

การควบคุมความสามารถ ของคอมเพรสเซอร์



นายมะโน ละมุล
ผู้จัดการฝ่ายเครื่องทำความเย็น
บริษัท รีฟริโก้ อีควิปเมนท์ จำกัด

1. บทนำ

ความสามารถในการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ ในระบบการทำความเย็น หรือ การปรับอากาศ ต้องถูกออกแบบ เพื่อมีเงื่อนไขในการใช้งานที่ภาระความร้อนสูงสุด.

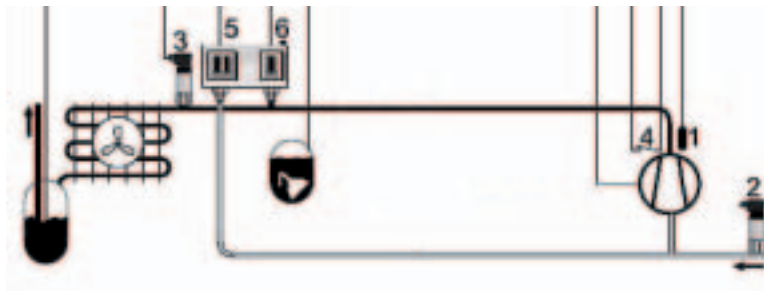
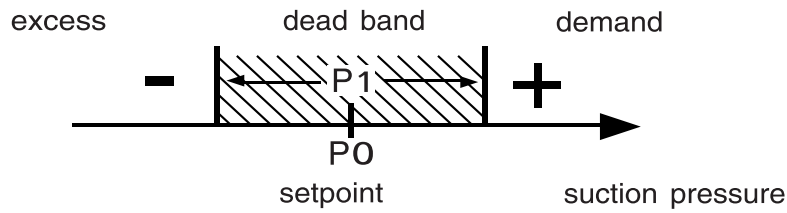
ผลลัพธ์ที่ตามมาเมื่อคอมเพรสเซอร์สามารถทำความเย็นได้มากกว่าภาระความร้อน (Part load condition) คือ เกิดการตัดและต่อกระแสไฟฟ้าที่ควบคุมคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้ง, ไม่ประหยัดพลังงาน, มอเตอร์คอมเพรสเซอร์เสียหาย เนื่องจากขดลวดมอเตอร์ระบายความร้อนไม่ทัน เพราะมอเตอร์ขนาดใหญ่ ต้องมีการตัดและต่อการทำงานไม่เกิน 6 - 8 ครั้งใน 1 ชั่วโมง และในการทำงานแต่ละครั้งต้องให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอย่างน้อย 3-5 นาที เพื่อระบายความร้อนขดลวดที่เกิดขึ้นจากการสตาร์ทมอเตอร์

ระบบควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาในเรื่องการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจริง ในบทความนี้จะกล่าวถึง การควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ, คอมเพรสเซอร์แบบสกรอลล์ และคอมเพรสเซอร์แบบสกรู ซึ่งคอมเพรสเซอร์แต่ละแบบจะมีเทคนิคในการควบคุมความสามารถในการทำความเย็นต่างๆ กันไป

2. ระบบการควบคุมคอมเพรสเซอร์

2.1 ระบบ On-off วิธีอย่างง่ายและแพร่หลายที่สุดในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กคือ การควบคุมแบบเปิด-ปิด การใช้งานคือ เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงค่าที่ผู้ใช้ตั้งไว้ ระบบควบคุมจะหยุดจ่ายไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์ และจ่ายไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์อีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างน้อยประมาณ 1-2 องศา จะพบมากในเครื่องปรับอากาศ หรือเครื่องทำความเย็นขนาดประมาณ 1-5 ตันทำความเย็น

2.2 ระบบควบคุมจากความดันด้านต่ำ (Suction pressure control) ใช้หลักการของการระเหย การเป็นไอของสารทำความเย็นเมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนในชุดคอยล์เย็น เมื่อภาระความร้อนมากจะทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอน้ำมากขึ้น ทำให้ความดันด้านดูดของระบบสูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของสารทำความเย็นในคอยล์เย็น และในทางกลับกันหากภาระความร้อนลดลงมากกว่าความสามารถของระบบ สารทำความเย็นอาจระเหยหรือกลายเป็นไอไม่หมด ความดันด้านดูดและอุณหภูมิด้านดูด อาจมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิคอยล์เย็น



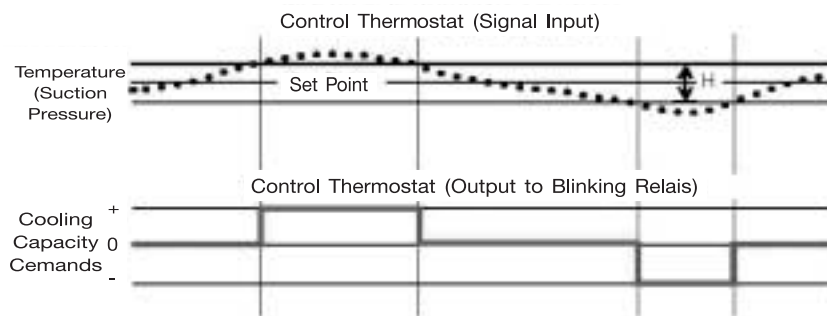
Inputs

- 1 = Discharge temperatures
- 2 = Suction pressure
- 3 = Discharge pressure
- 4 = Serial alarm inputs
- 5 = Low pressure alarm
- 6 = High pressure alarm

รูปที่ 1 การควบคุมความดันด้านดูด

จาก รูปที่ 1 ตัววัดความดันด้านดูด (Suction Pressure Sensor) เป็นตัวชี้วัดเพื่อให้ระบบควบคุมสั่งเพิ่ม หรือ ลดความสามารถในการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ โดยการใช้ความดัน

ด้านดูด เป็นตัวแปรในการควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์นี้จะให้ค่าที่แม่นยำ และมีประสิทธิภาพที่สุด



รูปที่ 2 แสดงการทำงานแบบควบคุมความดันด้านดูด

3. วิธีควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์

3.1 Reciprocating compressor

- + Hot-gas bypass
- + Cylinder head capacity regulator
- + Variable speed drive

3.2 Screw compressor

- + Internal control pistons
- + Control slider
- + Variable speed drive

3.3 Scroll compressor

- + Internal bypass
- + Intermittent lifting of scroll sets
- + Variable speed drive

4. การเลือกระบบควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์

การเลือกวิธีการควบคุมความสามารถนั้นขึ้นกับระบบที่ได้ออกแบบนั้นต้องเหมาะสมกับการเลือกชนิดของคอมเพรสเซอร์และการควบคุม โดยปัจจัยหลักในการใช้งานมีดังนี้

4.1 Control Performance ระบบควบคุมต้องสามารถตอบสนองความต้องการในการทำความเย็นทั้งในช่วงภาระความร้อนปกติ, มาก และน้อยกว่า ความสามารถของระบบได้แม่นยำ และทันเวลาตามต้องการ

4.2 Energy Consumption, Cost of Selected Solution ต้องประหยัดพลังงานค่าใช้จ่ายการติดตั้งและบำรุงรักษาให้น้อยที่สุด

4.3 Application Range of the Compressor ต้องตรวจสอบขอบเขตการทำงานของคอมเพรสเซอร์, ข้อจำกัดในการเดินเครื่อง เช่น จำนวนครั้งในการตัดต่อการทำงาน และเวลาที่คอมเพรสเซอร์ต้องทำงานอย่างน้อยกี่นาที ข้อมูลนี้

ผู้ผลิตและผู้ออกแบบระบบควบคุมต้องปรึกษาผู้ผลิตคอมเพรสเซอร์

อย่างไรก็ตามระบบควบคุมความสามารถในการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน และไม่มีการบำรุงรักษาหลังการติดตั้ง มักถูกเลือกเป็นอันดับต้นๆ ในการใช้งาน

5. กลไกในการควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์

ในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับกลไกของการควบคุมความสามารถในการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์แต่ละชนิดที่ยังนิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

5.1 Reciprocating compressor

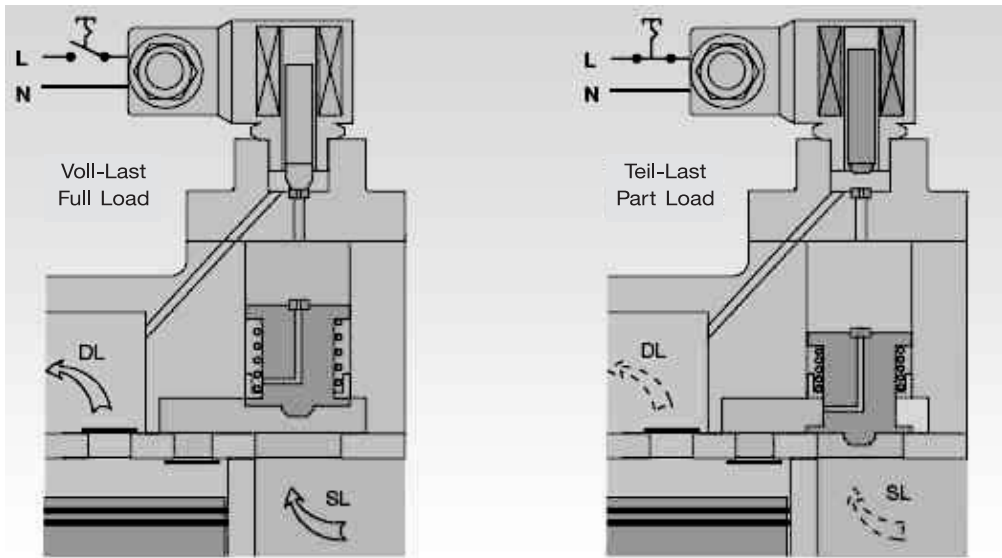


สำหรับคอมเพรสเซอร์ แบบ 4 , 6 และ 8 ลูกสูบ จะใช้ 2 ลูกสูบหรือชุด 1 ฝาลูกสูบ (1 ชุดฝาลูกสูบ จะมีลูกสูบอยู่ภายใน 2 ลูก) วิธีดังกล่าวนี้หลักการคือการยกเลิกการทำงานของโพรงด้านดูดของชุดลูกสูบบางชุด Block the suction channels

ในช่วง Full load operation คอมเพรสเซอร์จะทำงานกับทุกชุดลูกสูบ โซลินอยด์วาล์วจะไม่ถูกป้อนสัญญาณไฟฟ้า ไอสารทำความเย็นจากชุดคอยล์เย็นทั้งหมดจะถูกระบายผ่านชุดวาล์วอย่างเต็มความสามารถ

ในช่วง Part Load Operation โซลินอยด์วาล์วจะถูกป้อนสัญญาณไฟฟ้าเหนี่ยวนำวาล์วลูกศรให้ความดันด้านส่งของระบบเองมากปิดโพรงด้านดูด ดังนั้น จะไม่มีการดูดและจ่ายสารทำความเย็นในชุดลูกสูบนี้ แม้ว่าชุดลูกสูบอื่นจะตัวมันเองยังคงเลื่อนขึ้นและลงตามมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ซึ่งปริมาณสารทำความเย็นที่ไม่ไหลผ่านชุดลูกสูบนี้ ทำให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานลดลง ส่วนการควบคุมโซลินอยด์วาล์วนี้ใช้ตัวควบคุมแรงดันด้านต่ำ Low pressure switch หรือ 2-step thermostat ก็ได้



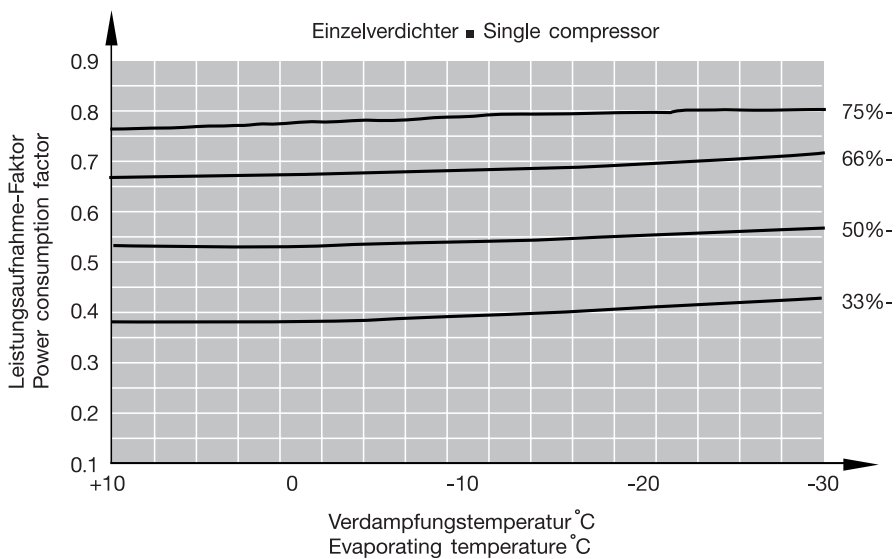


รูปที่ 3 แสดงการทำงานปกติและการยกเล็กฝาสูบ

แล้วแต่การเลือกใช้และลักษณะการใช้งาน จากที่กล่าวมาแล้วว่า สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบ 4 ลูกสูบ จะสามารถควบคุมระดับการทำความเย็นได้ 50-100% ส่วนคอมเพรสเซอร์แบบ 6 ลูกสูบ จะสามารถควบคุมระดับการทำความเย็นได้ 33-66-100% เป็นต้น

การควบคุมลักษณะนี้จะมีรูปแบบการควบคุมเป็นแบบขั้นๆ เช่น 50-100% ดังนั้นการเลือกใช้กับภาระความร้อนที่มีลักษณะคล้ายๆ กันนี้จะทำให้

เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และอัตราการใช้พลังงาน เมื่อยกเล็กการทำงานของฝาสูบดูจาก รูปที่ 4 ข้อแนะนำในการการยกเล็กฝาสูบนานๆ จะมีผลต่อคอมเพรสเซอร์คือ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ยังคงมีการหมุนที่รอบคงที่ตามปกติ เกิดความร้อนสะสมในชุดขดลวด เนื่องจากปริมาณการไหลเวียนของสารทำความเย็นผ่านชุดขดลวดลดลง เนื่องจากมีการดูดอัดลดลงเช่น 50% Load ซึ่งอาจจะต้อง



รูปที่ 4 การใช้พลังงานของการควบคุมแบบใช้ฝาสูบ

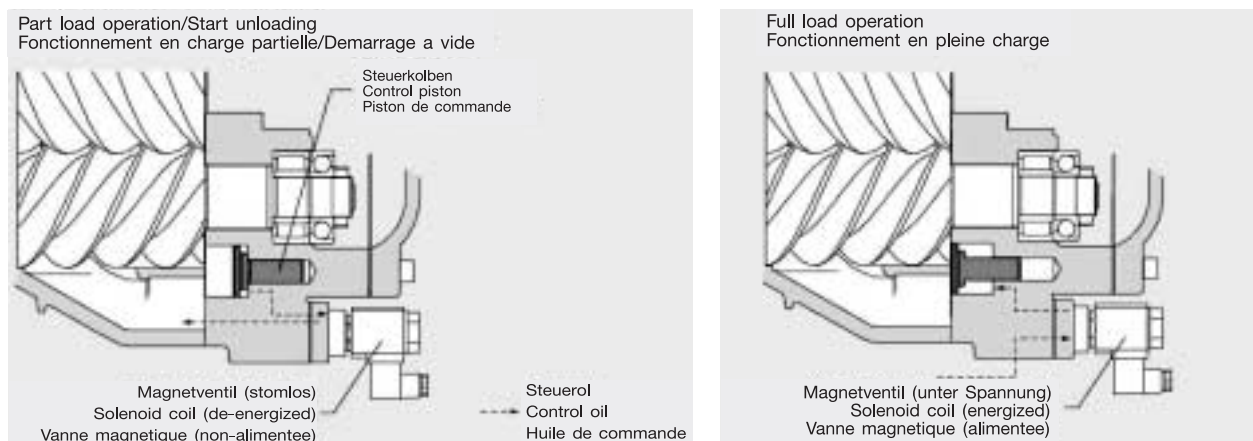
ใช้การระบายความร้อนตัวคอมเพรสเซอร์เพิ่มเติม จึงควรศึกษาจากผู้ผลิตคอมเพรสเซอร์เพื่อตรวจสอบ ขอบเขตการทำงานอีกครั้ง

5.2 Screw compressor

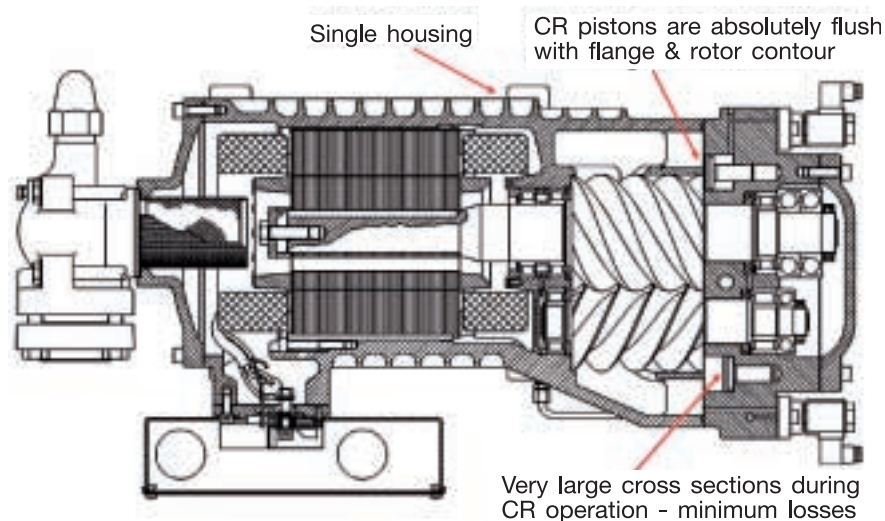


คอมเพรสเซอร์แบบสกรูในช่วงการทำงานที่ภาระ น้อยใช้การลดปริมาณการดูดหรือการลดปริมาณ การอัดไอสารทำความเย็น เพื่อให้มีการส่งผ่าน ปริมาณมวลไอสารทำความเย็นลดลงตามภาระ ความร้อนที่ลดลงโดยใช้ ลูกสูบควบคุม Piston Control และ การใช้ลูกสูบควบคุมแบบเลื่อน Control Slider

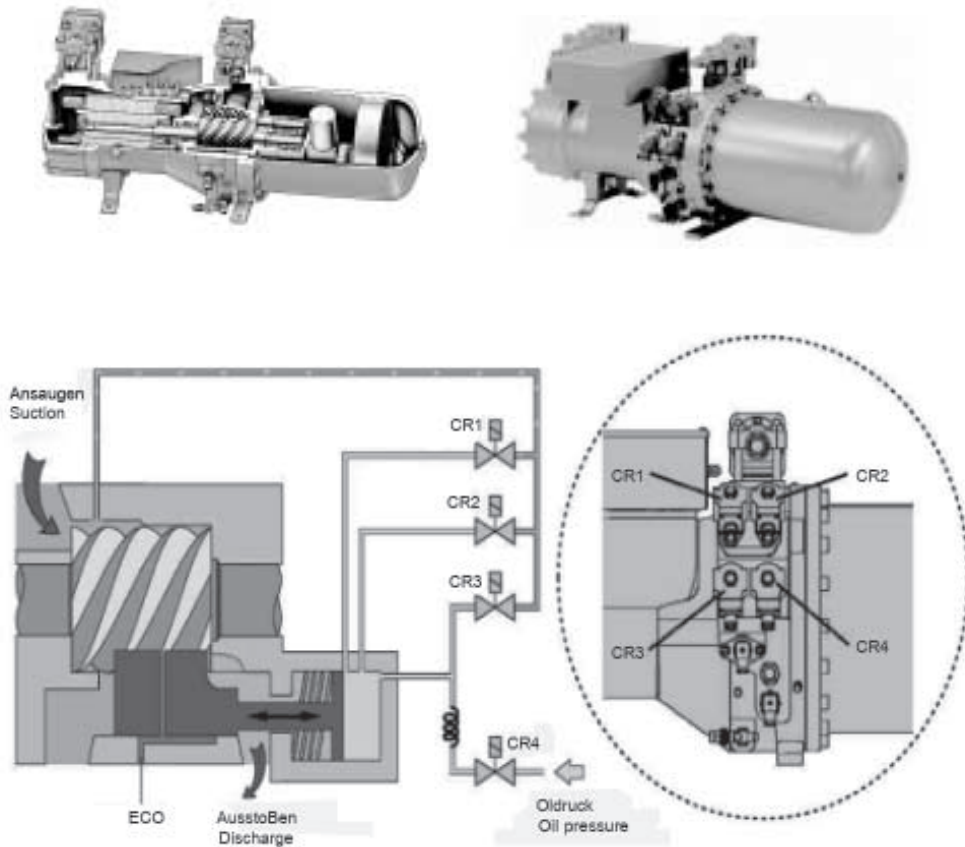
เมื่อชุดลูกสูบควบคุมทำงาน จะทำให้โพรง ด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ถูกเปิดกว้างดูดไอสาร ทำความเย็นเต็มความสามารถ แต่เมื่อชุดลูกสูบ หยุดทำงานจากสัญญาณควบคุมเช่น ความดัน ด้านดูดลดลง Part load ลูกสูบควบคุมจะถูกเลื่อน ไปลดปริมาณการดูดโดยทันที ระบบควบคุมแบบนี้ เป็นเป็นระดับ Step control คล้ายๆ กับแบบ คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ ช่วงการควบคุมความ สามารถการทำความเย็นสามารถทำได้ เพียง 50-75-100% และต้องมีการตรวจสอบขอบเขตในการ ทำงานของคอมเพรสเซอร์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5 Piston control for unload / load operation



รูปที่ 6 Screw compressor with piston control

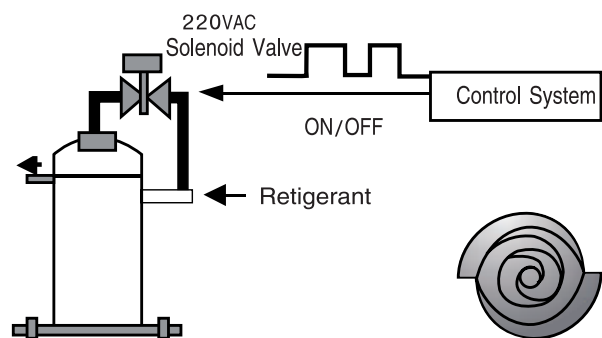


รูปที่ 7 Screw compressor with slider control

ระบบควบคุมโดยใช้ Slider เลื่อนไปมา เพื่อลดและปรับแต่งช่องทางดูดของคอมเพรสเซอร์ เป็นระบบทางกลไกที่ทำให้ระบบควบคุมเป็นเชิงเส้นมากที่สุด Linear stepless capacity control ซึ่งลักษณะนี้เองสามารถทำการควบคุมความสามารถของคอมเพรสเซอร์ได้ทั้งแบบเป็นขั้นๆ 4-step Control (25-50-75-100%) และแบบเชิงเส้น (25-100%) ขึ้นกับการควบคุมการเคลื่อนที่ของ slider ซึ่งใช้แรงดันของน้ำมันคอมเพรสเซอร์ในตัวเอง และแรงดันด้านส่ง โดยการใช้พลังงานในช่วงภาระน้อยจะเป็นสัดส่วนใกล้เคียงกับความสามารถในการทำความเย็นดีกว่าระบบอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้น แต่ด้วยการหมุนที่รอบคงที่ของคอมเพรสเซอร์ ช่วงขอบเขตการลดความสามารถยังต้องถูกควบคุมและพิจารณาเช่นเดียวกับกับคอมเพรสเซอร์ลูกสูบ

5.3 Scroll compressors

หลักการควบคุมการใช้งานช่วงภาระความร้อนน้อย (Part load) ของคอมเพรสเซอร์แบบสกรอลล์ มีหลักการคล้ายๆ กับคอมเพรสเซอร์แบบสกรูคือ ใช้การส่งผ่านสารทำความเย็นจากด้านบนสูง (Internal bypass system)



รูปที่ 8 วงจรของคอมเพรสเซอร์สกรอลล์

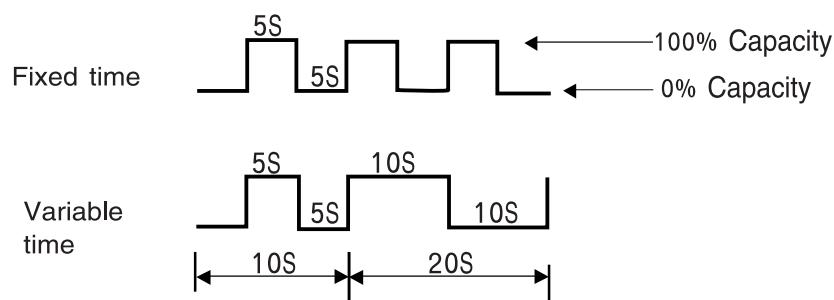
รูปแบบการทำงานเช่นนี้ต้องอาศัยวงจรควบคุมแบบใช้คาบเวลาในวงจรรอบทำงาน และใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่ดูดและอัดไหลลัดวงจรเป็นช่วงเวลา

การควบคุมใช้โซลินอยด์วาล์ว และวงจรบายพาสซึ่งต่อระหว่างด้านจ่าย และด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ การควบคุมจะแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ ช่วงมีภาระ (Loaded state) โซลินอยด์วาล์วที่ต่อคร่อมด้านจ่ายและด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ยังคงปิดอยู่คอมเพรสเซอร์ก็จะส่งผ่านสารทำความเย็นได้เต็มที่ และ ช่วงภาระน้อย (Unloaded state) โซลินอยด์วาล์วที่ต่อคร่อมด้านจ่ายและด้านดูดของคอมเพรสเซอร์จะถูกป้อนไปและทำให้เปิดทางให้สารทำความเย็นส่งผ่านจากด้านจ่ายที่มีความดันสูงกว่าสู่ท่อทางด้านดูด โดยความดันจะถูกลดลงเมื่อผ่านไส้ของโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งมีขนาดเล็กผ่านเข้าช่องทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ยังคงหมุนตามปกติ แต่วงจรภายในของสคัลเลอร์คอมเพรสเซอร์ถูกออกแบบให้สามารถยกตัวสูงขึ้นเมื่อมีแรงดันจากการบายพาส ซึ่งมีความดันสูงกว่าความดันปกติเล็กน้อยการยกตัวของวงจรภายในนี้จะทำให้ไอสารทำความเย็นส่วนหนึ่งไม่ถูกอัดตัว เปรียบเสมือนมอเตอร์ไม่ได้รับภาระน้ำหนักของไอสารทำความเย็นส่วนนี้ (No load) ทำให้ประหยัดพลังงาน

ช่วงเวลาการทำงาน ใน 10 วินาที ถ้ามีการทำงานแบบ loaded state 5 วินาที unloaded state 5 วินาที แสดงว่าคอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความสามารถเพียง 50% แต่ถ้า การทำงานแบบ Loaded State 8 วินาที Unloaded State 2 วินาที แสดงว่าคอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความสามารถ 80% การทำงานในลักษณะนี้สามารถลดความสามารถในการทำความเย็นได้ตั้งแต่ 10-100% ขึ้นกับการตั้งค่าตัวแปรช่วงเวลา เพื่อตอบสนองภาระความร้อนที่ต้องการ

6. การต่อขนานคอมเพรสเซอร์ (Parallel Operation of Compressors)

รูปแบบการต่อรวมท่อด้านดูดและท่อด้านจ่ายของคอมเพรสเซอร์ โดยจัดวางขนานการทำงาน ของคอมเพรสเซอร์ ใช้มากในเครื่องทำความเย็น และห้องเย็นของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ ที่มีภาระความร้อนในช่วงกว้างมากๆ คือในตอนกลางวัน จะรับความร้อนเต็มที่จากตู้โชว์สินค้า การไหลเวียนของอากาศร้อน และภาระจากคน ส่วนในช่วงกลางคืนจะรับความร้อนจากเฉพาะภาระสินค้าเท่านั้น โดยส่วนมากผู้ออกแบบจะแบ่งจำนวนคอมเพรสเซอร์ให้สามารถรับภาระได้ทุกช่วง เช่น ใช้คอมเพรสเซอร์ต่อขนานกัน 4 ตัว จะสามารถรับภาระได้ 4 ระดับ คือ 25-50-75-100%



รูปที่ 9 การทำงานของคอมเพรสเซอร์สคัลเลอร์

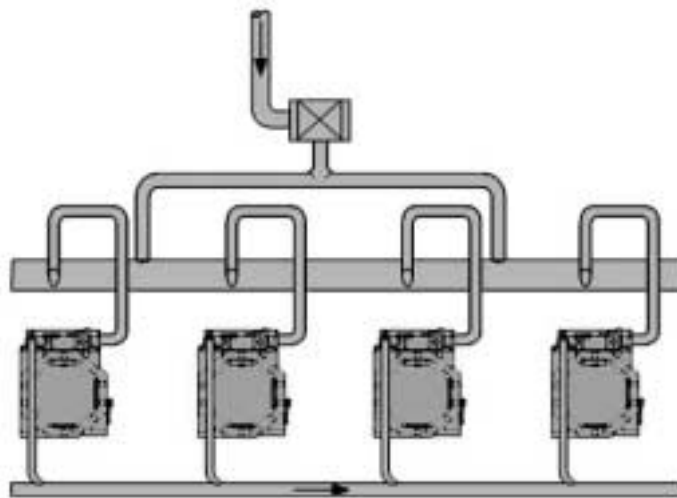
การควบคุมการทำงานส่วนมากนิยมใช้ความดันด้านดูดของระบบ (Suction pressure control) มาเป็นการเพิ่มหรือลดจำนวนการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยใช้ธรรมชาติของความร้อนคือ เมื่อเกิดภาวะความร้อนมากสารทำความเย็นจะเดือดมากจนทำให้ความดันด้านดูดสูงขึ้น และทางตรงกันข้ามหากภาวะความร้อนลดลง ไอสารทำความเย็นจะเดือดน้อยลงจนทำให้สารทำความเย็นอาจเดือดไม่หมด ทำให้ความดันด้านดูดลดต่ำลงจนต้องทำให้ลดจำนวนคอมเพรสเซอร์ที่ทำงานอยู่ในระบบให้สามารถส่งผ่านสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น

ข้อควรระวังคือ เรื่องการหล่อลื่นของคอมเพรสเซอร์ และการสมดุลย์วงจรน้ำยาและน้ำมันหล่อลื่นให้สามารถมีเพียงพอกับช่วงภาวะความร้อนที่น้อยที่สุดและช่วงที่มากที่สุด

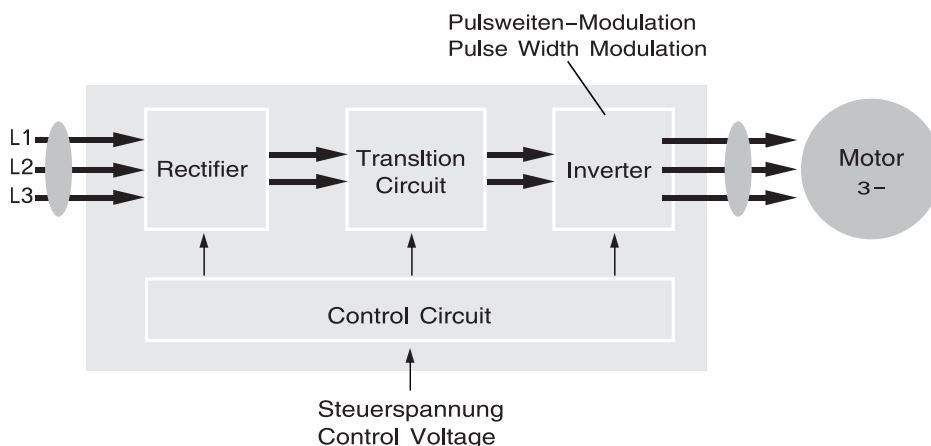
7. การควบคุมรอบการทำงาน (Variable Speed Drive)

การควบคุมรอบการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ทางไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติ 50Hz. 1450 rpm. 4 Poles.

การใช้การปรับรอบ หรือที่เรียกกันว่า อินเวอร์เตอร์ คือสามารถทำงานที่สภาวะเกินภาวะ



รูปที่ 10 การต่อขนานการทำงานคอมเพรสเซอร์

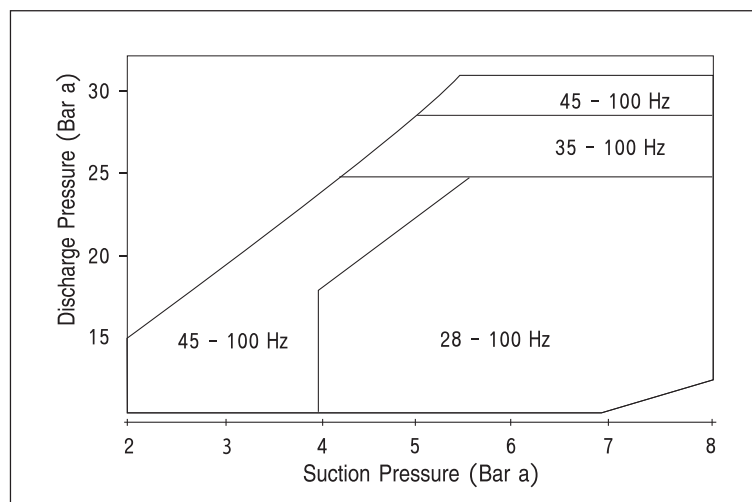


รูปที่ 11 วงจรการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ปกติได้ คือสามารถให้คอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความถี่ไฟฟ้ามากกว่า 50 Hz. โดยส่วนมากจะมีการปรับแต่งค่าระหว่าง 20-75 Hz. ช่วงของการปรับค่าความถี่นี้ต้องปรึกษาผู้ผลิตคอมเพรสเซอร์ทุกครั้งเนื่องจากต้องทราบถึงคุณสมบัติทั้งด้านไฟฟ้าและการระบายความร้อนชุดขดลวด และการหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเนื่องจาก มอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ต้องสามารถรับภาระได้ช่วงกว้าง ทั้งความถี่ไฟฟ้าต่ำสุดและสูงที่สุด

ออกตัว และจุดเด่นในการออกตัวอย่างราบเรียบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ (Soft Starting of Motor) จุดที่ควรระวังในการควบคุมความเร็วรอบ คือ การหล่อเย็นอุณหภูมิชุดขดลวดมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ และรอบการทำงานสูงและต่ำที่สุดที่จะเพียงพอในการหล่อลื่นภายในคอมเพรสเซอร์

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ จะให้ช่วงการทำงาน (Range of Capacity Control) มากกว่าระบบควบคุมแบบอื่นๆ



รูปที่ 12 ช่วงการปรับค่าความถี่ไฟฟ้า

การปรับเปลี่ยนค่าความเร็วรอบนิยมใช้ความดันด้านดูด เพื่อรักษาความดันนี้ให้คงที่แปรผันตามความเร็วรอบมอเตอร์ และภาวะความร้อน เมื่อรอบการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ลดลง ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์จะลดลงตามรอบเวลาทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยให้ปริมาณสารทำความเย็นไหลเวียนในระบบเหมาะสมกับภาวะความร้อนที่เกิดขึ้นจริง

จุดเด่นของการควบคุมการทำงาน โดยอินเวอร์เตอร์ คือ มีความแม่นยำสูงเนื่องจากใช้สัญญาณป้อนกลับ, ลดจำนวนครั้งในการตัดและต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งถ้าเป็นมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่จะกินกระแสมากในช่วง

เช่น การยกเลิกฝาสูบ (Cylinder Unload) หรือการบายพาสสารทำความเย็น (Internal Bypass System) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะความร้อนที่เกิดขึ้นเหมาะสมมากน้อยเพียงใดกับระบบต่างๆ และบุคลากรที่ควบคุม และซ่อมบำรุงระบบควบคุมแบบต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

A-600-1 **Competence in Capacity Control**, Bitzer GmbH, Sindelfindgen, Germany.

How the Copeland digital scroll work, Part III. The Copeland Digital Scroll Technology, <http://www.digitalscroll.com>