

สำรวจ เทคโนโลยีมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลักแตนซ์ และการควบคุม
Survey on Switched Reluctance Motor and Control Technology

ผู้เขียนบทความ

นาย ประพนธ์ จิตรกริยาน

นาย สืบสรวง คชาภรณ์กุล

นาย กนกเวทย์ ตั้งพิมลรัตน์

นาย ปกาศิต สมศิริ (ผู้นำเสนอ)

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

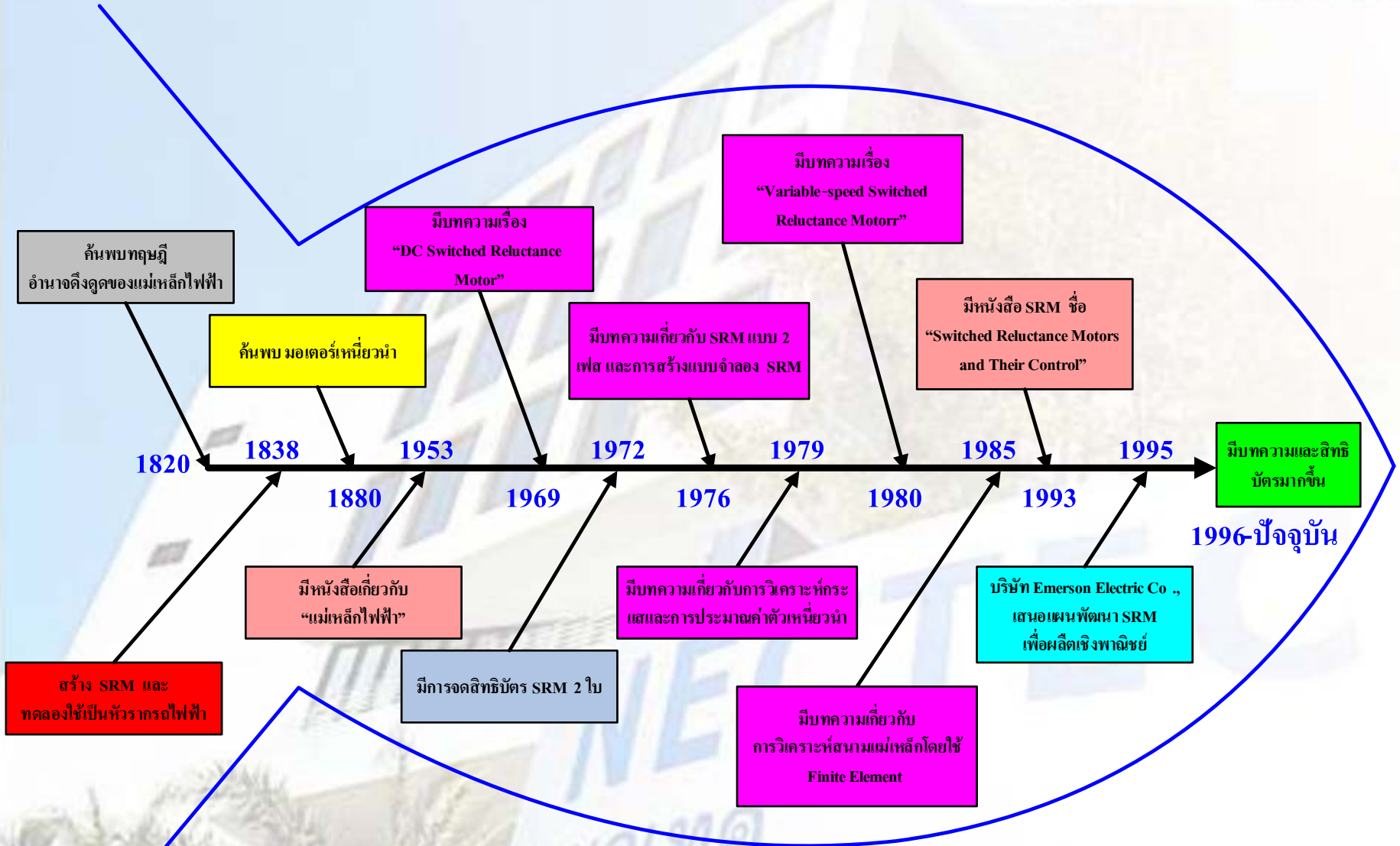
- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

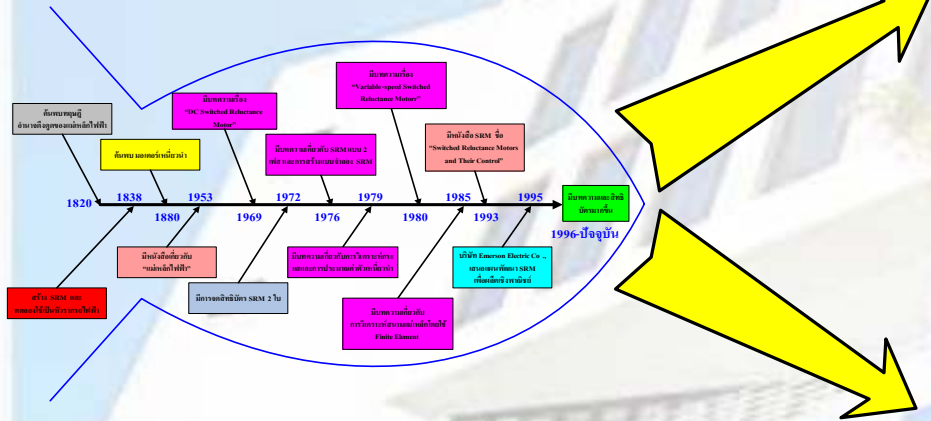
ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM



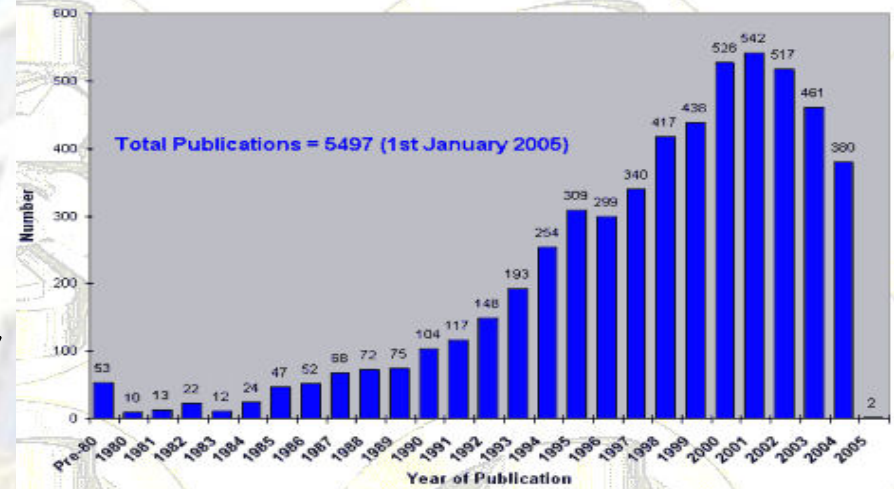
บทความและสิทธิบัตรของ SRM

“Brivit™ Publication Database”,

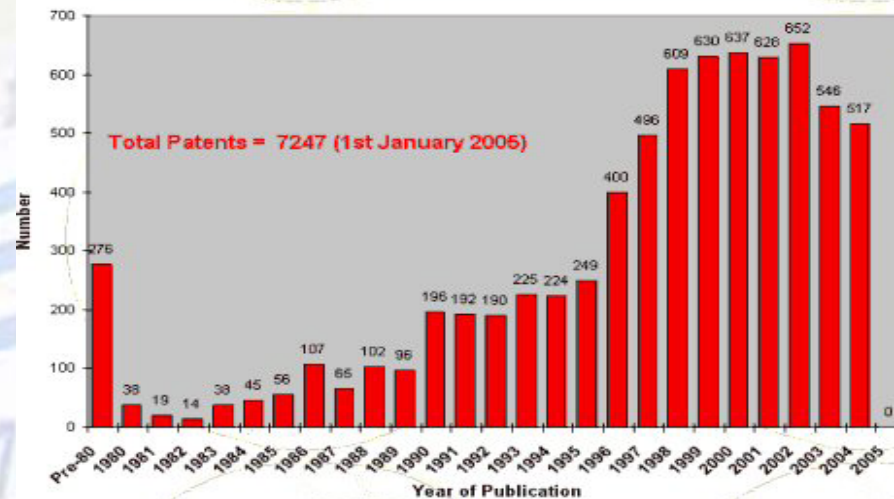
<http://ldn.fleadh.co.uk/brivit/>



Number Of Published Switched Reluctance Papers & Theses



Recorded Number Of Switched Reluctance Patents



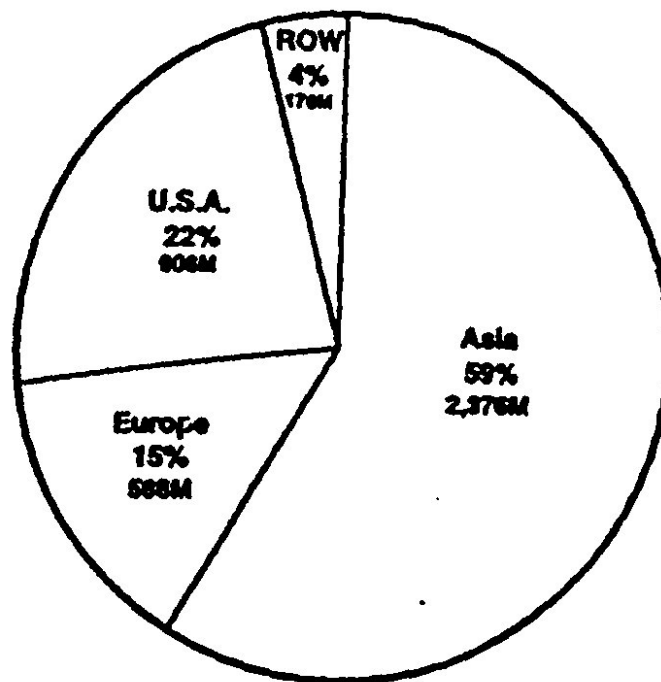
Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ **อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์**
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับสนกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

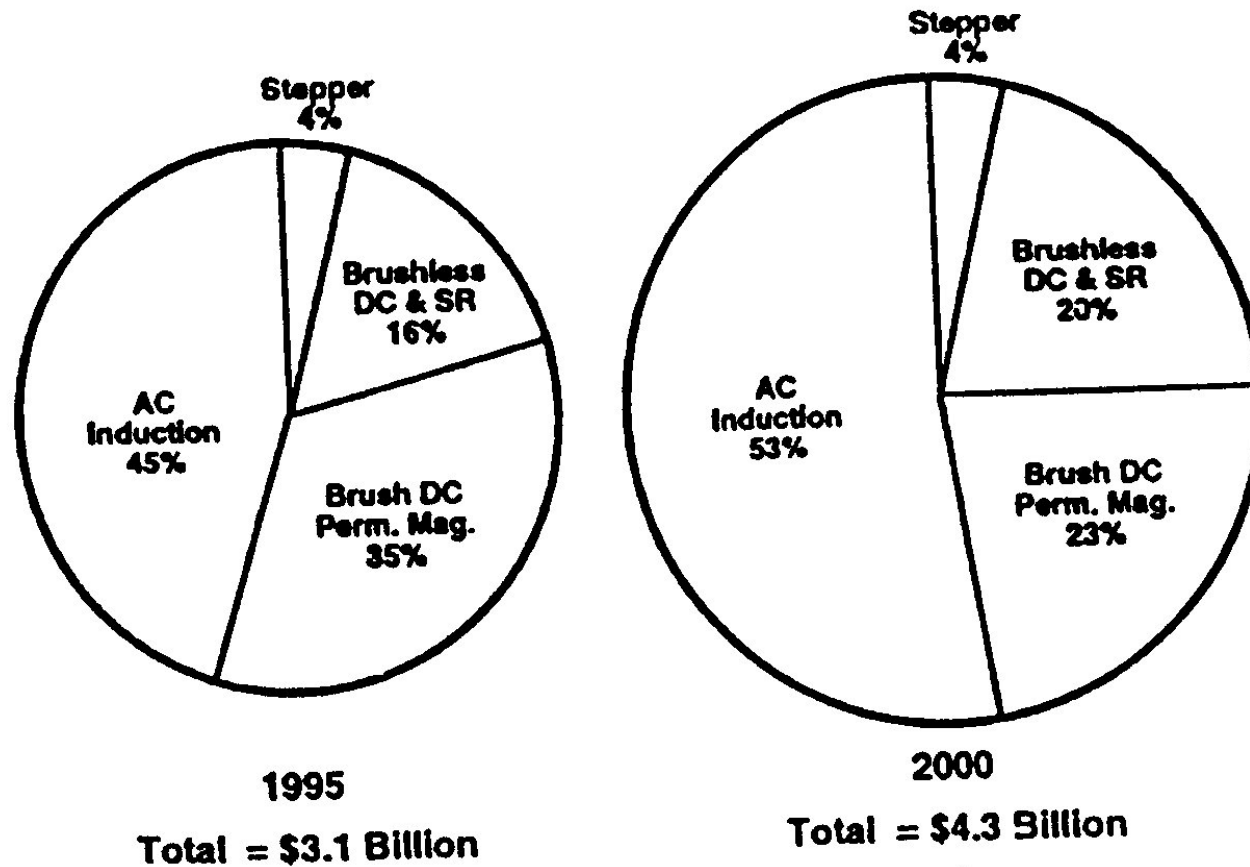
อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์ : ต่างประเทศ

อัตราส่วนการใช้มอเตอร์ในแต่ละทวีป



ความต้องการใช้มอเตอร์ในทวีปเอเชียคิดเป็น 59 % ของทั่วโลก

อัตราการเติบโตของมอเตอร์ในเครื่องจักรกลในอเมริกา



อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์ : ภายในประเทศ

จากสถิติกรมโรงงาน(2546) : มีผู้ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศจำนวน 22 ราย

➤ เป็นโรงงานที่คนไทยเป็นเจ้าของ (ถือหุ้นมากกว่าร้อยละ 50) จำนวน 13 ราย

➤ เป็นของต่างชาติจำนวน 9 ราย

	2541	2542	2543	2544	2545	2546 (Q1)
ผลผลิตภาคอุตสาหกรรม (เครื่อง)	895,000	981,000	1,862,000	1,760,000	1,772,000	537,000
ปริมาณการจำหน่ายใน ประเทศ (เครื่อง)	723,000	724,000	,182,000	1,161,000	1,033,000	293,000
มูลค่าส่งออก (ล้านบาท)	50,806	64,208	67,401	72,185	74,582	18,376

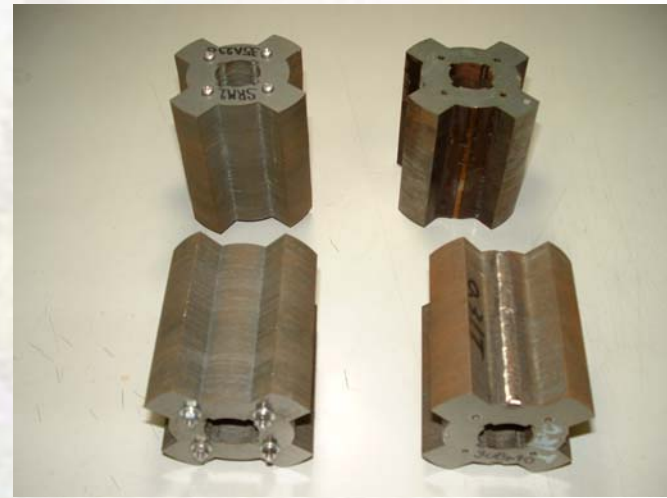
ปริมาณการผลิต ปริมาณการจำหน่าย และมูลค่าการส่งออกมอเตอร์ไฟฟ้าในประเทศไทย

Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

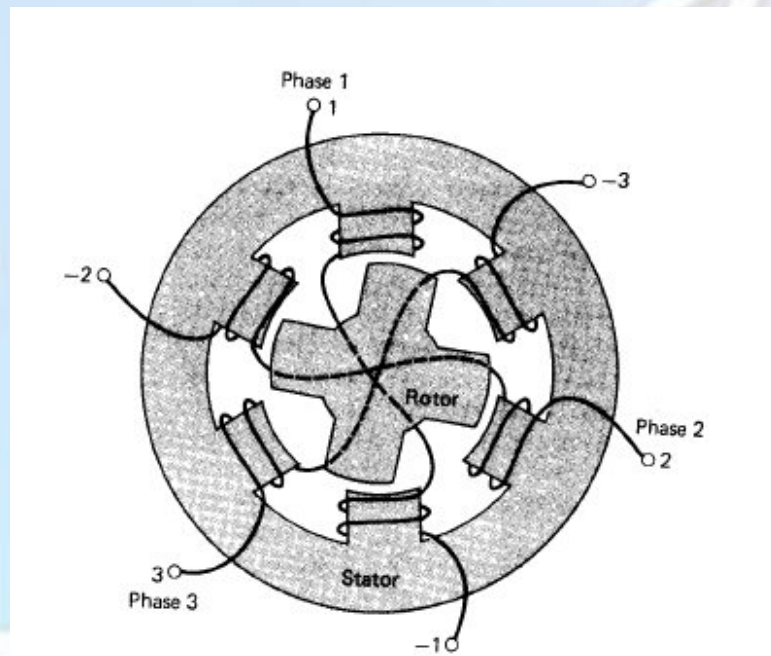
โครงสร้างของ SRM



ส่วนโรเตอร์



ส่วนสเตเตอร์



**แบบขั้วยื่นและแผ่นเหล็ก
 ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์**

การเรียกชื่อของ SRM ตามโครงสร้าง

$$y/x, n - phase$$

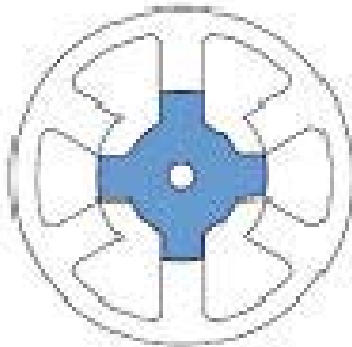
โดยมีเงื่อนไข $y \geq x + 2$ และ $y = n.m$

เมื่อกำหนดให้ $m = 2, 4, 6, \dots$, x คือ จำนวนขั้วของโรเตอร์,
 y คือ จำนวนขั้วของสเตเตอร์, n คือ จำนวนเฟสของมอเตอร์

สำหรับในกรณี $x = y$ มักใช้งานมอเตอร์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า(Generator)



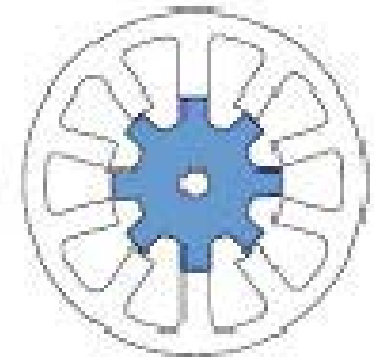
4/2, 2 เฟส



6/4, 3 เฟส

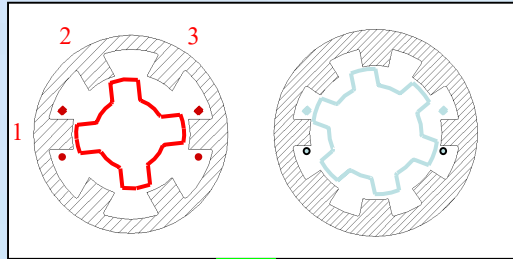


8/6, 4 เฟส

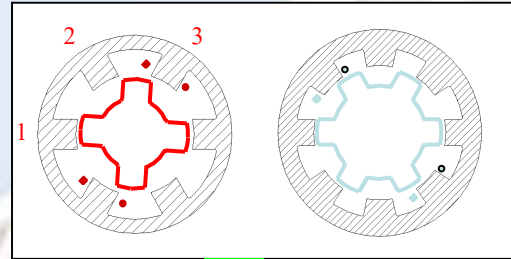


10/8, 5 เฟส

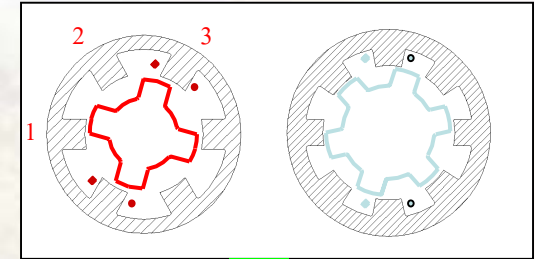
การทำงานของ SRM แบบ 6/4 และ 8/6



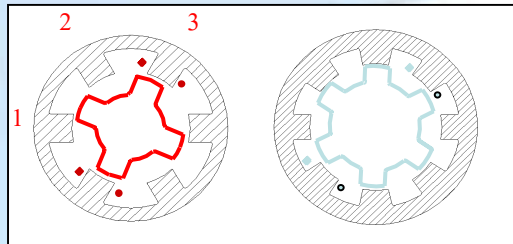
1



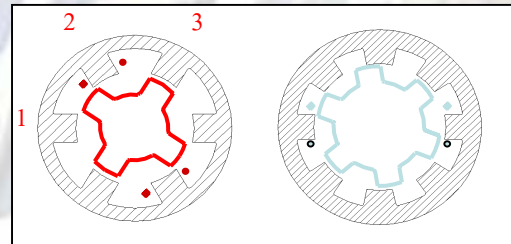
2



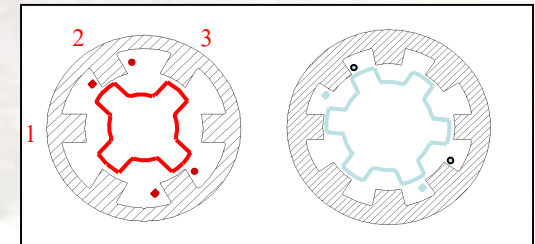
3



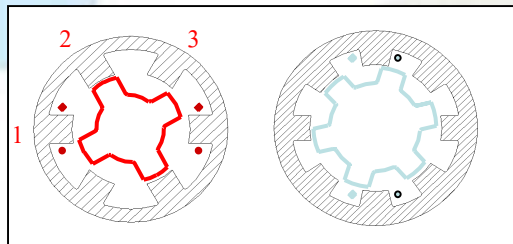
4



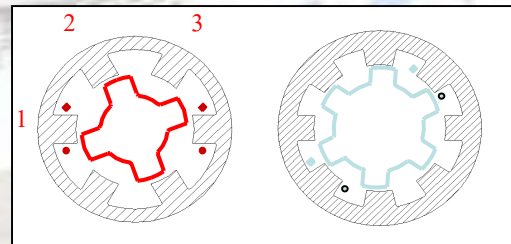
5



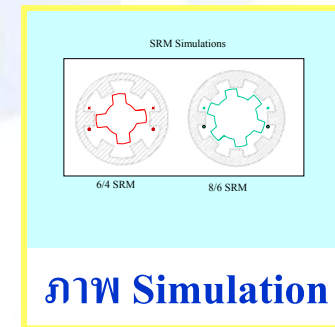
6



7



8

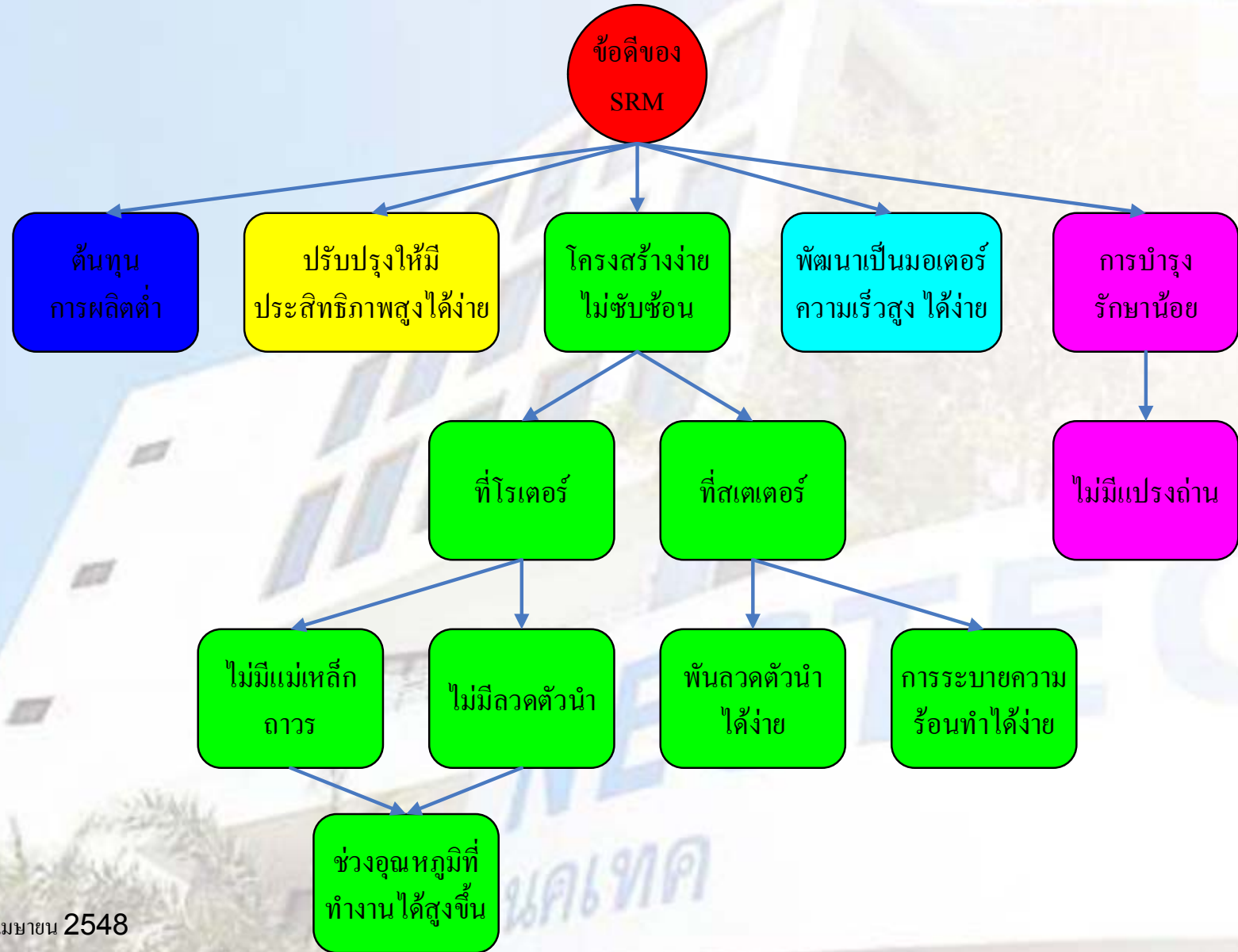


Switched Reluctance Motor : SRM

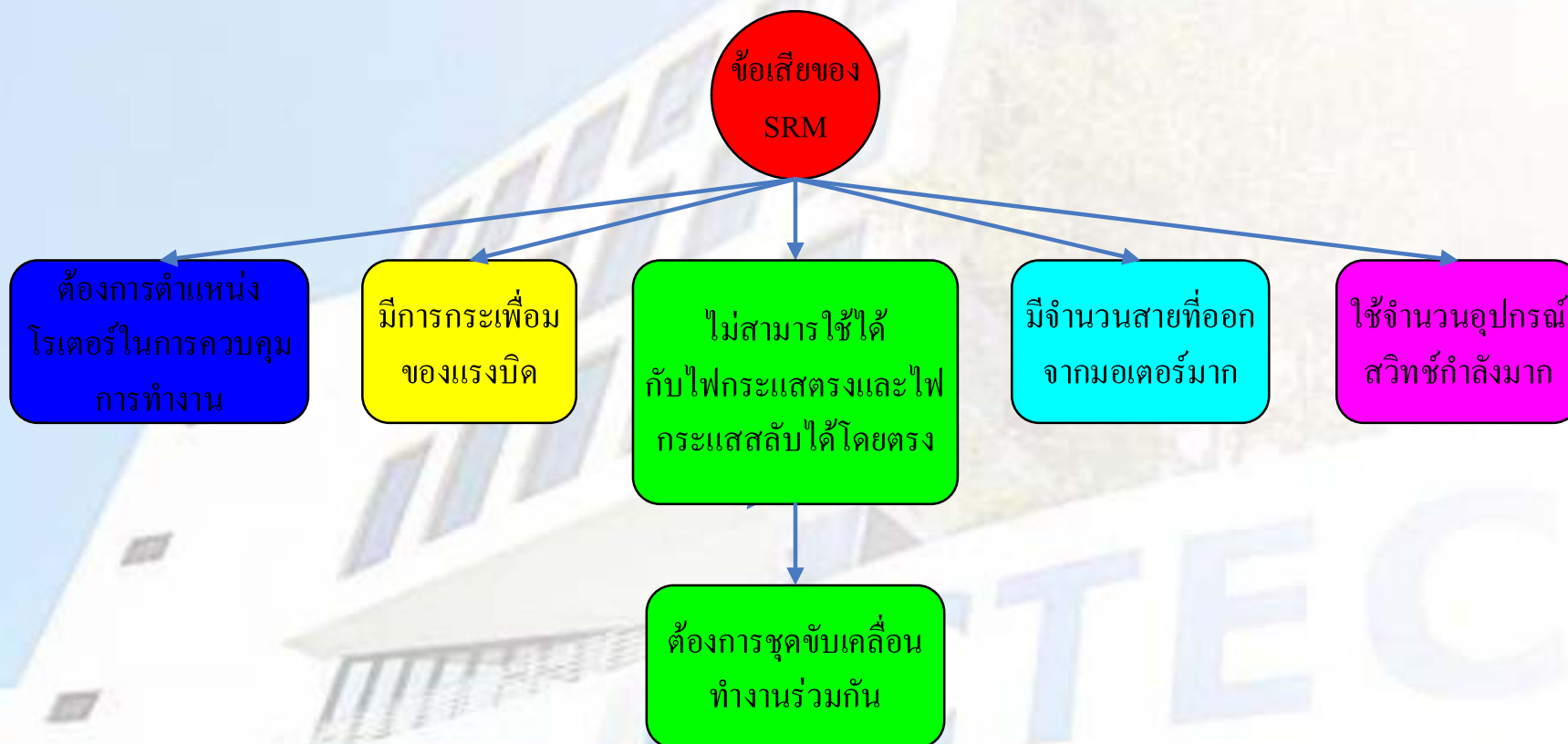
สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

ข้อดีของ SRM



ข้อเสียของ SRM



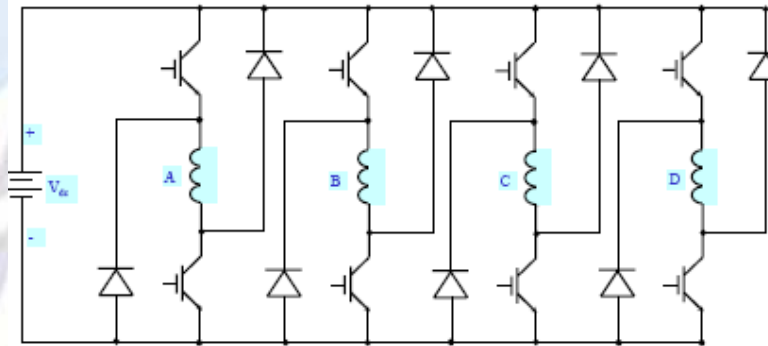
Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรถูกแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

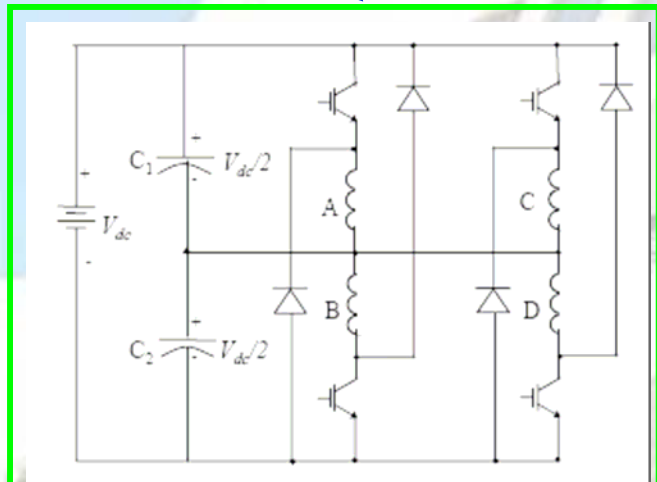
เทคโนโลยีวงจรแปลงผัน
Converter Technology

วงจรแปลงผันแบบทั่วไป
 ของ SRM 4 เฟส

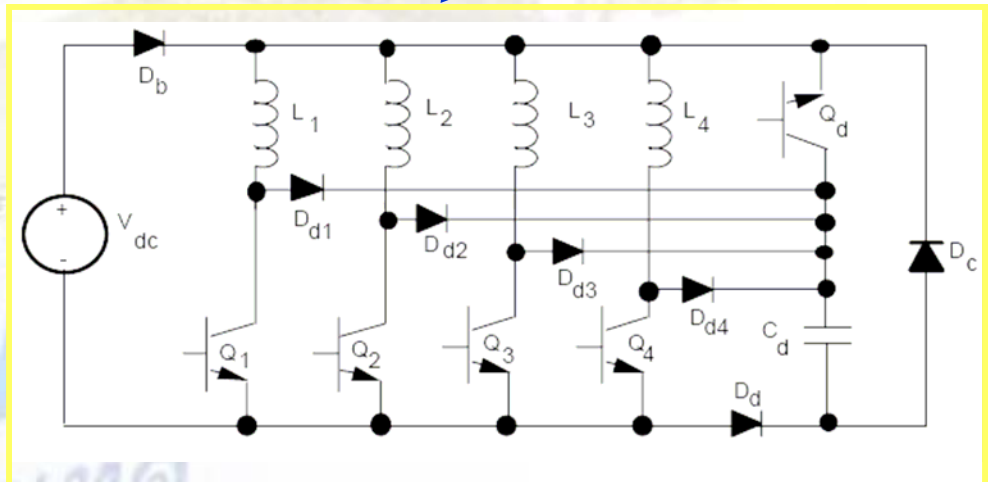


ข้อเสียของ
 SRM

ใช้จำนวนอุปกรณ์
 สวิตช์กำลังมาก



7 เมษายน 2548 แปลงผันแบบ
Split-Capacitor



วงจรแปลงผันลดการสูญเสียพลังงาน

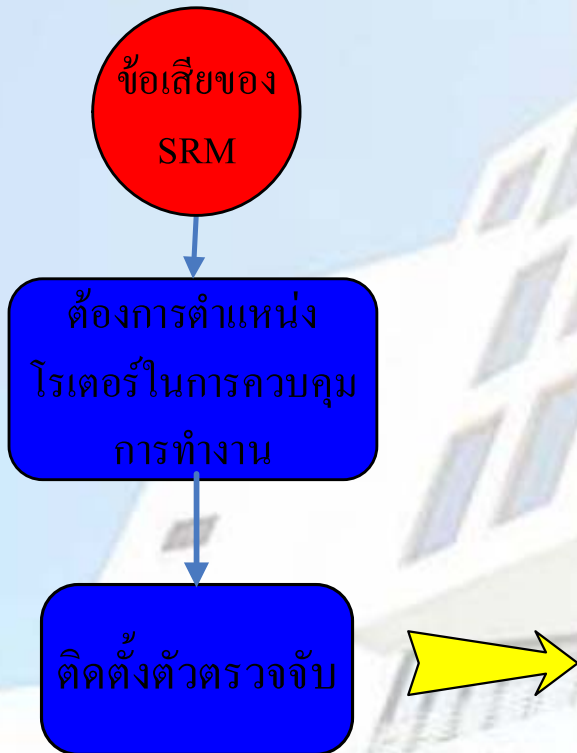
Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

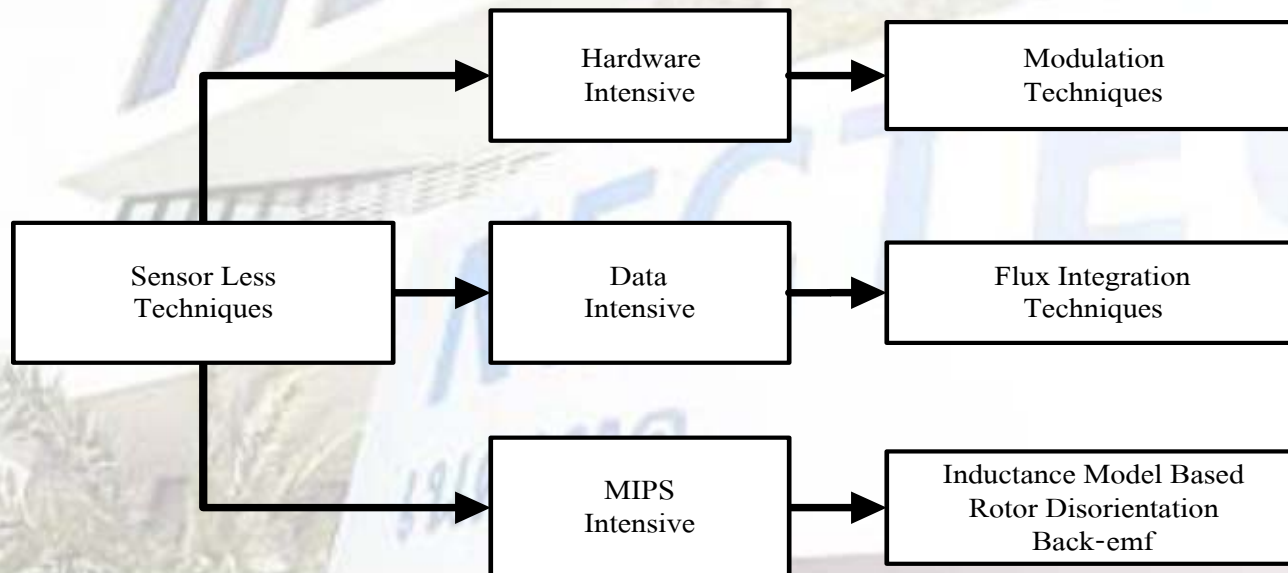
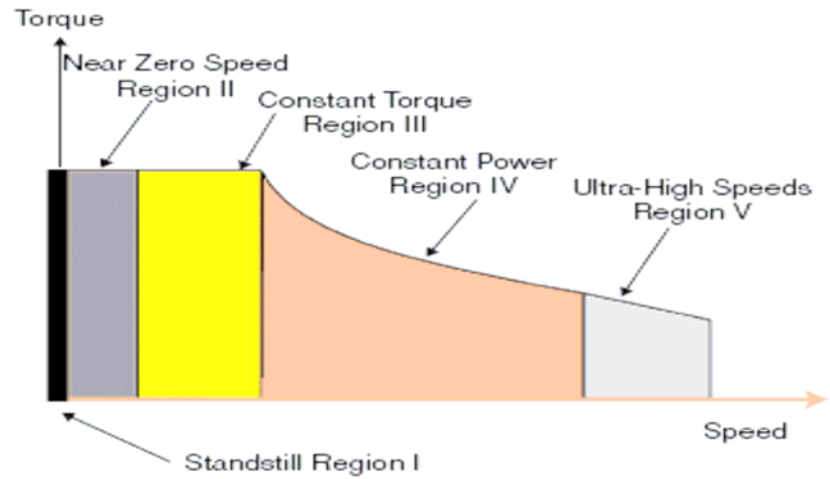
เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ

Sensorless Control Technology



- ข้อเสียของระบบที่ใช้ตัวตรวจจับ คือ
- เพิ่มต้นทุนและความซับซ้อนให้กับระบบ
 - ลดความน่าเชื่อถือในการทำงานของระบบลง
 - ในการใช้งานบางประเภทไม่เหมาะกับการติดตั้งตัวตรวจจับ
 - เพิ่มความยุ่งยากในขั้นตอนการผลิต

เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ โดยการประมาณค่าตำแหน่งโรเตอร์



Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับสนับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

เทคโนโลยีซอฟต์แวร์ ช่วยออกแบบมอเตอร์

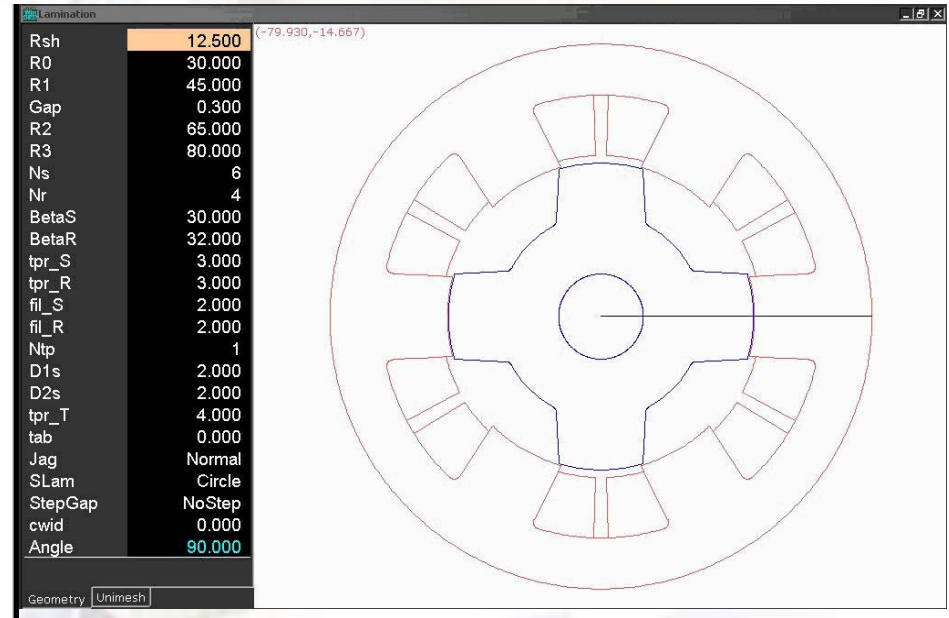
Motor design



Win-BDC

- PC-SRD (switched reluctance motor)
- PC-BDC (brushless dc motor)
- PC-IMD (induction motor)
- PC-DCM (dc commutator motor)
- Win-SRD (switched reluctance motor)
- Win-BDC (brushless dc motor)
- Win-IMD (induction motor)
- Win-DCM (dc commutator motor)

Introduction to motor design programs

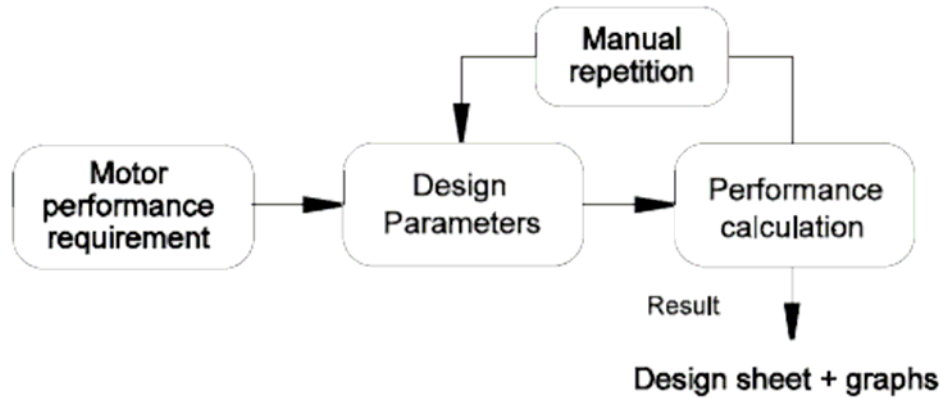


โปรแกรม Win-Speed

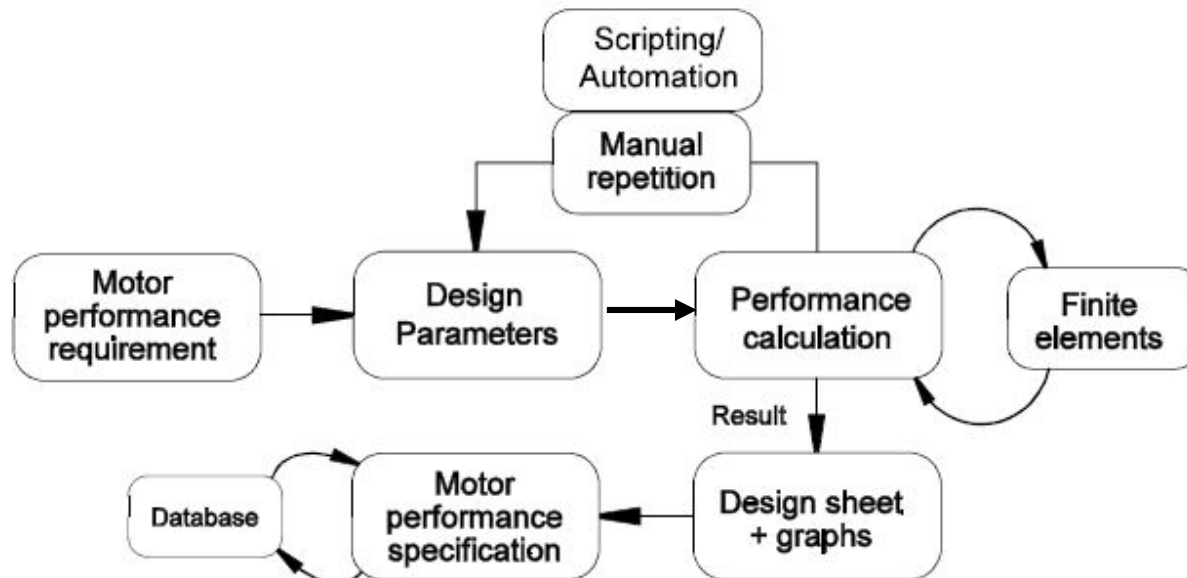
โปรแกรม PC-SRD สำหรับ SRM

พัฒนาโดย UNIVERSITY OF GLASGOW

ขบวนการออกแบบมอเตอร์

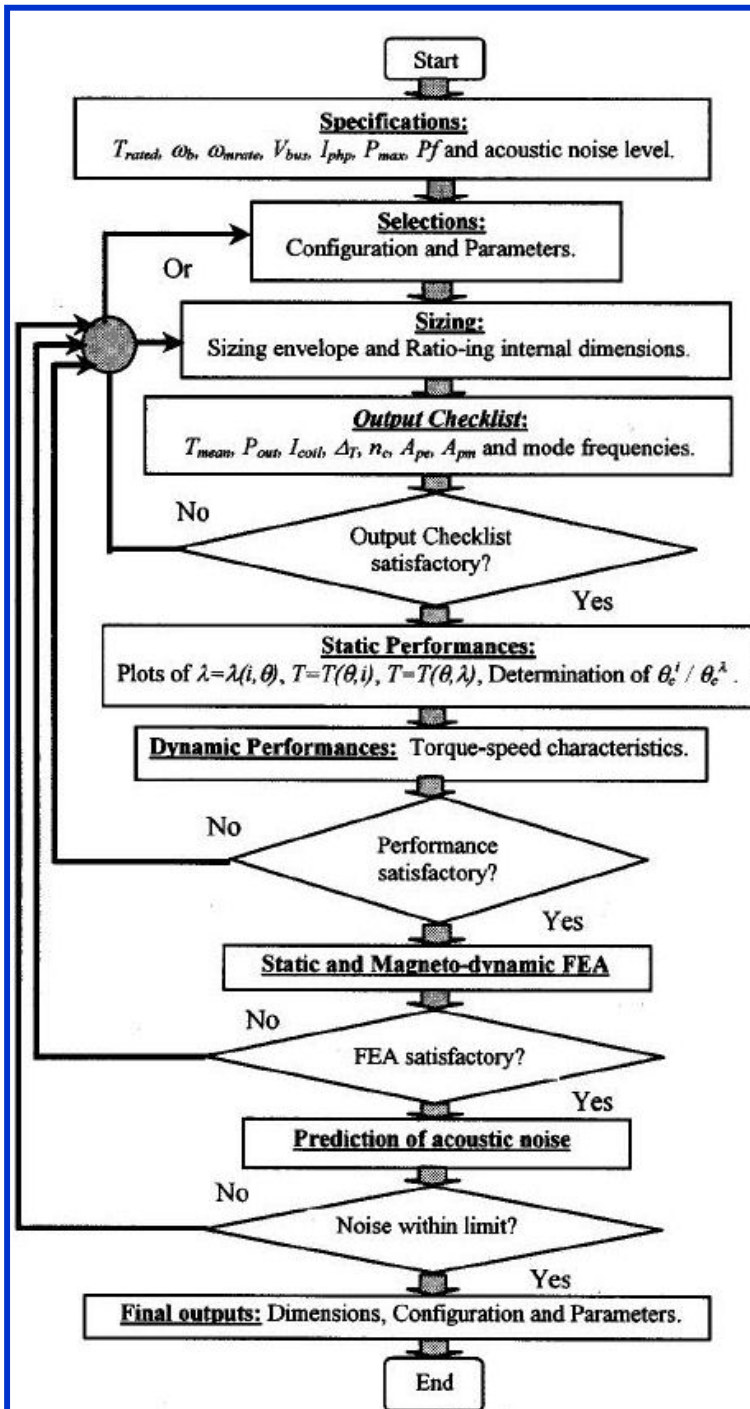


ขบวนการแบบทั่วไป



ขบวนการแบบใช้
 Finite Element

แผนผังการ
ออกแบบมอเตอร์



Switched Reluctance Motor : SRM

สาระสำคัญ

- ❁ ประวัติศาสตร์การพัฒนาของ SRM
- ❁ อุตสาหกรรมทางด้านมอเตอร์
- ❁ โครงสร้างและการทำงานของ SRM
- ❁ ข้อดีข้อเสียของ SRM
- ❁ เทคโนโลยีวงจรแปลงผันกับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับสนับ SRM
- ❁ เทคโนโลยีซอฟต์แวร์
- ❁ สรุป

สรุป

จากการสำรวจเทคโนโลยี SRM พบว่า

- ☼ แนวโน้มในการทำวิจัยทางด้านระบบขับเคลื่อน SRM มีแนวโน้มเหมือนมอเตอร์อื่นๆ คือ เน้นการ
 - ✓ ที่จะทำให้ระบบโดยรวมมีประสิทธิภาพที่ดี
 - ✓ มีประสิทธิภาพสูง
 - ✓ มีความน่าเชื่อถือ มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานมากขึ้น
- ☼ SRM เป็นมอเตอร์ที่รวมเอาข้อดีต่างๆไว้มากมาย ดังสามารถสรุปได้ดังนี้
 - ✓ โครงสร้างไม่ซับซ้อน
 - ✓ ขดลวดสเตเตอร์ง่ายต่อการพัน
 - ✓ ต้องการ การบำรุงรักษาน้อย
 - ✓ สามารถพัฒนาเป็นมอเตอร์ความเร็วสูงมาก ได้ง่าย
 - ✓ สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงได้
 - ✓ มีขั้นตอนการผลิตที่น้อย ทำให้ต้นทุนต่ำ
 - ✓ สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย

สรุป

- ถึงแม้ว่ามอเตอร์ชนิดนี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้างแต่ก็มีเทคโนโลยีต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อเสียเหล่านั้น
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีวงจรแปลงผัน
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์
- ด้วยสมรรถนะที่ดีของ SRM บวกกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านต่างๆ SRM จึงเป็นของมอเตอร์ประเภทอื่นๆที่น่าสนใจและถูกจับตามองอย่างมาก
- ด้วยศักยภาพพื้นฐานของบุคลากรและอุตสาหกรรมมอเตอร์ภายในประเทศ คาดว่าจะมีศักยภาพที่สูงเพียงพอ กับการผลิตมอเตอร์สวิตซ์รีลัคแทนซ์
- ควรที่จะส่งเสริมให้มีการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ SRM เพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมไทย และเป็นการพัฒนา ประเทศอย่างยั่งยืน ในภายหน้าต่อไป



ขอบคุณครับ



ภายในประเทศ :

- ทีมงานของ อ. ทองใบ อรรถเศรษฐ์
- รศ. ดร. สมชาย ฉัตรรัตนา
- ผศ.ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาล
- ดร. ชาญชัย วีระประดิษฐ์ศิลป์

ความเป็นไปได้ในการมีส่วนร่วมของเอกชนผู้สนใจผลิตมอเตอร์ในเชิงพาณิชย์

กลุ่มที่คาดว่าจะเข้ามามีบทบาทในการเป็นผู้ใช้และผลักดันการพัฒนาเทคโนโลยี **SRM** :
มีด้วยกัน 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้า
2. กลุ่มผู้ผลิตมอเตอร์สำหรับเครื่องจักรกล และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ

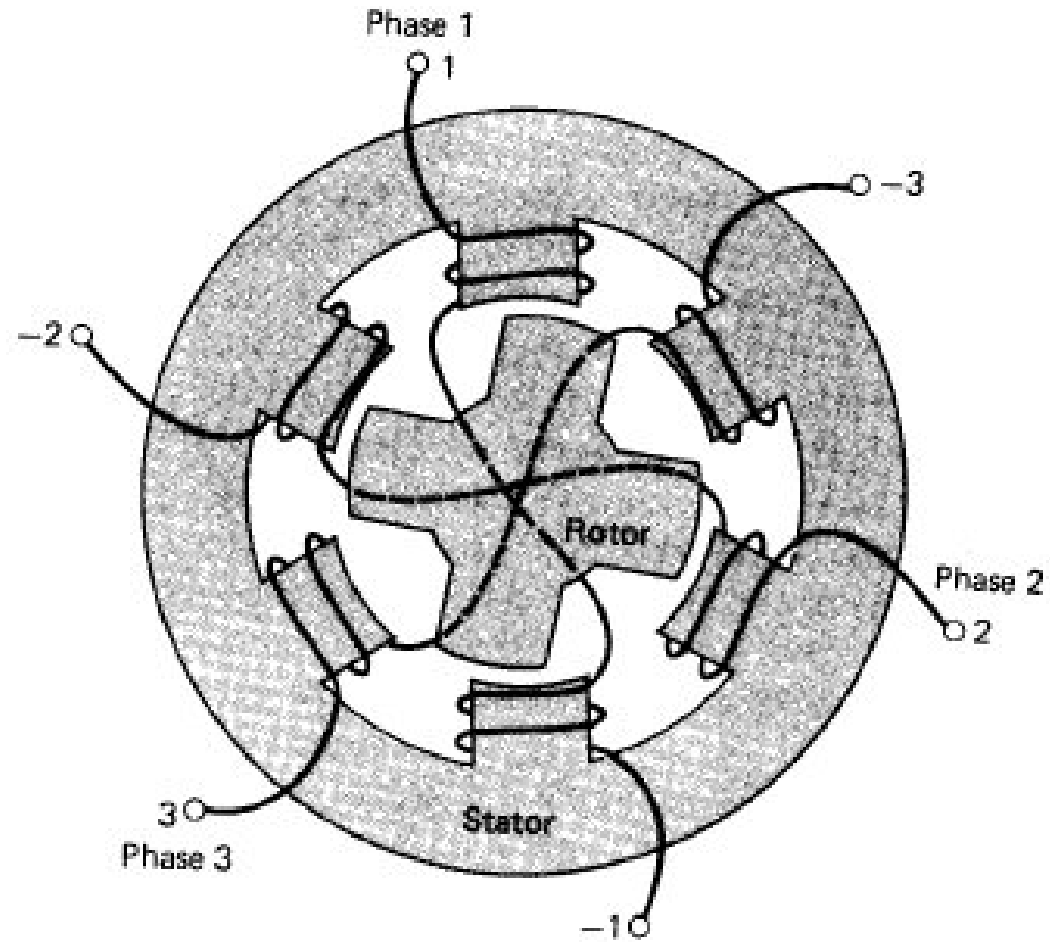
อุปสรรค ปัญหางานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีมอเตอร์

- การลงทุนสูง
- ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมที่ไม่ครบวงจร
- ไม่สามารถต่อยอดองค์ความรู้ได้เอง

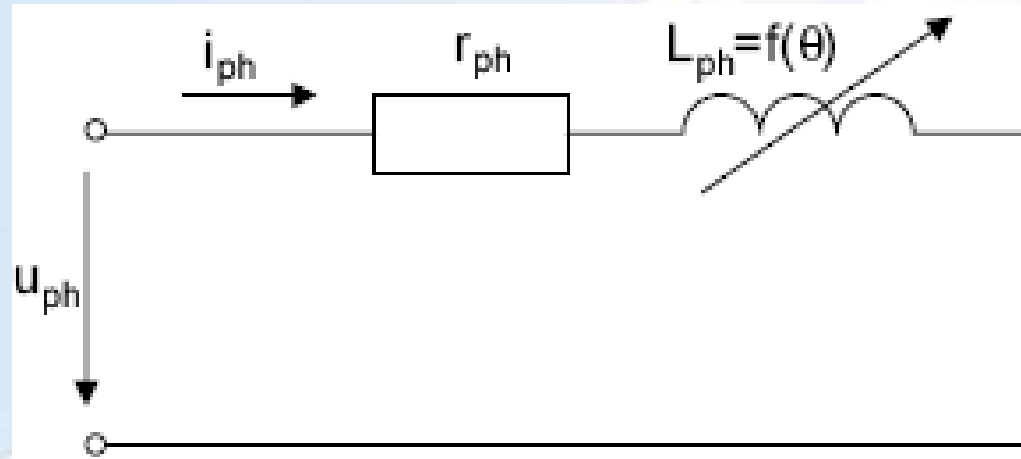
แนวทางแก้ไข ปัญหางานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีมอเตอร์

- รัฐช่วยลงทุน
- จัดให้มีการเชื่อมโยงของภาคเอกชน
- พัฒนาเทคโนโลยีเอง เพื่อสะสมองค์ความรู้

การพันลวดของ SRM



วงจรสมมูลของ SRM



สมการแรงดันเฟสของมอเตอร์ คือ

$$U_{ph}(t) = r_{ph}(t) \cdot i_{ph}(t) + U_{L_{ph}}(t)$$

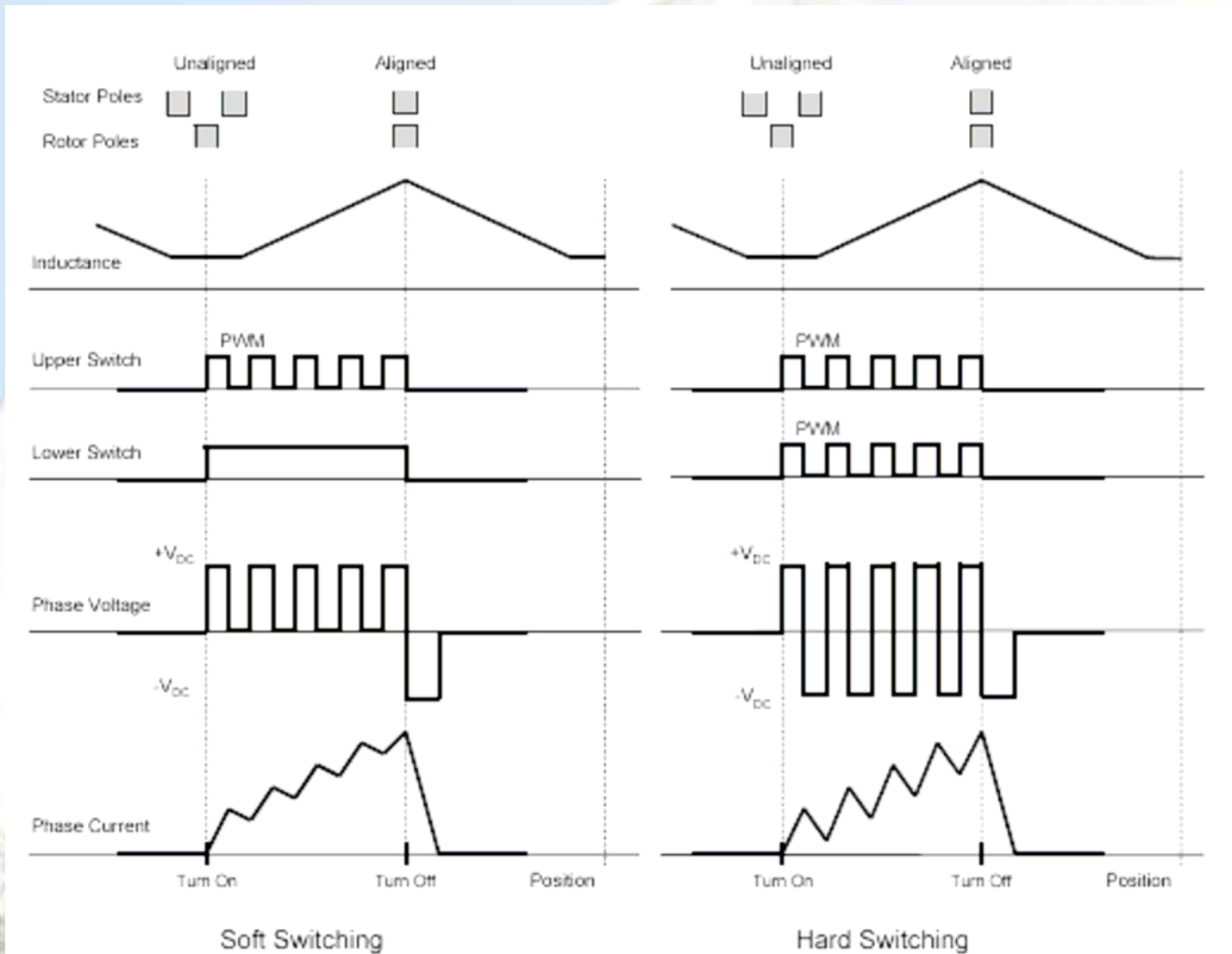
โดยที่

$$U_{L_{ph}}(t) = \frac{d\psi_{ph}(i_{ph}, \theta)}{dt} = \frac{\partial \psi_{ph}(i_{ph}, \theta)}{\partial i_{ph}} \cdot \frac{di_{ph}}{dt} + \frac{\partial \psi_{ph}(i_{ph}, \theta)}{\partial \theta_{ph}} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

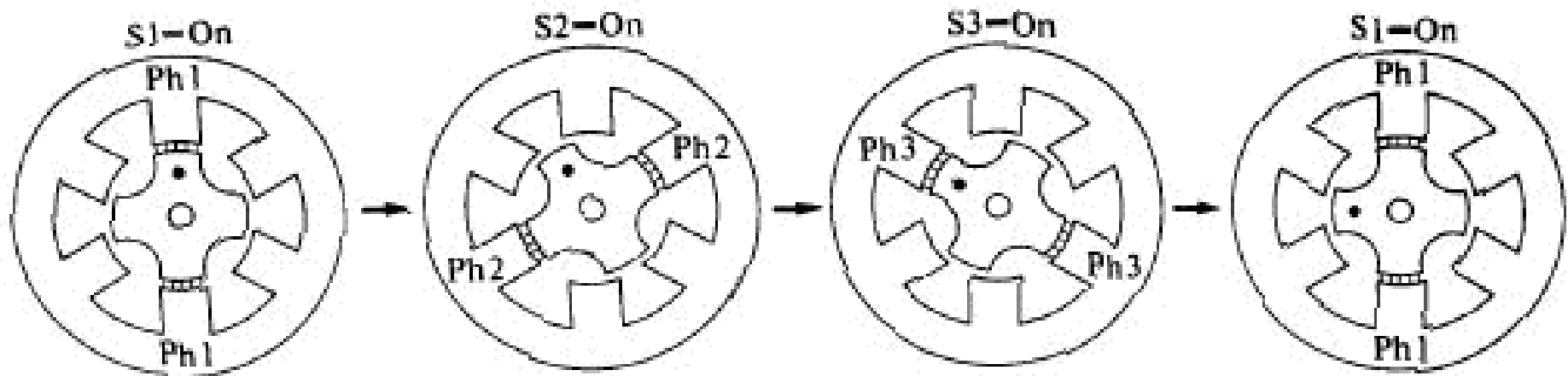
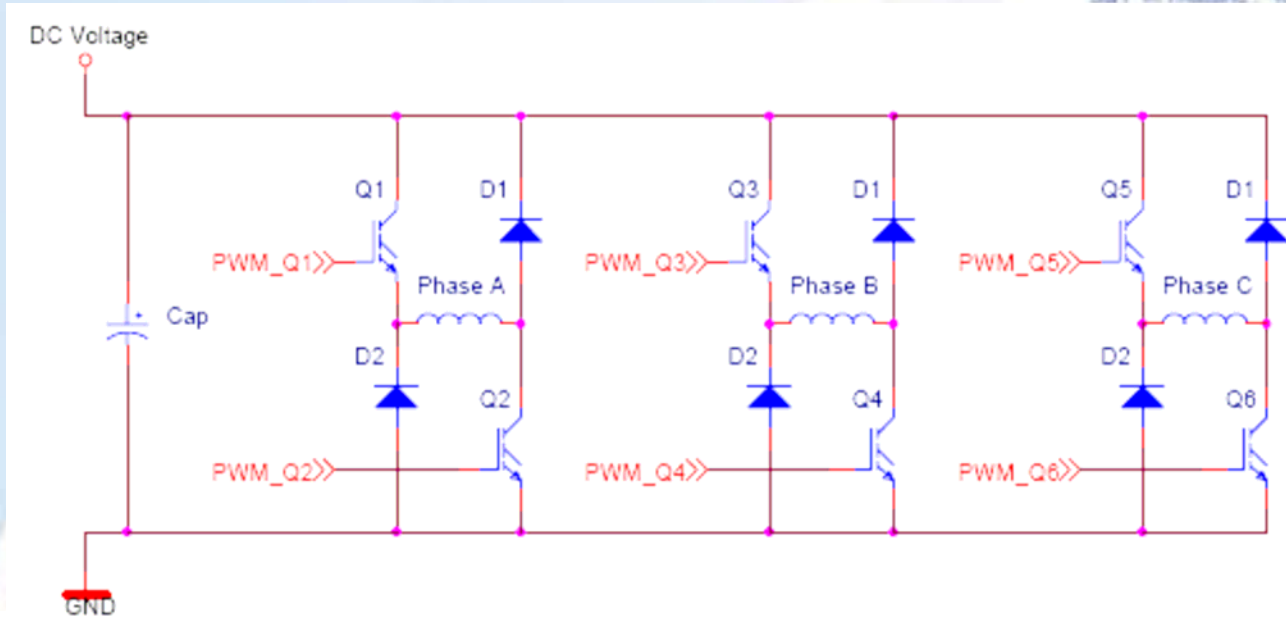
สมการแรงบิดของ SRM คือ

$$T = \frac{i_{ph}^2}{2} \frac{dL_{ph}}{d\theta}$$

รูปแบบการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์

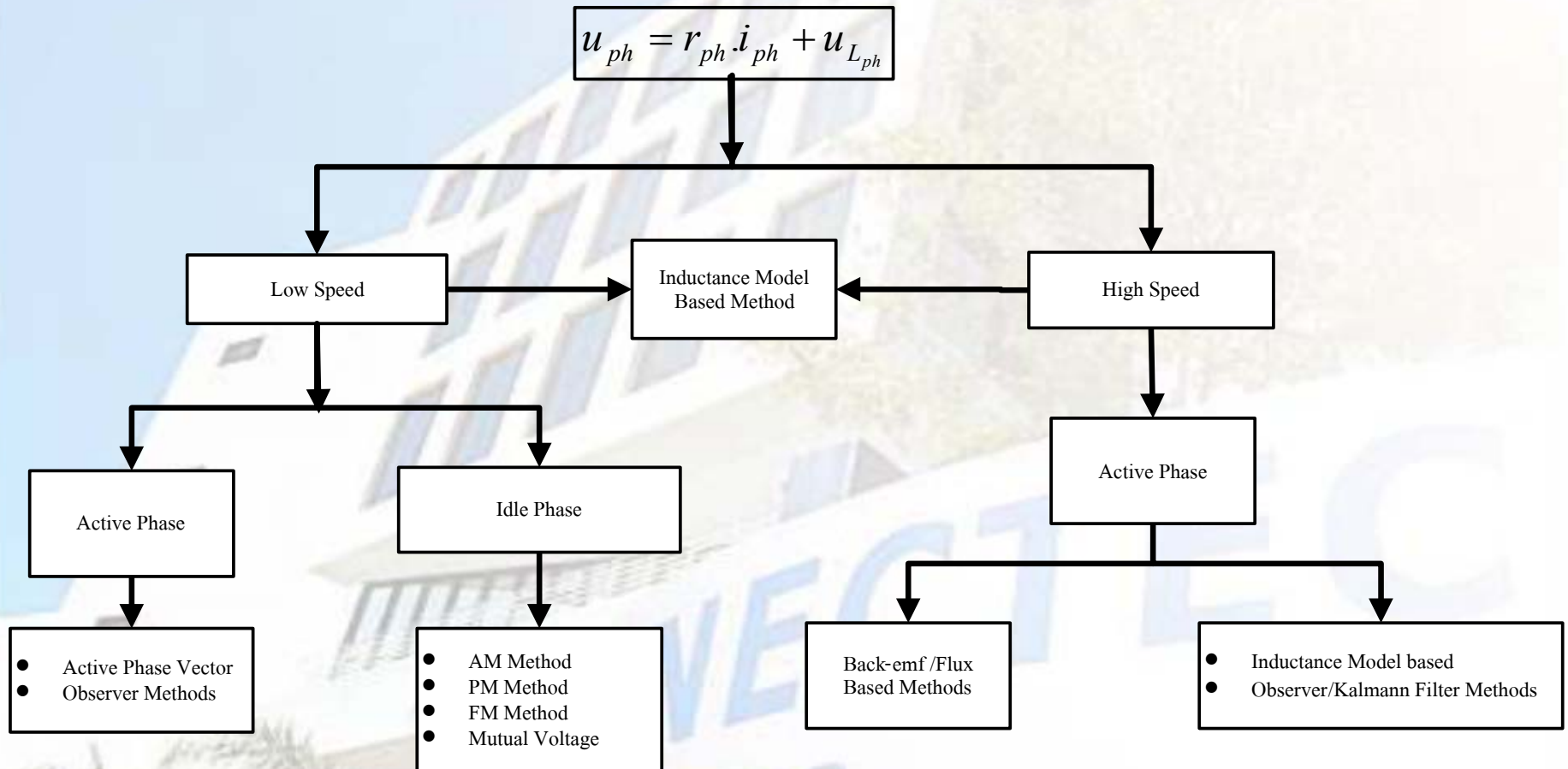


วงจรกำลังและการหมุนของ SRM 3-phase

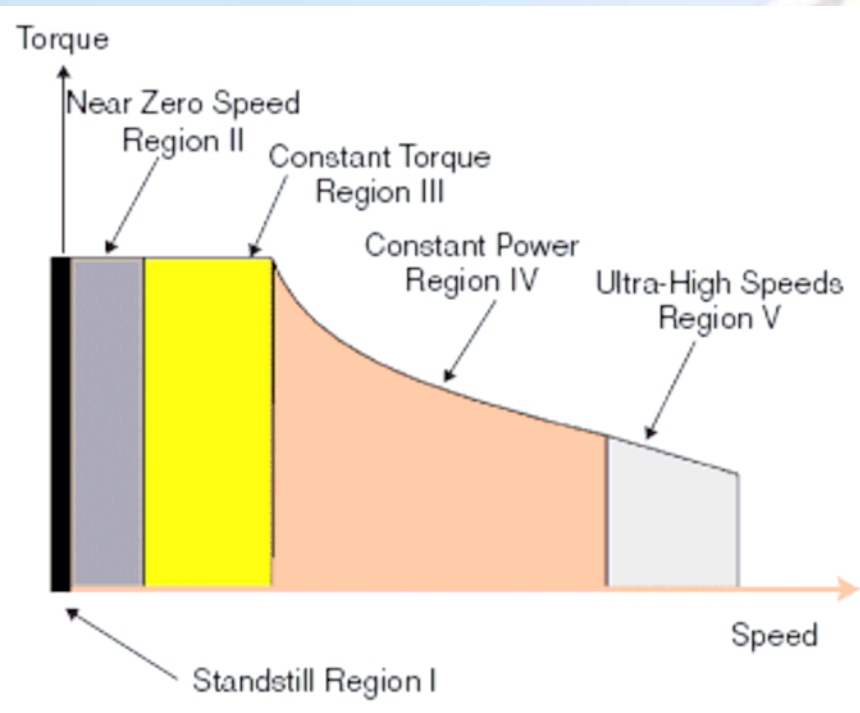


สรุปเป้าหมายในการออกแบบวงจร ได้ดังนี้ คือ

- เน้นที่สามารถลดจำนวนอุปกรณ์สวิตช์กำลัง
- ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- เพื่อลดการสูญเสียจากการสวิตช์
- เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน
- การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
- การลดขนาดตัวเก็บประจุที่บัลไฟตรง
- สามารถควบคุมการทำงานได้ทั้ง **4 Quadrant**



เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ



Region	Phase Voltage Equation
Region I	$V = Ri + \left(L^* + i \frac{dL^*}{di} \right) \frac{di}{dt}$
Region II	$V = Ri + \left(L(i, \theta) + i \frac{dL}{di} \right) \frac{di}{dt}$
Region III	$V = \left(R + \omega \frac{dL}{d\theta} \right) i + \left(L(i, \theta) + i \frac{dL}{di} \right) \frac{di}{dt}$
Region IV	$V = \left(R + \omega \frac{dL}{d\theta} \right) i + L(\theta) \frac{di}{dt}$
Region V	$V = \omega \frac{dL}{d\theta} i + L(\theta) \frac{di}{dt} + \sum M_j \frac{dj}{dt}$

กราฟ แรงบิดและความเร็วของมอเตอร์

การคำนวณในแต่ละย่านความเร็ว

ในการประมาณค่าตำแหน่งโรเตอร์มีส่วนที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีก คือ

- ผลของค่าผิดพลาดจากวิธีการอินทิกรัลสมการแรงดัน ในการประมาณค่าเส้นแรงแม่เหล็ก
- ความผิดพลาดจากการวัดค่าแรงดันและกระแสมอเตอร์
- ผลของการสูญเสียภายในตัวมอเตอร์ที่ความเร็วสูงๆ ทำให้การจำลองโมเดลมอเตอร์ผิดไป
- การให้มอเตอร์เริ่มทำงานขณะมอเตอร์หยุดนิ่งโดยไม่เกิดผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์

สรุป

ถึงแม้ว่ามอเตอร์ชนิดนี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้างแต่ก็มีเทคโนโลยีต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อเสียเหล่านั้น

- ✓ การใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ
- ✓ การใช้เทคโนโลยีวงจรแปลงผัน
- ✓ การใช้เทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์

ดังนั้น ด้วยสมรรถนะที่ดีของ SRM ร่วมกับระบบควบคุมที่ใช้ หน่วยประมวลผลที่มีสมรรถนะในการคำนวณสูงขึ้น ซึ่งมีราคาที่ลดต่ำลง โดยการเพิ่มอัลกอริทึมในการควบคุมต่างๆ และก็ระบบแปลงผันพลังงานซึ่งจะถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นๆ รวมทั้งการใช้งานโปรแกรมต่างๆ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบ เพื่อลดระยะเวลาในการพัฒนาและสร้างต้นแบบ SRM จึงเป็นคู่แข่งของมอเตอร์ประเภทอื่นๆที่น่าสนใจและถูกจับตามองอย่างมาก

ด้วยศักยภาพพื้นฐานของบุคลากรและอุตสาหกรรมมอเตอร์ภายในประเทศ คาดว่าจะมีศักยภาพที่สูงเพียงพอ กับการพัฒนาและผลิตมอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมไทย และเป็นการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน ในภายหน้าต่อไป

สรุป

- ถึงแม้ว่ามอเตอร์ชนิดนี้ยังมีข้อเสียอยู่บ้างแต่ก็มีเทคโนโลยีต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดข้อเสียเหล่านั้น
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีการควบคุมแบบไม่ใช้ตัวตรวจจับ
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีวงจรแปลงผัน
 - ✓ การใช้เทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์
- ด้วยสมรรถนะที่ดีของ SRM บวกกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านต่างๆ SRM จึงเป็นของมอเตอร์ประเภทอื่นๆที่น่าสนใจและถูกจับตามองอย่างมาก
- ด้วยศักยภาพพื้นฐานของบุคลากรและอุตสาหกรรมมอเตอร์ภายในประเทศ คาดว่าจะมีศักยภาพที่สูงเพียงพอ กับการพัฒนาและผลิตมอเตอร์สวิตช์รีลัคแทนซ์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมไทย และเป็นการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน ในภายหน้าต่อไป