเส้นทองแดงของเน็ทอื่นๆ แพ็ดหรือเวียของเน็ทอื่นๆ เป็นวัตถุกีดขวาง (Obstacle) เพราะตามหลักของวงจรไฟฟ้า จะต้องไม่ยอมให้เกิดลัดวงจรระหว่างเน็ทต่างกัน อย่างไรก็ตามโปรเทลมีวิธีการจัดการกับสิ่งกีดขวางเหล่านี้ได้ดังนี้

Ignore Obstacle	เลือกจาก Tools>>Preference>>Option ในบริเวณ Interactive Routing หมายถึงโปรเทลไม่ต้องสนใจสิ่งกีดขวางต่างๆ จะเดินเส้นไปใกล้หรือทับก็ไม่เป็นไร แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าวงจรใช้งานได้ เพียงแต่ทางเลือกนี้ไม่ต้องการให้ซอฟต์แวร์ตรวจสอบความผิดพลาดระหว่างทำงาน
Avoid Obstacle	ในภาวะนี้โปรเทลจะตรวจสอบระยะห่าง ระหว่างสิ่งกีดขวางต่างๆ ตามที่กำหนดใน Design>>Rules และจะไม่ยอมให้วางเส้น ถึงแม้ว่าจะพยายามเลื่อนเคอร์เซอร์ไปก็ตาม การใช้งานในภาวะนี้เหมาะสมอย่างมากกับการเดินเส้นด้วยมือ เพราะไม่ต้องกังวลกับตำแหน่งแต่อย่างใด
Push Obstacle	สั่งให้ซอฟต์แวร์ดันหรือ เลื่อนสิ่งกีดขวางออกไปถ้าทำได้ สำหรับแพ็ด,แทร็คที่ได้ล๊อคจะไม่สามารถเลื่อนได้ บางกรณีไม่สามารถเลื่อนแทร็คเพราะแทร็คอื่นๆที่อยู่ติดกันขวางอยู่ ในภาวะเช่นนี้โปรเทลจะเปลี่ยนกลับไปเป็น Ignore Obstacle แทน การใช้งานเหมาะสมกับการเดินเส้นใหม่ เพื่อจัดเส้นหรือแต่งเส้นให้สวยงาม

รูปแบบการวางเส้น

ระหว่างใช้คำสั่ง **Place>>Interactive Routing** และได้เดินเส้นออกมาจากแพ็ดแล้วสามารถเลือกเปลี่ยนรูปแบบการเดินเส้นดังรูปด้านข้างกดคีย์ **Shift** และ **Space** พร้อมกัน โพรเทลจะเปลี่ยนรูปแบบไปตามลำดับ สิ่งเกิดดูที่แถบสถานะ (Status Bar) จะปรากฏชื่อภาวะเช่น Any Angle, 90 Degree, 45 Degree, Arc สำหรับคีย์ **Space** จะใช้สลับระหว่าง Start หรือ End เช่น ถ้าเป็นเส้นโค้งที่จุดเริ่มต้น(Arc Start) อยู่เมื่อกด **Space** จะเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งที่จุดจบเส้น(Arc End) เป็นต้น

ทดลองเดินเส้นระหว่าง U5.5 ไปที่ U2.16 โดยเปลี่ยนรูปแบบไปมา ทดลองคำสั่งจนแน่ใจว่าเข้าใจ ไม่ต้องกังวลกับความไม่สวยงามหรือจะลบเส้นไม่ได้ สามารถยกเลิกแท็กริคกลับมาเป็นคอนเนคชั่นได้เสมอ

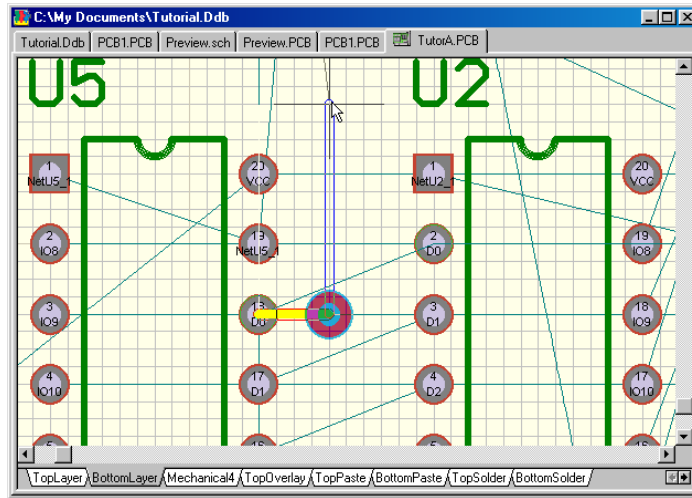


การเดินเส้นและเปลี่ยนเลเยอร์

ในการออกแบบบอร์ดที่มีความหนาแน่นมาก เรามักจะต้องใช้จำนวนหน้าทองแดงสำหรับเดินเส้นอย่างน้อย 2 หน้า เพื่อให้เพียงพอับจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างกัน โดยทั่วไปเราควรกำหนดทิศทางการเดินเส้นในแต่ละหน้าให้ตั้งฉากกัน เช่นด้าน Top เดินแนวอนดงนั้นด้าน Bottom ควรจะเดินแนวตั้ง เหตุผลคือเมื่อเดินเส้นด้านหนึ่งและติดขัด ไม่สามารถเดินต่อได้ ให้เปลี่ยนมาอีกด้านหนึ่ง ซึ่งควรจะเดินได้เพราะเดินทิศต่างกัน เช่นในตัวอย่างถัดไปจะเดินเส้นจาก **U5.18** ไปยัง **U4.18** ซึ่งเป็น IC ที่วางอยู่เหนือขึ้นไป ถ้าหากเดินด้วยเส้นในเลเยอร์ Top ทั้งเส้นก็สามารถทำได้เพราะไม่มีเส้นใดมาขวาง แต่เมื่อเดินไปแล้วจะทำให้ **U5.3** ไปยัง **U2.18** เดินไม่ได้ เพราะติดเส้นเลเยอร์ Top ของ U5.18 ถึง U4.18

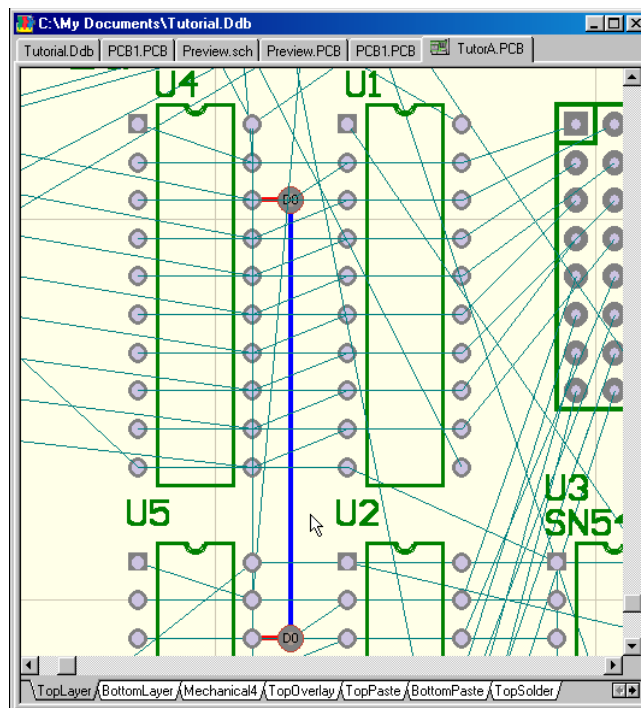
ในการทำงานกลับกันถ้าหากเดินเส้นจาก U5.18 ไปยัง U4.18 ในด้านล่าง (เพราะวิ่งขึ้นด้านบนบนตรงตามทิศทางของด้านล่าง) ดังนั้นเส้นนี้จะไม่กีดขวางเส้นระหว่าง U5.3 ไปยัง U2.18 และเส้นอื่นๆอีกมากในแนวนอน

ต่อไปจะทดลองเดินเส้น D0 จาก **U5.18** ไปที่ **U4.18** จะเห็นว่าเป็นการเดินเส้นในแนวตั้ง



รูปที่ 10—12 ระหว่างเดินเส้นจาก U5.18 ไปที่ U4.18

1. ต้องแน่ใจว่าอยู่ในเลเยอร์ Top ใช้คำสั่ง **Place>> Interactive Routing [P,T]** คลิกที่ขา **U5.18** เนื่องจาก U5.18 เป็นขาที่มีหลายคอนเนคชั่นทำให้โปรแกรมถามว่าต้องการเลือกคอนเนคชั่นใด ให้เลือก **D0**



รูปที่ 10—13 เมื่อเดินระหว่าง U5.18 และ U4.18 เสร็จแล้ว

คู่มือ Protel99

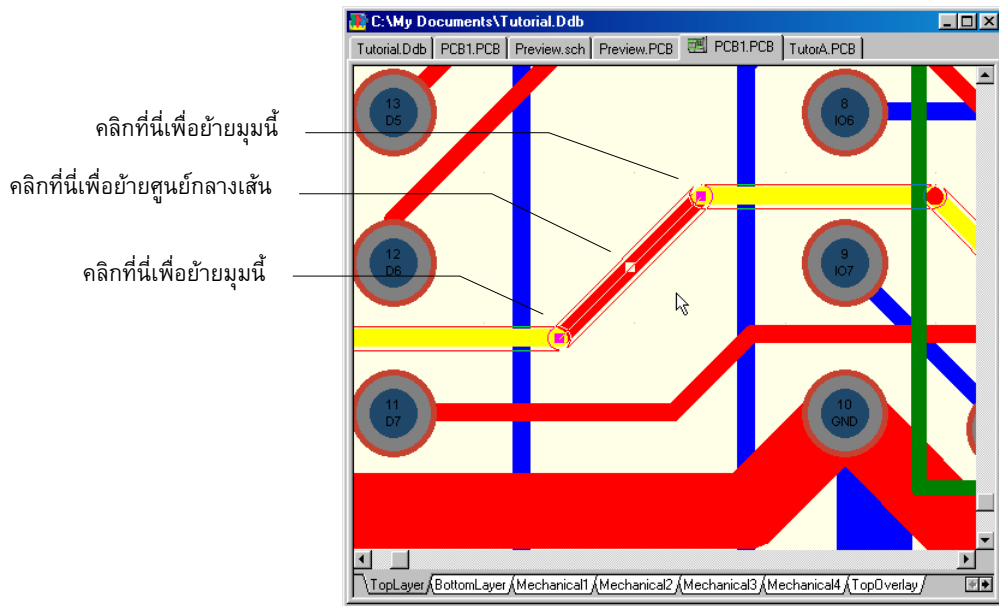
2. เดินเส้นออกมาทางด้านซ้ายเล็กน้อย ต้องอยู่ในเลเยอร์ Top (สีแดง) หากไม่ใช่ให้ยกเลิกแล้วทำใหม่คลิกเพื่อห้กมุ่มต่อไปจะเดินขึ้นตรง กดคีย์ “*” จะเห็นเวียปรากฏขึ้นที่จุดห้กมุ่ม ลากเส้นด้าน Bottom ขึ้นไปเรื่อยๆ จนใกล้ๆ **U4.18** ใส่่มุมอีกครั้งและเปลี่ยนเลเยอร์ เดินเข้าหา **U4.18** เป็นอันจบ
3. ทดลองเดินเส้นที่เหลือต่อไปเรื่อยๆ หากเดินเส้นผิดและต้องการยกเลิกเฉพาะระหว่างขา ใช้คำสั่ง **Tools>>Unroute>>Connection** ใช้เมาส์คลิกเส้นที่ต้องการ โปรเทลจะเปลี่ยนกลับไปเป็นคอนเนคชั่นทันที

การแก้ไขแทร็ค

เมื่อเดินเส้นทองแดงเสร็จแล้ว บางครั้งต้องการแก้ไขรูปแบบให้สวยงาม หรือต้องการเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อสร้างช่องว่างให้แกเส้นใหม่เป็นต้น เรามีทางทำได้หลักๆสองวิธีคือ ย้ายตำแหน่งเส้นที่ละช่วง(Segment) หรือเดินเส้นใหม่แทนเส้นเก่า

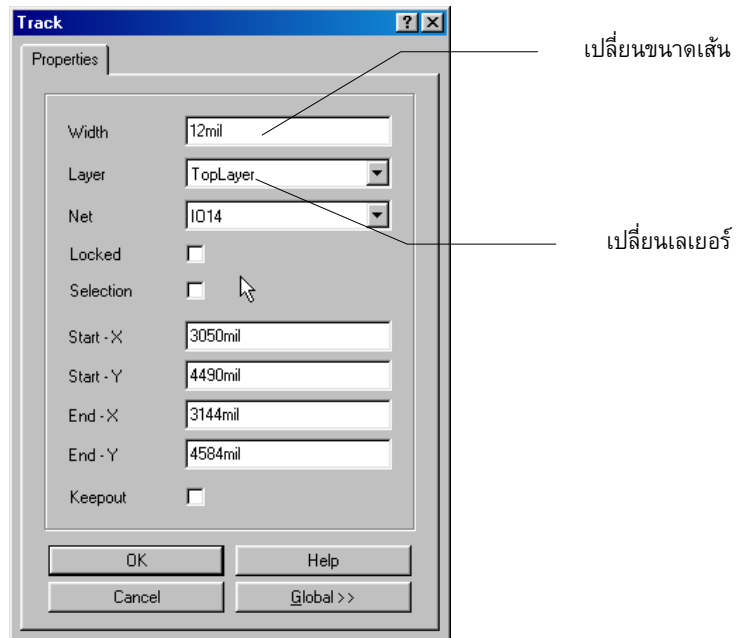
การย้ายตำแหน่งเส้น

1. เมื่อต้องการแก้ไขเส้นที่ได้เดินไปแล้ว เริ่มต้นให้คลิกในช่วงระหว่างจุดห้กมุ่ม(Segment)ที่ต้องการหนึ่งครั้ง จะเห็นสัญลักษณ์แฮนเดิลอร์(สี่เหลี่ยมเล็กอยู่ที่หัว,ท้ายและกลางเส้น) การคลิกที่ตำแหน่งต่างๆจะมีความหมายดังแสดงในรูปที่ 10—14 เมื่อคลิกแล้วปล่อย ลากเมาส์เพื่อย้ายเส้นไปที่ตำแหน่งใหม่ คลิกอีกครั้งเพื่อวางลงไป
2. เมื่อชำนาญแล้วสามารถใช้วิธีคคีย์ **CTRL** และคลิกที่มุมหรือศูนย์กลางเส้นเพื่อย้ายตำแหน่งได้ทันที ไม่ต้องคลิกเพื่อแสดงแฮนเดิลอร์ก่อน
3. ระหว่างแก้ไข หากผิดพลาดไปโดยไม่ตั้งใจ สามารถยกเลิกการแก้ไขโดยใช้คำสั่ง **Edit>>Undo** ภายในโปรเทลกำหนด **Undo** ได้หลายระดับ จำนวนระดับของ **Undo** กำหนดใน **Tools>>Preference>>Option** ในช่อง **Undo/Redo**



รูปที่ 10—14 ตำแหน่งต่างๆบนเส้นที่สามารถแก้ไขได้

4. หากต้องการเปลี่ยนขนาดหรือเลเยอร์ของช่วงใด ให้ดับเบิลคลิกที่ช่วงนั้น จะเห็นคุณสมบัติปรากฏขึ้น เข้าไปแก้ไขช่อง **Width** แล้วคลิกที่ OK



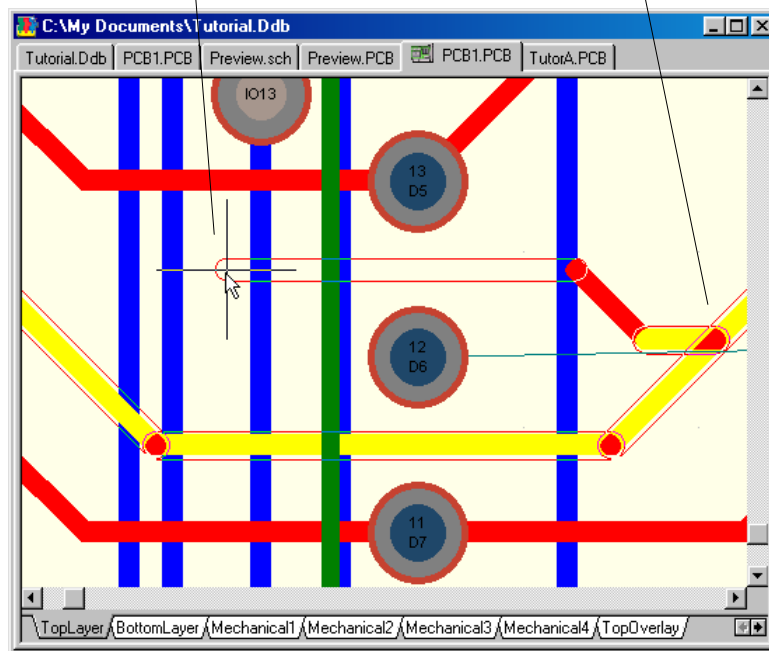
แก้ไขเส้นโดยเดินเส้นใหม่

บางครั้งการแก้ไขเส้นโดย ย้ายมุมและเส้นจะยุ่งยากเกินไป สามารถใช้วิธีเดินเส้นใหม่ โดยไม่ต้องสนใจเส้นที่วางอยู่ก่อนหน้า เมื่อเดินเส้นใหม่จนครบวงจร เส้นเก่าจะถูกยกออกอัตโนมัติ

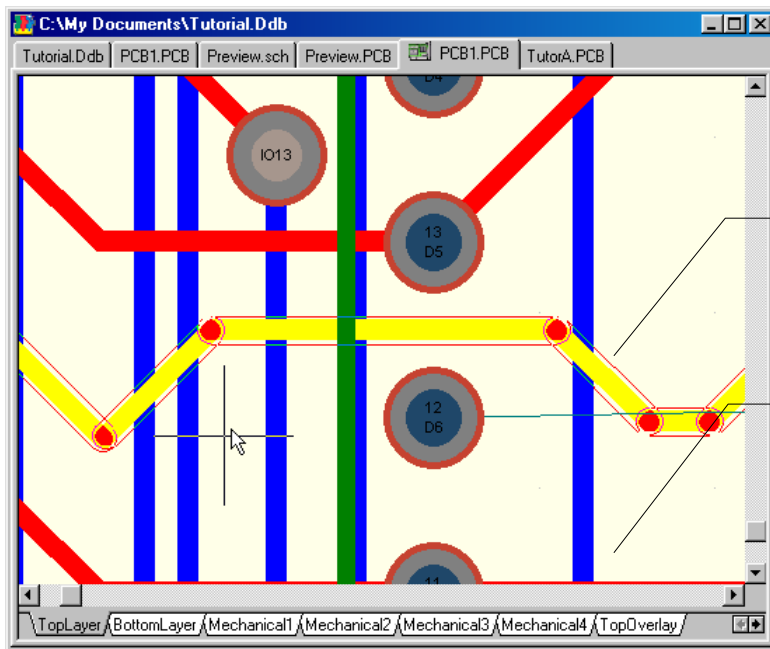
1. เข้าไปใน **Tools>>Preference>>Option** ดูในช่อง **Interactive Routing** ดูว่า **Automatically Remove Loop** มีเช็คถูกหรือไม่ หากไม่ คลิกเพื่อให้มีเสียก่อน
2. ใช้คำสั่ง **Place>>Interactive Routing** คลิกที่เส้นที่ต้องการเดินใหม่ในตำแหน่งที่ต้องการเริ่มต้นลากเส้นไปเหมือนปกติ จุดเริ่มต้นสามารถเริ่มที่ใด ๆ บนเส้นทองแดงเดิมก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเริ่มจากขาอุปกรณ์ การจบเส้นสามารถจบบนเส้นทองแดงก็ได้เช่นกัน ทั้งนี้จะต้องเป็นเน็ตเดียวกันด้วย หากต่างเน็ตจะเกิด DRC Error ขึ้น

มองเส้นล่วงหน้า
(Look Ahead)

จุดเริ่มต้น



รูปที่ 10—15 เริ่มเดินเส้นแก้ไข จะเห็นว่าโปรเทลจะเน้นสีของเส้นที่ถูกแก้ไขด้วย



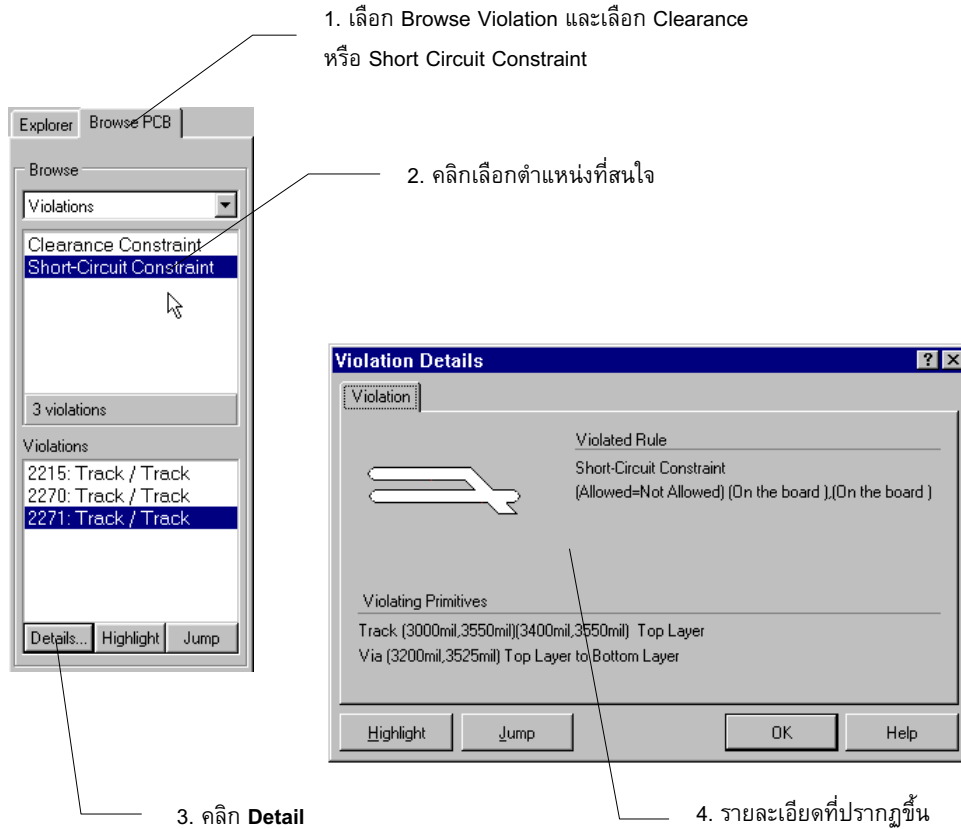
รูปที่ 10—16 เมื่อเดินไปจบที่ช่วงต่อไป เส้นด้านล่างจะถูกยกเลิกอัตโนมัติ

การค้นหาคำผิดพลาด

ระหว่างเดินเส้นและแก้ไขเส้น เป็นไปได้ที่จะเดินเส้นเข้าไปใกล้ หรือทับเส้นอื่นซึ่งทำให้เกิดกฎการออกแบบ ซอฟต์แวร์สามารถเตือนให้ทราบ โดยแสดงเป็นสีเน้น(ปกติสีเขียว) ถ้าหากบอร์ดที่ออกแบบไม่แสดง ควรตรวจสอบดังนี้

1. **Tools>>Preference** แถบ **Option** ในบริเวณ **Editing Option** ช่อง **Online DRC** ต้องเลือกไว้
2. **Design>>Option** แถบ **Layer** ในบริเวณ **System** ช่อง **DRC Error** ต้องเลือกไว้
3. **Tools>>Design Rule Check** แถบ **Online DRC** ในบริเวณ **Routing Rules** ต้องเลือกกฎที่ต้องการตรวจสอบไว้เช่น **Clearance Constraint** และ **Short Circuit Constraint** เป็นต้น

เมื่อมีความผิดพลาดเกิดขึ้น วิธีค้นหาให้คลิกที่แถบ Browse PCB บน Design Explorer ในช่อง Browse เลือก Violation จะเห็น Clearance Constraint และ Short Circuit Constraint ปรากฏขึ้น คลิกเพื่อเลือก Constraint (ข้อบังคับ)ตัวใดตัวหนึ่ง ดูในช่อง **Violation** จะเห็นรายชื่อ คลิกที่ชื่อแล้วคลิกที่ **Detail** จะเห็นรายละเอียดปรากฏขึ้น



รูปที่ 10—17 การค้นหาและรายละเอียดตำแหน่งความผิดพลาด

เดินเส้นที่เหลือ

หลังจากคุ้นเคยกับคำสั่งต่างๆดีแล้ว ควรจะทดลองกับบอร์ดตัวอย่างให้คล่อง ทั้งนี้เพราะงานออกแบบ PCB ส่วนใหญ่จะใช้เวลาวางตำแหน่งอุปกรณ์และเดินเส้นกว่า 70% ของเวลาทั้งหมด ดังนั้นเป็นไปได้เมื่อวางอุปกรณ์ครบ ควรทดลองเดินเส้น หากปรากฏว่าเดินไม่ได้ดี อาจจะต้องจัดเรียงตำแหน่งอุปกรณ์ใหม่ ซึ่งในการออกแบบบอร์ดสำหรับใช้งานจริงๆ มักจะซ้ำอยู่หลายครั้ง

สำหรับบอร์ดทดลองควรใช้เวลาเดินเส้นไม่เกิน 30 นาที ทั้งนี้ในตอนเริ่มแรก จะติดขัดเพราะไม่สามารถจำคำสั่งได้ เมื่อเริ่มได้สักระยะจะคุ้นเคย ความเร็วจะเพิ่มขึ้น เมื่อเดินเส้นเสร็จแล้ว และต้องการยกเลิก เพื่อทดลองใหม่ ใช้คำสั่ง **Tools>>Unroute>>All**

เดินเส้นอัตโนมัติ (Auto Routing)

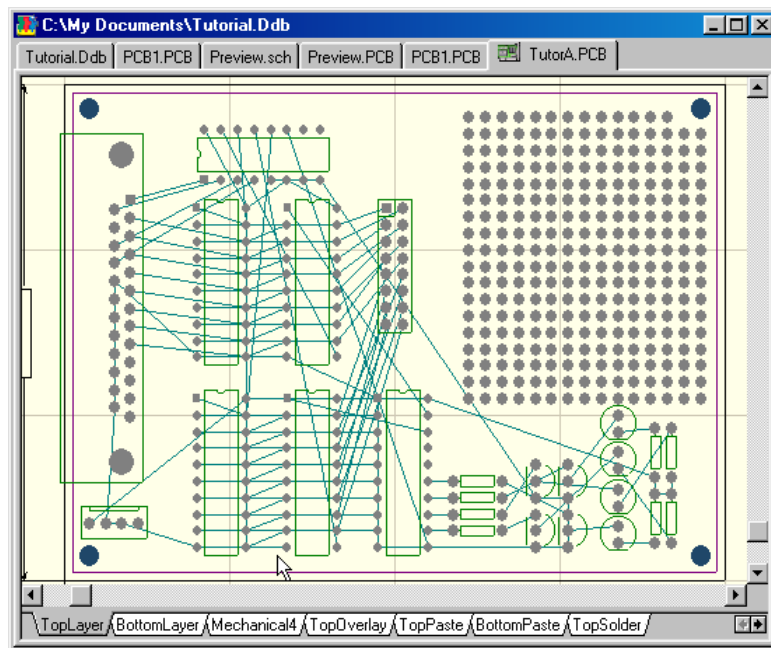
ในหัวข้อที่ผ่านมาเราได้เรียนรู้การเดินเส้นด้วยตนเอง ซึ่งสามารถปรับแต่ง, บังคับทิศทาง และกำหนดตำแหน่งการใส่เวียได้ตามที่ต้องการ สำหรับการเดินเส้นอัตโนมัตินี้จะใช้ความสามารถซอฟต์แวร์

คำนวณหาช่องว่างเพื่อวางเส้นโดยที่ช่องว่างนั้นไม่ทำให้เกิดปัญหาระยะห่างใกล้เกินไปกว่าที่กฎการออกแบบยอมได้ นับว่าเป็นความสะดวกเป็นอย่างมาก แต่ต้องทำความเข้าใจก่อนว่าซอฟต์แวร์จะเลือกตำแหน่งการวางเส้นให้เองโดยไม่สามารถควบคุมได้ เรากำหนดได้เพียงทิศทางการเดินเส้น, การใช้ขนาดเส้น, การกำหนดขนาดเวีย และการหักมุม 45 หรือ 90 ตามที่กำหนดในกฎการออกแบบเท่านั้น

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนเริ่มใช้ Auto Router

ก่อนเริ่มต้นใช้งาน Auto Router จะต้องตรวจสอบบอร์ด ให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. จะต้องกำหนดบริเวณเปิดอยู่ในเลเยอร์ Keep Out ทั้งนี้เพราะ Auto Router จะใช้ Keep Out เป็นขอบเขต หรือเส้นแบ่งเขต ให้รู้ว่าเฉพาะในบริเวณเปิดนี้เท่านั้นจึงจะใช้สำหรับวางแทร็คได้
2. ถ้าหากบอร์ดนั้นได้สร้างวัตถุใดๆก็ตาม (Arc, Circle, String และอื่นๆ)ไว้ในเลเยอร์ Keep Out จะทำให้ Auto Router คิดว่าสิ่งเหล่านั้นเป็นสิ่งกีดขวาง และจะเดินเส้นหลบไปทางอื่นแทน จะเห็นว่าเป็นการลดโอกาสและลดพื้นที่สำหรับเดินเส้นให้น้อยลง
3. ถ้าหากสร้างวัตถุใดๆไว้ใน Electrical Layer(เลเยอร์ที่มีผลทางไฟฟ้า หรือเลเยอร์ที่สร้างเป็นชั้นทองแดงเช่น Top, Bottom, Inner เป็นต้น) และไม่ได้กำหนดเน็ทให้กับวัตถุนั้น จะทำให้ Auto Router มองเป็นสิ่งกีดขวาง ลดโอกาสเดินเส้นให้สำเร็จด้วยเช่นกัน
4. สิ่งที่ไม่ส่งผลต่อ Auto Router คือในเลเยอร์ Mechanical และ Overlay ต่างๆ



รูปที่ 10—18 บอร์ดทดลองซึ่งได้วางอุปกรณ์ลงในตำแหน่งแล้ว

บอร์ดสำหรับทดลองเดินเส้นอัตโนมัติ เป็นบอร์ดทดลองซึ่งสร้างมาตั้งแต่หัวข้อการจัดเรียงอุปกรณ์ (Placement) อย่างไรก็ตาม เปรียบเทียบรูปการวางตำแหน่งอุปกรณ์ที่ได้ กับในภาคผนวก หรือเทียบกับรูปที่ 10—18 หากมีตำแหน่งใดไม่เหมาะสมจัดการย้ายตำแหน่งให้ถูกต้องเสียก่อน

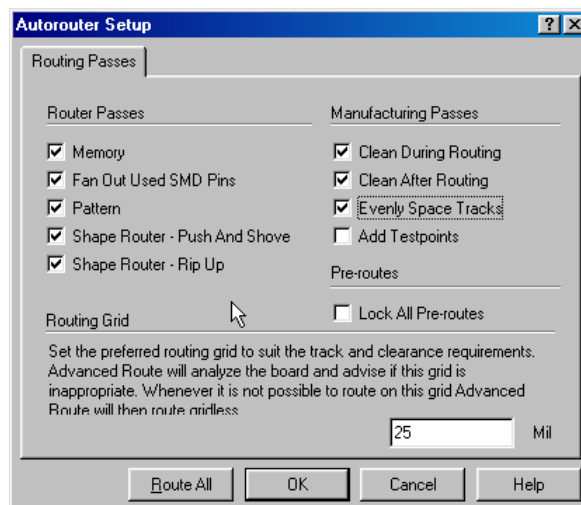
ก่อนจะเริ่มใช้งาน Auto Router ตรวจสอบกฎการออกแบบโดยเข้าไปใน **Design>>Rule** ดูในช่อง Routing และตรวจสอบสิ่งต่างๆเหล่านี้

1. ขนาดเส้นทั่วไปคือ 12mils ขนาดเส้น Power (VCC, GND) มีขนาด 50mils
2. ระยะห่างอย่างน้อย 10mils
3. ขนาดเวีย เส้นผ่าศูนย์กลาง 50mils รูเจาะขนาด 28mils

การใช้ Auto Router

จัดเตรียม (Setup Auto Router)

โดยปกติไม่จำเป็นต้องกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ ทั้งนี้เพราะการทำงานของ Auto Router จะวิเคราะห์ความซับซ้อนของบอร์ด และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆให้อัตโนมัติ อย่างไรก็ตามมาทำความเข้าใจทางเลือกรายละเอียดของ Auto Router เข้าไปในเมนู **Auto Route>>Setup**



รูปที่ 10—19 ภายใน Auto Router Setup

ในช่อง *Routing Passes* มีความหมายต่างๆดังนี้

Memory

การเดินเส้นสำหรับอุปกรณ์ชนิด memory ซึ่งมีเส้นเดินซ้ำกัน เพราะใช้เนื้อที่ร่วมกันเป็นจำนวนมาก

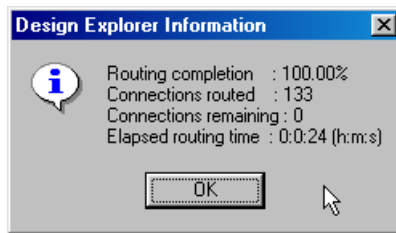
Fan Out Used SMD Pins	การเดินเส้นออกมาเล็กน้อยจากแพ็ค SMD และใส่เวียเพื่อเป็นจุดต่อของเส้นในช่วงต่อไป เหมาะกับบอร์ดที่มีความหนาแน่นมาก
Pattern	การเดินเส้นลักษณะเรียงเป็นแถวหรือแนว ไม่ใช่ทุกเส้นขนานกัน
Push and Shove	การเดินเส้นในลักษณะเบียดเส้นก่อนหน้า เพื่อสร้างช่องว่างให้เส้นที่ต้องการเดิน
Rip Up	การเดินเส้นในลักษณะยกเส้นขวางออกแล้วกลับมาเดินภายหลัง
ในช่อง Manufacturing Passes มีความหมายดังนี้	
Clean During Routing	หมายถึงต้องการให้จัดเส้นให้สวยงาม ระหว่างเดินเส้นอัตโนมัติ
Clean After Routing	หมายถึงต้องการให้จัดเส้นให้สวยงาม หลังจากเดินเส้นเสร็จแล้ว
Evenly Space แทร็ค	การจัดเส้นให้มีช่องว่างอย่างเท่าเทียมกัน เพื่อผลดีสำหรับการผลิต
Add test points	สั่งให้ Auto Router เพิ่มจุดทดสอบให้อัตโนมัติ
Lock All Pre-routed	สั่งให้ Auto Router ไม่ต้องเคลื่อนย้ายเส้นต่างๆที่เดินมาก่อนเข้า Auto Router
Routing Grid	กำหนดขนาด Routing Grid โดยปกติไม่ต้องเปลี่ยนแปลงใดๆ Auto Router จะวิเคราะห์บอร์ดและเปลี่ยนขนาดกริดที่เหมาะสมให้เอง

วิธีใช้ Auto Router

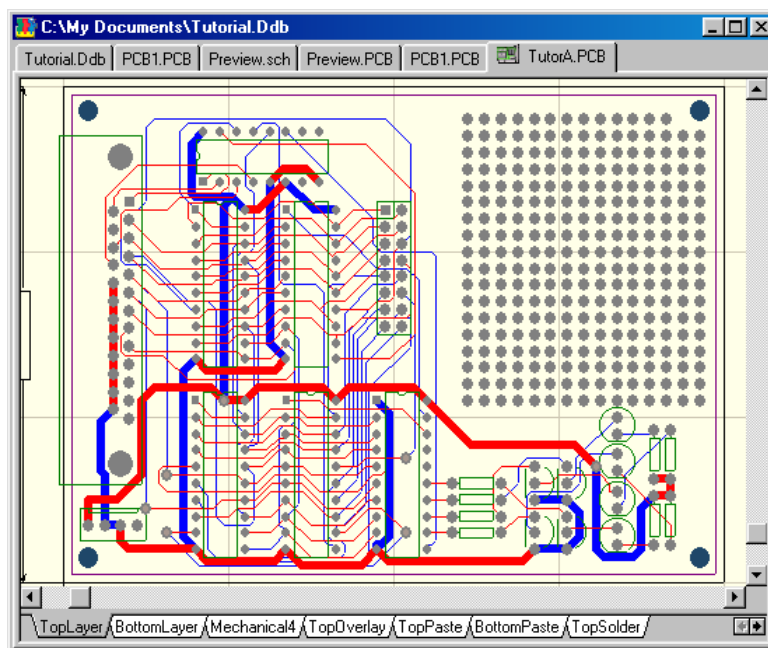
การใช้งาน Auto Router นั้นง่ายมาก เรียกคำสั่ง Auto Route จากเมนูจะมีคำสั่งย่อยเลือกได้ดังนี้	
All	สั่งให้ทำงานหมดทั้งบอร์ด
Connection	สั่งให้เดินเฉพาะคอนเนคชั่น ซอฟต์แวร์จะรอให้เลือกคอนเนคชั่นที่ต้องการ
Component	สั่งให้เดินแทร็คเฉพาะที่ต่อกับอุปกรณ์ และเฉพาะคอนเนคชั่นที่มาถึงอุปกรณ์เท่านั้น ไม่นับคอนเนคชั่นอื่นๆในเน็ต
Area	สั่งให้เดินเส้นเฉพาะในบริเวณที่กำหนด
Stop	สั่งให้ Auto Router เลิกทำงาน
Pause	สั่งให้ Auto Router หยุดทำงานชั่วคราว
Re-Start	สั่งให้ Auto Router ทำงานต่อ

เดินเส้นในบอร์ดทดลอง

ใช้คำสั่ง **Auto Route>>All** กับบอร์ดทดลอง ควรจะใช้เวลาไม่เกิน 3 นาทีที่จะเสร็จทั้ง 100% เปลี่ยนไปบริเวณต่างๆ ตรวจสอบขนาดเวียและแทร็ค เป็นไปตาม Design Rules หรือไม่



รูปที่ 10—20 เมื่อ Auto Router ทำงานเสร็จ จะแสดงข้อมูลจำนวนคอนเนคชั่นและเปอร์เซ็นต์ที่ทำได้ พร้อมแสดงระยะเวลาที่ใช้ไป



รูปที่ 10—21 Auto Router เดินเส้นหมดแล้ว

การสร้างจุดทดสอบ (Test Point)

จุดทดสอบคือ แพ็ดหรือเวียสำหรับให้เครื่องทดสอบวงจร (ICT-In-circuit Tester) วัดสัญญาณเพื่อตรวจสอบการทำงานของบอร์ดขณะประกอบในสายการผลิต เครื่องวัดสัญญาณจะใช้โพรบแตะที่จุดทดสอบ ซึ่งต้องเตรียมสร้างเผื่อไว้ระหว่างออกแบบบอร์ด

การกำหนดจุดทดสอบ

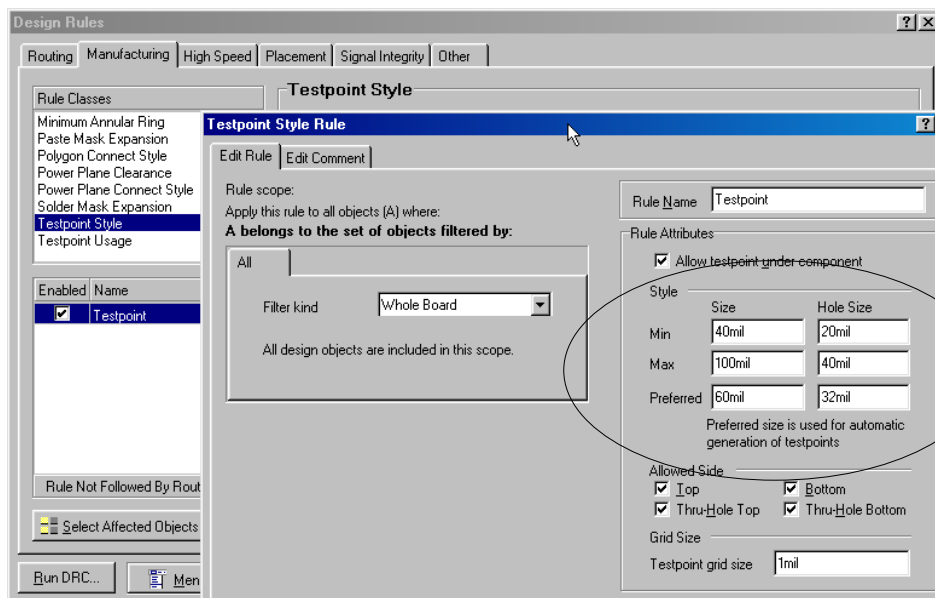
กำหนดจากใน **Design>>Rules** ช่อง Manufacturing มี 2 อย่างคือ **Test Point Style** และ **Test Point Usage** เลือกกฎข้อที่ต้องการ คลิกที่ปุ่ม **Add** หรือถ้าได้เพิ่มกฎไว้แล้ว คลิกที่ปุ่ม **Properties**

Testpoint Style

ใช้สำหรับเลือกขนาดแพ็ดหรือเวีย สำหรับใช้เป็นจุดทดสอบมีขนาดได้ตั้งแต่ในช่อง *Min* จนกระทั่งถึง *Max* ค่าที่กำหนดคือ *Size*(ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง), *Hole Size*(ขนาดรูเจาะ) ส่วนในช่อง *Preferred* หมายถึงเป็นขนาดที่ Auto Router เลือกใช้เอง

Attached Side

เลือกกำหนดให้ใส่จุดทดสอบด้านใดบ้าง Top-คือด้านบน, Bottom-คือด้านล่าง, Thru-hole Top-ใส่เฉพาะที่ตำแหน่งเจาะทะลุและเป็นด้านบน



รูปที่ 10—22 แสดงคุณสมบัติของ Test-point Style

เมื่อกำหนด *Test-point Style* เรียบร้อยหมายความว่า แพ็ดที่มีขนาดตามที่กำหนดใน **min, max** สามารถนำมาใช้ทำจุดทดสอบได้ทั้งสิ้น

สำหรับ *Test-point Usage* กำหนดได้ตามลำดับความสำคัญของกฎการออกแบบ ซึ่งจะให้เห็นหรืออุปกรณ์ใดยกเว้นไม่มีจุดทดสอบได้บ้าง โดยทั่วไปถ้าไม่มีอะไรพิเศษมักจะยกเว้น

ค้นหาแพ็ดและเวียบนบอร์ดซึ่งใช้เป็นจุดทดสอบได้

เมื่อได้กำหนดรูปแบบของจุดทดสอบใน *Test-point Style* แล้ว เราสามารถตรวจสอบได้ว่าในบอร์ดซึ่งเดินเส้นเสร็จสมบูรณ์จะมีแพ็ดและเวีย ที่ตำแหน่งใดบ้างมีขนาดตรงกับความต้องการ วิธีการคือใช้คำสั่ง

Tools>>Find and Set Testpoint ซอฟต์แวร์จะถามยืนยัน จากนั้นจะเริ่มกำหนดจุดทดสอบ เมื่อเสร็จสิ้นจะแสดงตำแหน่งโดยใช้สีเน้นให้ต่างจากแพ็ดและเวียทั่วไป หากต้องการยกเลิกจุดทดสอบ ให้ใช้คำสั่ง **Tools>>Clear All Testpoint**

ให้ Auto Router เพิ่มจุดทดสอบ

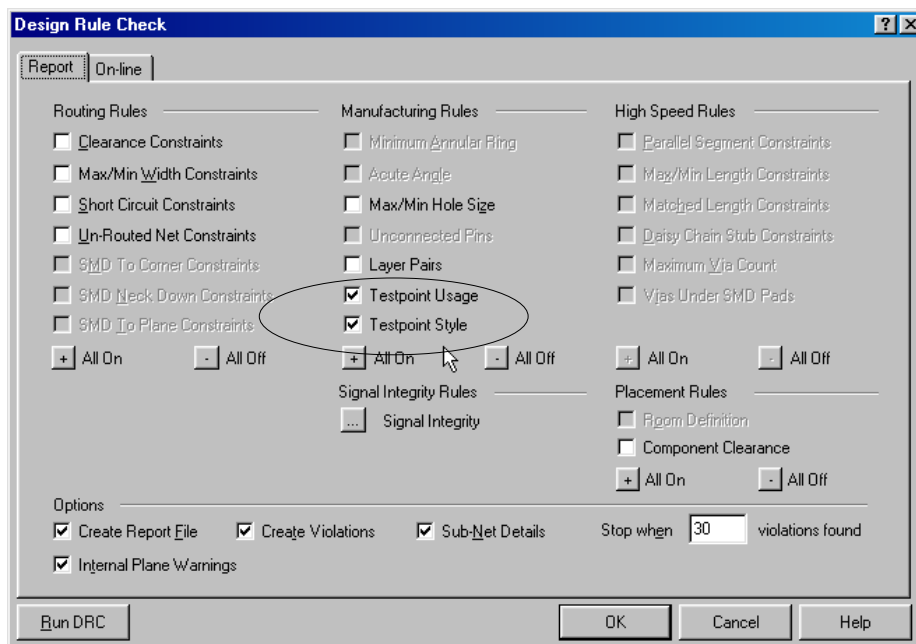
ระหว่างเดินเส้นอัตโนมัติ เราสามารถกำหนดให้เพิ่มจุดทดสอบได้ กำหนดทางเลือก **Add Testpoint** ใน **Auto Router>>Setup** เมื่อสั่งให้เดินเส้น Auto Router จะใช้ขนาดแพ็ดตามที่ได้กำหนดในข้อกำหนดการออกแบบแถบ Manufacturing ในส่วน Testpoint Style ใส่ให้โดยอัตโนมัติ

รายงานตำแหน่งจุดทดสอบ

เมื่อใส่จุดทดสอบเข้าไปในบอร์ดเรียบร้อยแล้ว ซอฟต์แวร์สามารถสร้างไฟล์ระบุตำแหน่งจุดทดสอบในรูปแบบพิกัดทางด้าน X,Y เพื่อนำไปสร้างแท่นยึดโพรบ สำหรับสัมผัสกับชิ้นงานเพื่อวัดสัญญาณที่ต้องการ การสร้างตำแหน่งนี้ดูได้จากเรื่องการสร้าง CAM Output ในบทที่ 14

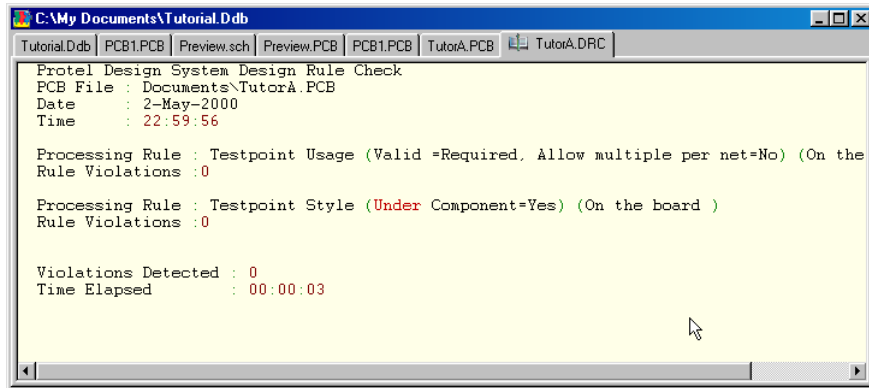
ค้นหาเน็ตซึ่งไม่มีจุดทดสอบ

เมื่อต้องการค้นหาเน็ตซึ่งควรมีจุดทดสอบแต่ Auto Router ไม่สร้างให้ เราจะใช้ Design Rule Check ตรวจสอบโดยเลือกในช่อง **Testpoint Usage** และ **Testpoint Style**



รูปที่ 10—23 ทางเลือกของการตรวจสอบความผิดพลาด

เมื่อกำหนดเสร็จคลิกที่ปุ่ม **Run DRC**



รูปที่ 10—24 รายงานผลการตรวจสอบจุดทดสอบ



รูปที่ 10—25 ทางเลือกการสร้างหยดน้ำ

การสร้างหยดน้ำตา (Tear Drop)

หยดน้ำหรือ Tear Drop เป็นส่วนเสริมเส้นทองแดง(แทร็ค) ให้มีป่าหรือความหนามากขึ้นเมื่อเส้นวิ่งเข้าหาแพ็ดหรือเวีย การเพิ่มหยดน้ำจะทำให้แทร็คมีความแข็งแรง การยึดเกาะระหว่างเส้นกับแพ็ดมีมากขึ้น ลดโอกาสและความผิดพลาดของชิ้นงานเนื่องจากกระบวนการผลิต การเพิ่มหยดน้ำตาสามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง **Tools>>Teardrops** เมื่อเรียกแล้วจะเห็นรูปที่ 10—25 ปรากฏขึ้น

แต่ละช่องมีความหมายดังนี้

General- ทั่วๆไป

- | | |
|----------------------|--|
| All Pads | สร้าง Teardrop กับทุกๆ แพ็ด |
| All Vias | สร้าง Teardrop กับทุกๆ เวีย |
| Selected object only | สร้าง Teardrop กับวัตถุที่เลือกไว้ก่อนหน้า |
| Force Teardrop | บังคับให้มี Teardrop |
| Generate Report | สร้างไฟล์รายงาน |

Action- เลือกการกระทำ

- | | |
|--------|--------------------------------|
| Add | เพิ่ม Teardrop เข้าไปในชิ้นงาน |
| Remove | ยกเลิก Teardrop |

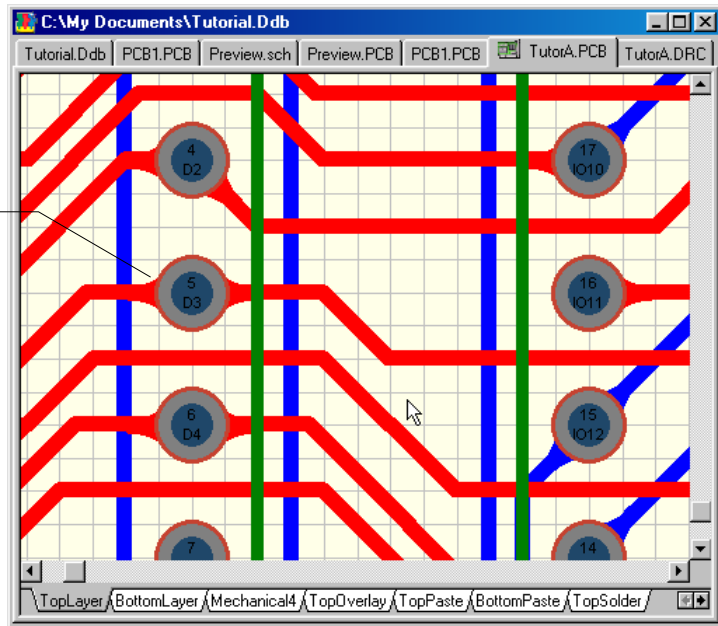
คู่มือ Protel99

Style- รูปแบบ

Arc ใช้เส้นโค้งสร้าง Teardrop

Line ใช้เส้นตรงสร้าง Teardrop

หยดน้ำตาที่สร้าง
ขึ้นมา



สรุป

ภายในบทนี้ เราได้เรียนรู้คำสั่งต่างๆ สำหรับเดินเส้นทางแดงด้วยตนเอง คำสั่งพื้นฐานสำหรับใช้งานคือ Place>>Track และเลื่อนไปคลิกที่ขาหรือคอนเนคชั่นและเดินเส้นไปจนจบที่ขา หรือเส้นทางแดงซึ่งเดินค้างไว้ก่อนหน้า โปรเทลจะจัดการความสัมพันธ์ระหว่างคอนเนคชั่นและเส้นทางแดงเป็นอย่างดี กล่าวคือคอนเนคชั่นเป็นตัวแทนใช้บอกว่าจุดใดต้องต่อเข้าหากัน ส่วนเส้นทางแดงเป็นสื่อนำไฟฟ้าซึ่งเชื่อมวงจรเข้าหากันจริงๆ ดังนั้นเมื่อวางเส้นทางแดงเสร็จคอนเนคชั่นจะหายไป ถ้าหากเดินเส้นเพียงบางส่วน คอนเนคชั่นจะเปลี่ยนตำแหน่งไปยังจุดปลายของเส้นซึ่งไปยังจุดหมายที่ต้องการ ระหว่างเดินเส้นโปรเทลได้สร้างภาวะต่างๆ เพื่อตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดเช่น Avoid Obstacle – หลีกเลียงวัตถุที่มีผลทางไฟฟ้าไม่ให้เส้นเดินเข้าไปใกล้มากเกินไป, Push Obstacle – ดันหรือเลื่อนวัตถุที่ขวางออกจากรoute เส้นทาง จะเห็นว่าเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้ช่วยให้เห็นกรอบแบบสร้างสรรค์ชิ้นงานได้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น