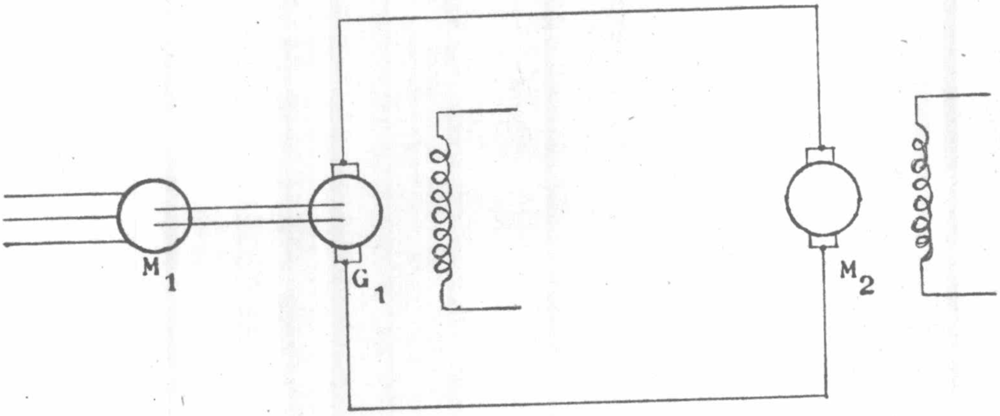
บทที่ 1

บทนำ

ในพ.ศ. 2502 บริษัท General Electric Co. ได้ทำการผลิตสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอนขึ้นมาเรียกว่า thyristor ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะสมบัติคล้ายกับซิลิกอนไดโอด คือยอมให้กระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียวจากอโนดไปยังคาโธดเท่านั้น นับแต่นั้นเป็นต้นมา thyristor ก็ได้เข้ามามีบทบาทในการควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าอย่างมากมาย มีการพัฒนาการทางด้านเทคนิคโดยการนำ thyristor มาใช้เป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงที่ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรมแทนระบบ Ward-Leonard ระบบ Ward-Leonard นี้ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และนำ output ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงให้กับมอเตอร์กระแสตรงตัวที่ต้องการควบคุมความเร็ว วงจรการต่อระบบนี้แสดงในรูป 1.1 ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงจะถูกควบคุมโดยค่าของกระแสในขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเมื่อค่าของกระแสเปลี่ยนไปก็จะทำให้แรงดัน output ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง เป็นผลทำให้เปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ได้ และการกลับทิศทางของการหมุนก็สามารถกระทำได้โดยการกลับทิศทางของกระแสในขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ถึงแม้ว่าระบบ Ward-Leonard จะใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงได้ดี แต่ก็มีราคาแพงเนื่องจากต้องใช้เครื่องกลไฟฟ้าถึง 3 ตัว จึงได้มีการนำเอาเทคนิคทางการตัดไฟโดยใช้ mercury arc ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียว มาทำเป็น converter วงจรแสดงในรูป 1.2 ขนาดของแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณทางกริดของ mercury arc ซึ่งก็มีหลักการในการควบคุมความเร็วเหมือนกับระบบ Ward-Leonard และรูป 1.3 แสดงถึงวิธีการเปลี่ยนทิศทางการหมุนโดยการกลับขั้วของแรงดันอาร์เมเจอร์หรือทิศทางของกระแสในขดลวดสนามแม่เหล็ก

เนื่องจากการควบคุมความเร็วแบบเดิมดังได้กล่าวมาแล้วนั้นมีราคาแพง และ อุปกรณ์ที่ใช้เช่น mercury arc ก็มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากและราคาของอุปกรณ์ไม่สามารถจะทำให้ถูกลงกว่านี้อีกได้แล้ว จึงได้มีผู้พยายามนำอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำซึ่งมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาทำให้สะดวกต่อการใช้งาน และนับวันก็จะมีราคาถูกลง มาใช้ในการควบคุมแทนอุปกรณ์พวกหลอดอีเลคตรอน กล่าวคือหลังจากที่ได้มีการผลิตสารกึ่งตัวนำ thyristor ขึ้นมาแล้วประมาณ 2 ปี มีผู้นำ thyristor ไปใช้ในวงจร

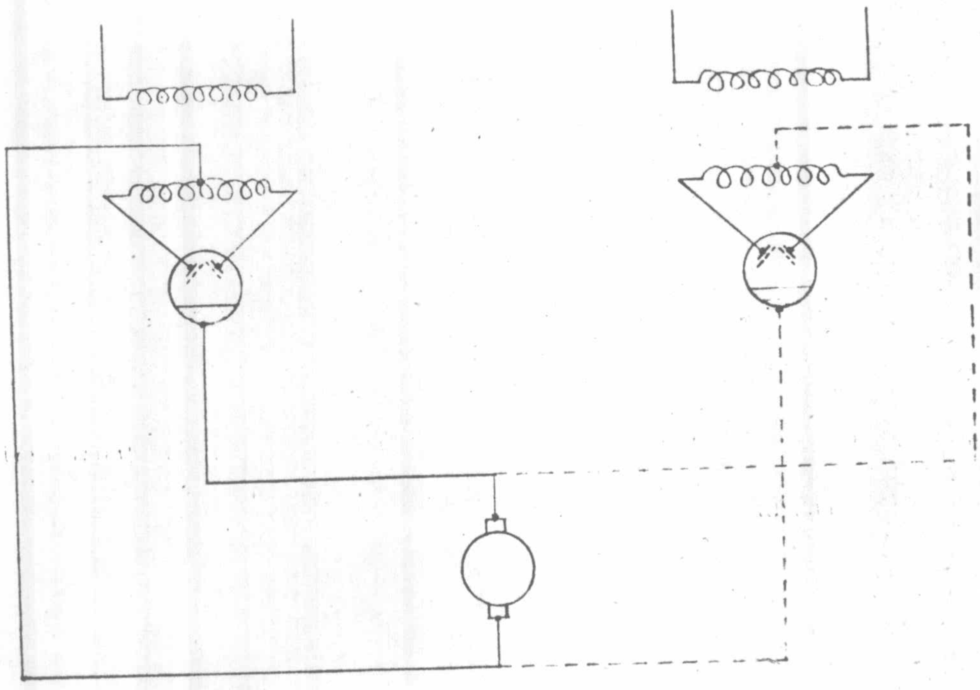


M_1 มอเตอร์กระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

G_1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

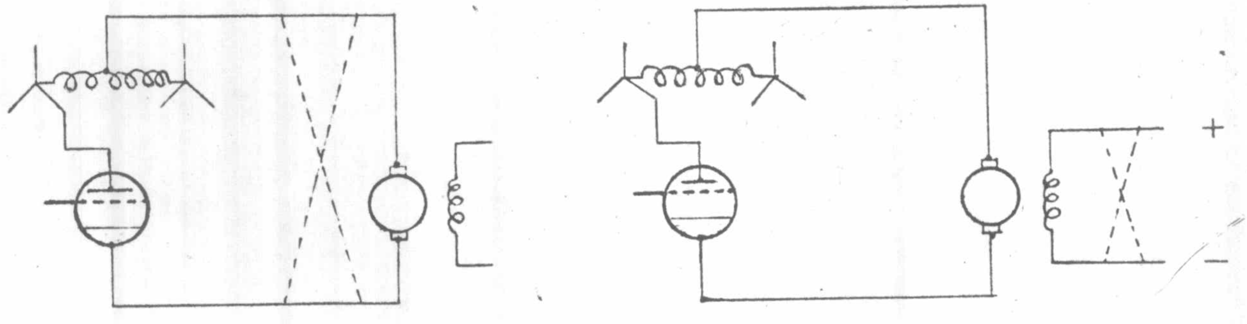
M_2 มอเตอร์กระแสตรง

รูป 1.1 วงจรการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้ระบบ Ward-Leonard



รูป 1.2 การใช้ mercury arc converter

ในระบบ Ward-leonard



โดยการกลับขั้วของแรงดันอาร์เมเจอร์

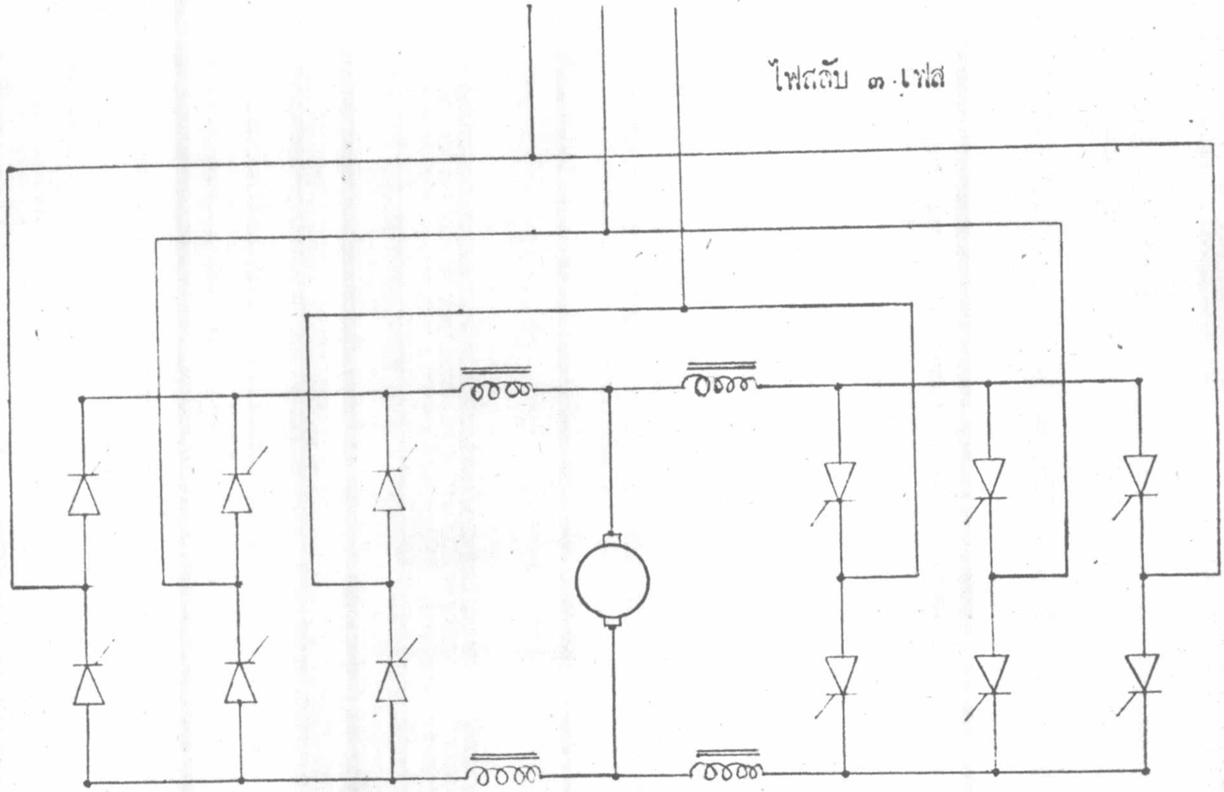
โดยการกลับทิศของกระแสในขดลวดสนามแม่เหล็ก

รูป 1.3 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง

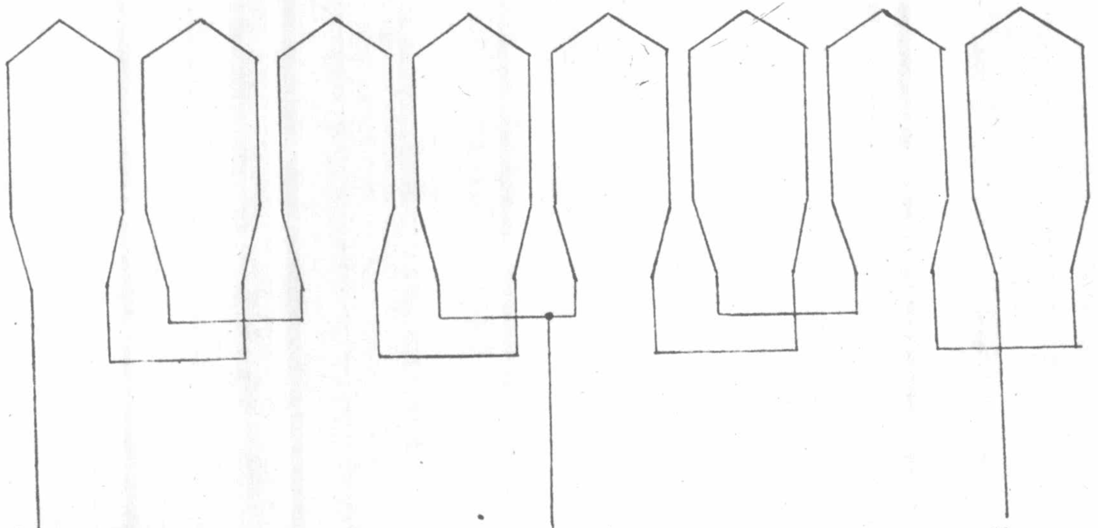
rectifier-inverter สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง[4] โดยใช้กระแสสลับ 3 เฟส เป็นแหล่งจ่ายไฟ วงจร rectifier-inverter นี้ใช้ thyristor ต่อเป็นแบบ bridge 2 วงจร โดยวงจรหนึ่งสำหรับทำหน้าที่เป็น rectifier และอีกวงจรหนึ่งสำหรับทำหน้าที่เป็น inverter ดังแสดงในรูป 1.4

นอกจากจะใช้ thyristor ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแล้ว ยังใช้ thyristor เป็นวงจร "d.c link" ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ ซึ่งแต่เดิมการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับนั้นใช้วิธีเปลี่ยนจำนวนขั้วของสนามแม่เหล็ก โดยการใช้หลักการ pole amplitude modulation[10] ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ต่อดังรูป 1.5 เมื่อขดลวดต่อแบบอนุกรม (แหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับปลาย x,y) ก็จะทำให้มอเตอร์มี 8 ขั้ว และเมื่อต่อแบบขนาน (แหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับ z และ x,y ซึ่งต่อร่วมกัน) ก็จะทำให้มอเตอร์มี 6 ขั้ว ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนเป็น 8/6 เท่าของความเร็วเดิมเมื่อมี 8 ขั้ว ข้อเสียของการควบคุมความเร็ววิธีนี้ก็คือไม่สามารถควบคุมความเร็วแบบ continuous ได้

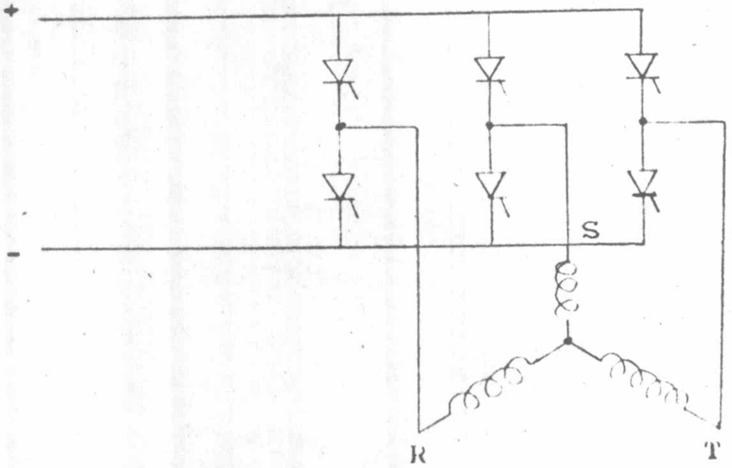
ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับโดยใช้ thyristor นั้นสามารถควบคุมได้อย่าง continuous เนื่องจากใช้วิธีเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ในรูป 1.6 เป็นวงจร converter ในวงจรใช้ thyristor 6 ตัวต่อแบบ bridge ซึ่ง thyristor ในแต่ละขาของวงจรจะถูกจุดชนวนให้นำกระแสเป็นsequence เพื่อที่จะทำให้แรงดันที่ปรากฏที่ขดลวดของมอเตอร์มีเฟสต่างกัน 120° ในวงจรนี้ thyristor ถูกทำให้หยุดนำกระแสโดยใช้แรงดันที่คร่อมตัวเก็บประจุมาไบแอสกลับแอโนด-แคโถด ทำให้กระแสหยุดไหลตามเวลาที่ต้องการ รูปร่างของแรงดัน output ที่ได้เป็น step ซึ่งแสดงในรูป 1.7 เนื่องจาก output เป็น step เมื่อใช้ทฤษฎี Fourier แยกออกเป็นเทอมของคลื่นรูปไซน์ หลาย ๆ เทอมรวมกันจะเห็นว่าจะมี harmonic ของคลื่นรูปไซน์ มาก จึงทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในมอเตอร์มาก จึงต้องพยายามลด harmonic โดยการทำให้ output ที่ได้มีรูปร่างใกล้เคียงกับคลื่นรูปไซน์ให้มากที่สุด ซึ่งก็มีวิธีทำโดยการต่อ inverter อีกตัวหนึ่ง ซึ่งมี output displace ไป 60° จาก output ของ inverter ตัวแรก จากการจัดของ output transformer จะทำให้ output ของ six phase inverter เป็นไปดังรูป 1.8 ซึ่งถ้ายิ่งมี phase มากขึ้นก็จะยิ่งทำให้ output ของ inverter มีรูปร่างเหมือนคลื่น



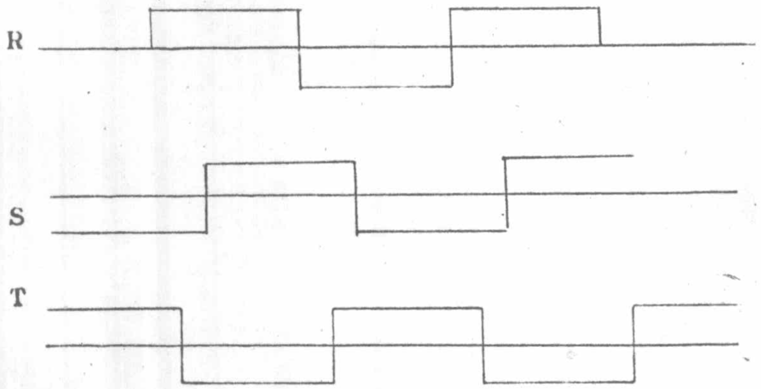
รูป 1.4 การใช้ thyristor ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง



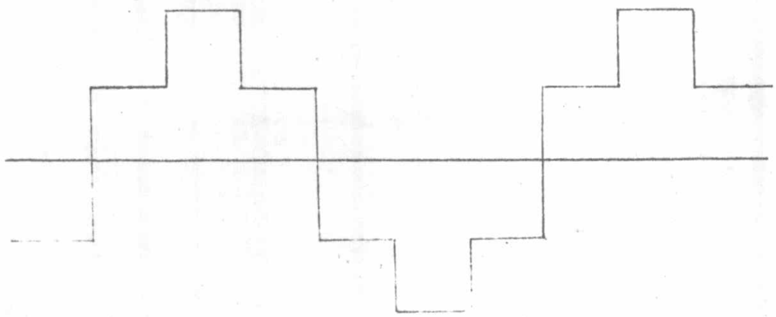
รูป 1.5 ชุดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้การควบคุมความเร็วแบบ pole amplitude modulation.



รูป 1.6 วงจร frequency inverter แบบเบื้องต้น



รูป 1.7 รูปร่างของแรงดัน output ของ frequency inverter

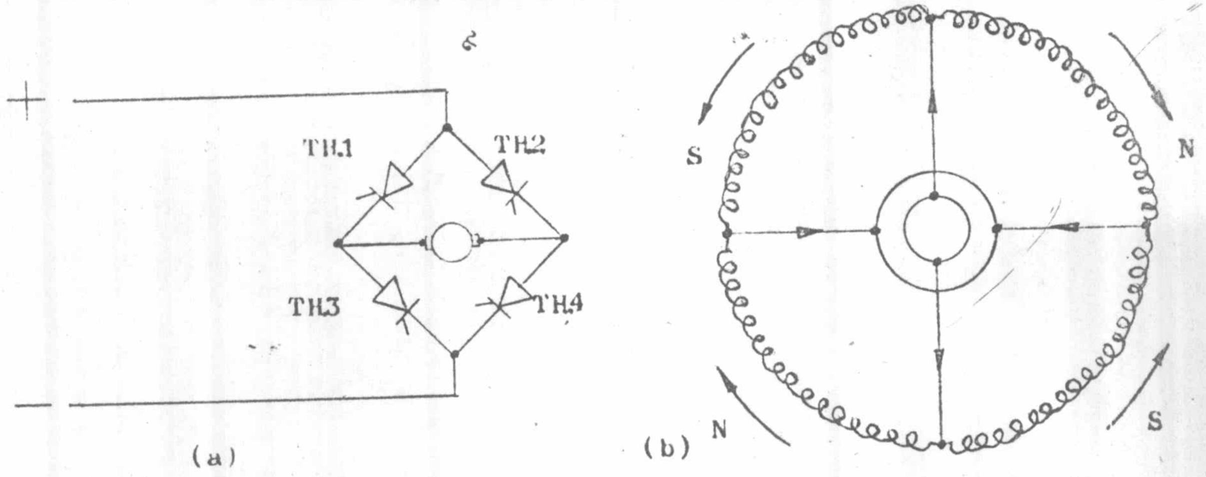


รูป 1.8 รูปร่างของแรงดัน output ของ six phase inverter

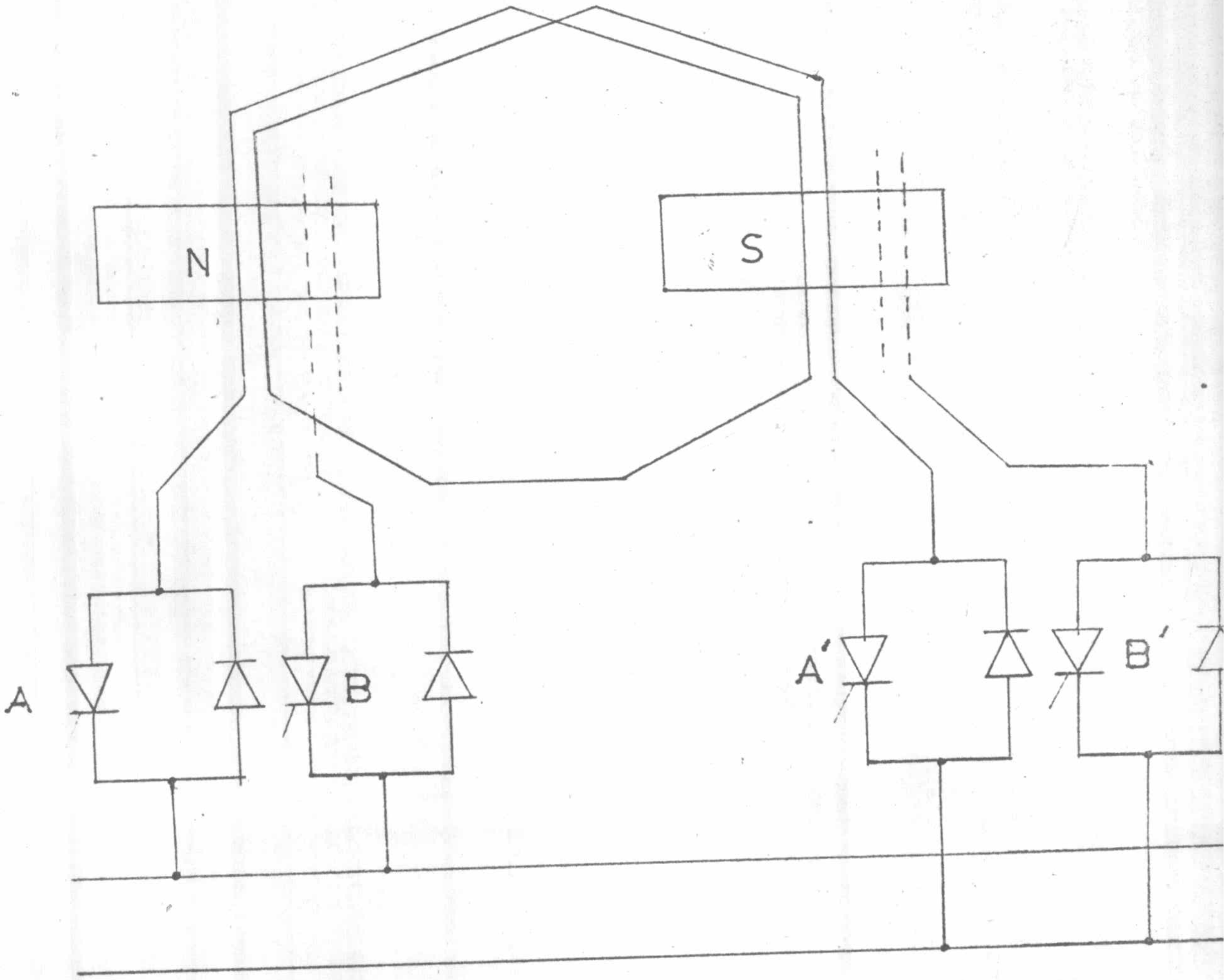
รูปไซน์มากขึ้น และความถี่ของ output ที่ได้สามารถควบคุมได้ด้วยการจุดชนวนที่เกทของ thyristor จึงสามารถนำวงจร converter นี้ไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับได้

ในงานทางด้านอุตสาหกรรมซึ่งต้องการควบคุมความเร็วของเครื่องกลไฟฟ้านั้นนิยมใช้วงจร frequency inverter ในการควบคุม เนื่องจากมอเตอร์กระแสสลับนี้สามารถสร้างได้ง่าย ราคาถูกและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ แต่ก็มีข้อเสียคือมีกำลังงานสูญเสียมากเนื่องจาก harmonic ของ output ของ frequency inverter และนอกจากนี้ถ้าเกิด commutation failure ในวงจร inverter ก็จะทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ส่วนมอเตอร์กระแสตรงนั้นสามารถควบคุมความเร็วได้หลายวิธีซึ่งกระทำได้ง่ายสะดวกแต่ก็ไม่ค่อยมีผู้นิยมมาใช้ในงานที่ต้องการควบคุมความเร็ว เนื่องจากมอเตอร์แบบนี้ต้องมีคอมมิวเตเตอร์จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง จึงได้มีการพัฒนาการนำเอา thyristor มาทำหน้าที่แทนคอมมิวเตเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ได้มีผู้พยายามศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการใช้ thyristor ทำหน้าที่แทนคอมมิวเตเตอร์อย่างมากมาย ซึ่งต่อไปนี้จะกล่าวถึงพัฒนาการทางด้านนี้

เมื่อเร็ว ๆ นี้ นาย Bhagwat[2] ได้เสนอวงจรที่ใช้ thyristor ทำหน้าที่แทนคอมมิวเตเตอร์ในมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้ thyristor ต่อเป็นแบบ bridge ดังรูป 1.9 ปลายของขดลวดอาร์เมเจอร์ถูกนำมาต่อกับวงแหวนเลื่อนเพื่อเป็นทางให้แหล่งจ่ายไฟเข้า ตามรูป 1.9 (b) เมื่อ $TH._1$ และ $TH._4$ ถูกจุดชนวนให้นำกระแส กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์จะไหลจากซ้ายไปขวา และถ้า $TH._2$ และ $TH._3$ ถูกจุดชนวนให้นำกระแส กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์จะไหลจากขวาไปซ้าย อย่างไรก็ตามการใช้วิธีนี้ก็มีข้อเสียคือเมื่อเกิด commutation failure ก็จะทำให้แหล่งจ่ายไฟตรงถูกลัดวงจร ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ ต่อมา นาย Lamp[7] ได้เสนอวงจรใช้ thyristor แทนคอมมิวเตเตอร์ ตามรูป 1.10 ปลายทั้งสองของขดลวดอาร์เมเจอร์ถูกนำมาต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟตามรูป มี static switch ซึ่งเป็น transducer ที่ให้สัญญาณไปจุดชนวนที่เกทของ thyristor A,B ให้นำกระแสเป็น sequence ตามเวลาที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์มีทิศทางตามเครื่องหมายลูกศรของ thyristor เมื่อโรเตอร์หมุนไป 180 electrical degree thyristor A' จะถูกจุดชนวนแทน thyristor A และ thyristor B' แทน thyristor B และเป็นดังนี้ต่อ ๆ ไป ดังนั้นจึงทำให้กระแสที่ไหล



รูป 1.9 วงจรใช้ thyristorควบคุมการกลับทิศทางของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์



รูป 1.10 วงจรใช้ thyristor แทนคอมมิวเตเตอร์

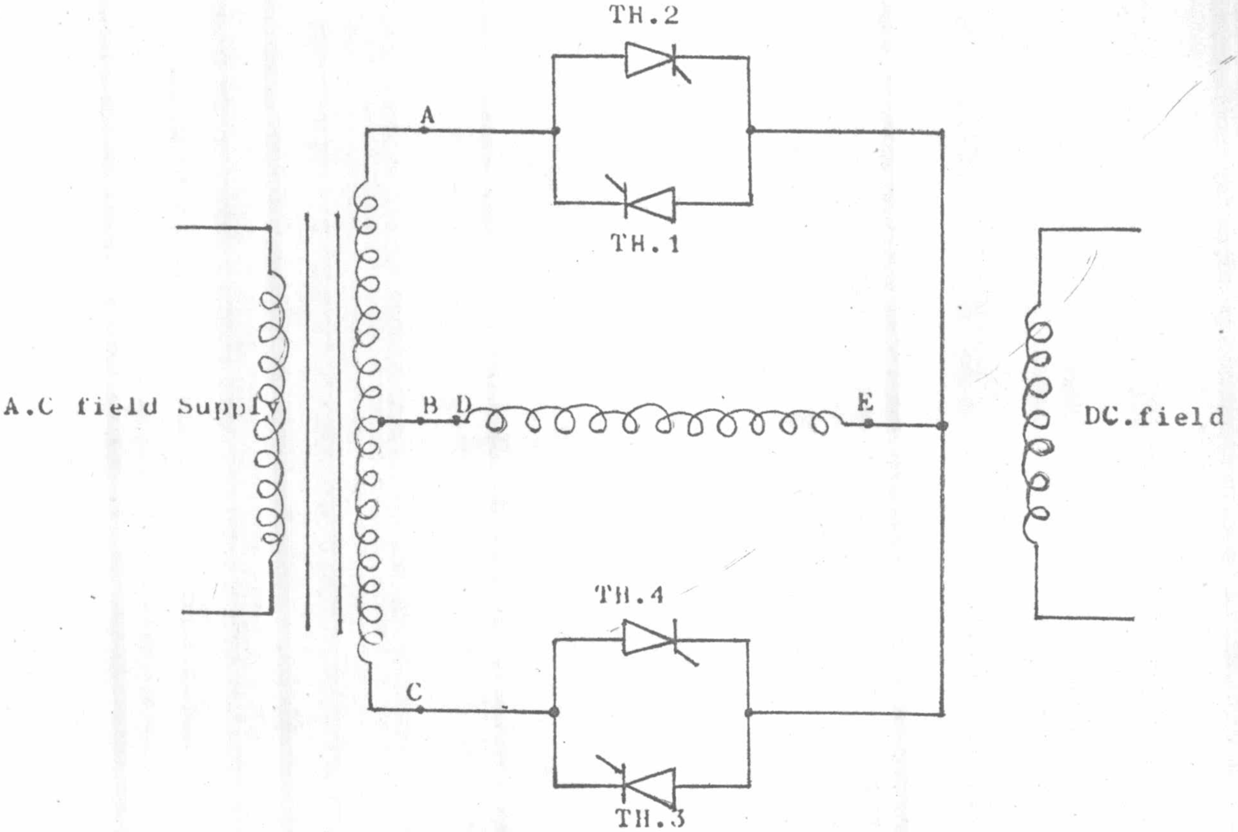
ในขดลวดอาร์เมเจอร์กลับทิศทาง ทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นยังมีทิศทางอยู่ในทิศทางเสริมกันกับแรงบิดเดิม เนื่องจาก coil side ไปอยู่ตรงกับขั้วแม่เหล็กชนิดตรงข้าม

มอเตอร์ชนิดนี้ใช้ป้อนด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ และ ลักษณะสมบัติของการควบคุมความเร็วมีลักษณะเหมือนมอเตอร์กระแสตรงแบบ shunt แต่อย่างไรก็ตาม กระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์มี harmonic มาก จึงทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียมากเมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงแบบมีคอมมิวเตเตอร์ และนอกจากนี้ยังเพิ่มกำลังงานสูญเสียเนื่องจากความสูญเสียกำลังงานใน thyristor และ ไดโอดที่ใช้ในวงจร

ต่อมาใน พ.ศ. 2511 ได้มีการพัฒนาโดยการใช้ thyristor ทำหน้าที่แทนคอมมิวเตเตอร์[3] ดังแสดงในรูป 1.11 เครื่องกลไฟฟ้าแบบนี้เป็นแบบ brushless คือ ไม่มี brush และ commutator เป็นลักษณะของเครื่องกลไฟฟ้าที่ประกอบด้วย repulsion motor และ dc. motor ผสมอยู่ในตัวเดียวกัน เมื่อจุดชนวน TH.1 และ TH.3 ให้นำกระแส กระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ DE จะไหลจาก D ไปยัง E และเมื่อโรเตอร์หมุนไป 180 electrical degree TH.2 และ TH.4 จะถูกจุดชนวนและทำให้กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์ไหลกลับทิศทาง คือไหลจาก E ไป D ซึ่งจะทำให้แรงบิดที่เกิดขึ้นมีทิศทางเสริมกันเสมอแม้ว่าจะไปอยู่ตรงกับขั้วแม่เหล็กชนิดตรงข้าม แรงบิดที่ได้จะได้ 2 ทาง คือทาง ac.field เป็นแรงบิดที่เกิดจาก repulsion motor และทาง dc.field เป็นแรงบิดที่เกิดจาก dc.motor

การใช้ thyristor ทำหน้าที่แทนคอมมิวเตเตอร์ได้มีการวิจัยศึกษาและทดลองอย่างมากมายดังได้กล่าวมาแล้ว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเรื่องราวของการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีคอมมิวเตเตอร์ โดยใช้ thyristor ควบคุมทิศทางของกระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์

หลักการ และ อุปกรณ์ที่ใช้ในมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีคอมมิวเตเตอร์ที่ทำการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป



รูป 1.11 วงจรใช้ thyristor แทนคอมมิวเตเตอร์