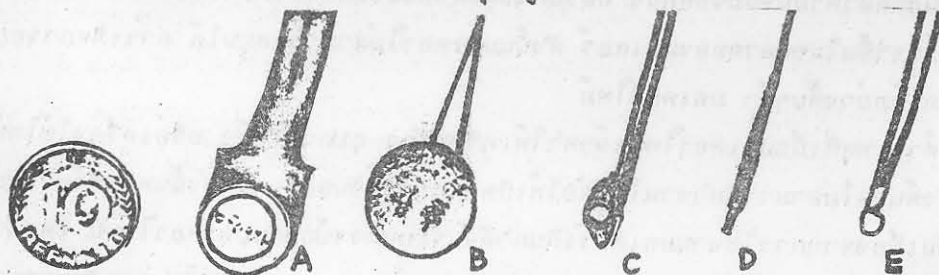
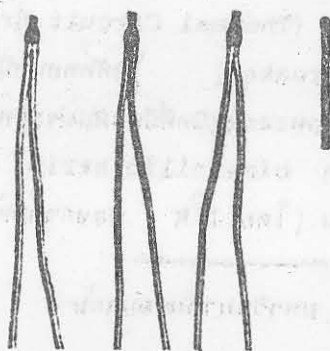


ขยายตัว และถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมีค่าไม่เกินค่าขีดจำกัด (rated value) แล้ว การขยายตัวของมันก็จะไม่มีผลอะไร แต่เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเกินค่าขีดจำกัด การขยายตัวของมันที่ไม่เท่ากันก็จะมีผลทำให้เกิดการบิดของโลหะไปติดกลไก (mechanism) ทำให้ไกของโกตตัดตอนทำงาน คือตัดวงจรออกทันที ส่วนโกตตัดตอนชนิดใช้แรงแม่เหล็ก การตัดวงจรของมันก็แตกต่างออกไป กล่าวคือ โกตตัดตอนชนิดนี้ใช้อำนาจของแรงแม่เหล็กเป็นตัวดูทำให้กลไกในการตัดวงจรทำงาน โดยแรงแม่เหล็กที่ใช้ได้มาจากกระแสที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์นั่นเอง นั่นคือเมื่อมอเตอร์ทำงานปกติ อำนาจของแรงแม่เหล็กที่ได้จากกระแสปกติก็มีไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการดูดเพื่อทำให้กลไกของการตัดวงจรทำงานได้ แต่เมื่อกระแสเกินขนาด (เนื่องมาจากการใช้งานเกินกำลังหรือการลัดวงจรก็ตาม) อำนาจของแรงแม่เหล็กก็จะมีค่าเพียงพอที่จะดูดให้กลไกในการตัดวงจรทำงานได้

จากอุปกรณ์หรือโกตตัดตอนที่ได้กล่าวไว้ในส่วนก่อนหน้านี้นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันมอเตอร์ไหม้เนื่องจากสาเหตุของการใช้มอเตอร์เกินกำลังหรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่าสาเหตุจากการที่กระแสไหลเข้าไปในขดลวดมอเตอร์เกินขีดความสามารถของขดลวดที่จะทนได้ แต่ในกรณีที่ระบบระบายความร้อนภายในมอเตอร์ไม่ทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี (คือใบพัดอาจจะบิ่นหรือหักไปส่วนหนึ่ง) ทำให้การระบายความร้อนทำได้ไม่เต็ม-ที่ก็จะมีผลกระทบปริมาณความร้อนในตัวมอเตอร์มากขึ้นเรื่อยๆ อุปกรณ์หรือโกตตัดตอนทั้งสองดังกล่าวข้างต้นก็จะไม่ทำงาน (คือตัดมอเตอร์ออกจากวงจรจ่ายกำลัง) ดังนั้นในกรณีเช่นนี้มอเตอร์ก็จะไหม้ได้ ด้วยสาเหตุนี้เองจึงได้มีการคิดค้นหาวิธีป้องกันมอเตอร์ไหม้จากสาเหตุที่กล่าวมาแล้วนี้ ผลของการคิดค้นนี้เองได้มีการประดิษฐ์ เทอร์โมสตัด และ เทอร์มิสเตอร์ ขึ้นมาใช้ ทั้งเทอร์โมสตัดและเทอร์มิสเตอร์เมื่อนำมาใช้งานป้องกันมอเตอร์ไหม้มันจะถูกฝังไว้ที่ขอบหรือปลายของขดลวด (end coils) ของมอเตอร์ รูปร่างลักษณะตัวอย่างของเทอร์โมสตัด และ เทอร์มิสเตอร์ที่ผู้ผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าชื่อ Eberhard Bauer แห่งประเทศเยอรมันนำมาใช้ แสดงไว้ในรูปที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 เป็นรูปของเทอร์มิสเตอร์ที่ผู้ผลิตเครื่อง-ยนต์ไฟฟ้า Brown Boveri & CIE AG. (BBC) แห่งประเทศสวิสเซอร์แลนด์สร้างขึ้นมาใช้ จากผลของการใช้งานพบว่า เทอร์โมสตัดมีความไวต่ออุณหภูมิน้อยกว่าเทอร์มิสเตอร์ หรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่าเทอร์มิสเตอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากกว่าเทอร์โมสตัด ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งเป็น



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมสตัดและเทอร์มิสเตอร์แบบต่าง ๆ ของ Bauer



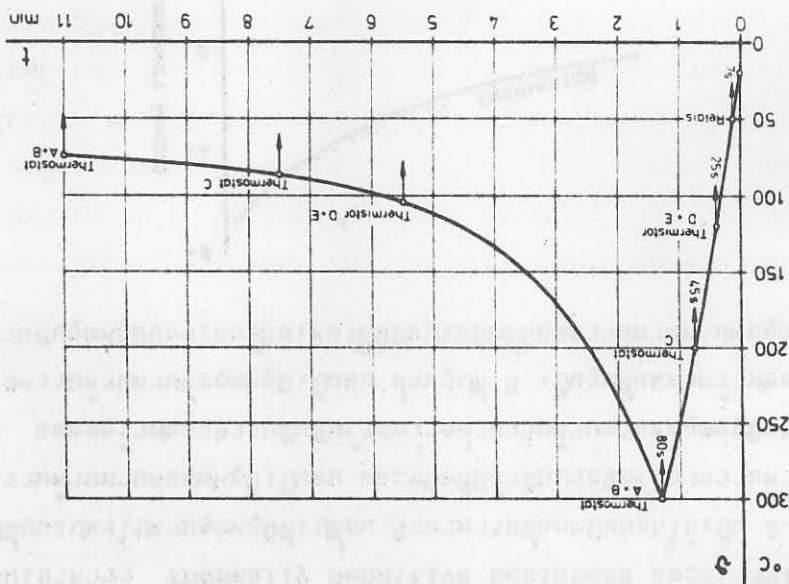
รูปที่ 2 เทอร์มิสเตอร์ของ บี.บี.ซี.

อัตราเมื่อเทียบกับอัตราโดยปกติ โดยที่อัตราโดยปกติเป็นอัตราที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 1 และอัตราโดยปกติเป็นอัตราที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 2

2. อัตราการไหลของน้ำ

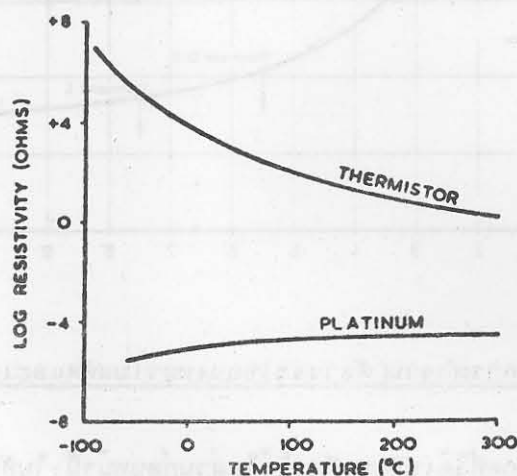
อัตราการไหลของน้ำที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2 เป็นอัตราที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2 โดยที่อัตราโดยปกติเป็นอัตราที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 1 และอัตราโดยปกติเป็นอัตราที่ปรากฏในรูปของเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 3 แสดงความยาวของกราฟงาน (ค่าจริง) ของเทอร์มิสเตอร์และเทอร์มิสเตอร์จากรูปที่ 1



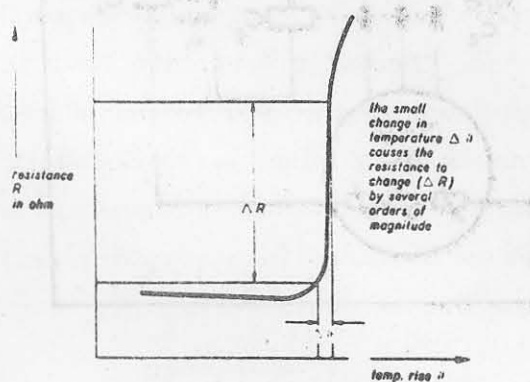
locked rotor of a geared motor of Bauer.

ออกมา เมื่อมันถูกหล่อเป็นรูปร่างตามแบบที่ต้องการแล้วก็จะได้รับการ sinter* ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและภาวะบรรยากาศอย่างระมัดระวัง เพื่อว่าเมื่อมันเย็นลงแล้วจะกลายเป็น hard ceramic substance จากกรรมวิธีการทำของสารกึ่งตัวนำเทอร์มิสเตอร์นี้เองทำให้มันมีคุณสมบัติที่ค่าความต้านทานของมันเปลี่ยนแปลงไปได้มากตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้วยเหตุนี้คำว่า Thermistor จึงได้มาจากการรวมเอาคำว่า Thermally Sensitive Resisters และอย่างที่ได้อธิบายไว้ค่าความต้านทานของมันเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยน จึงสามารถที่แยกมันออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิ เป็นลบ และชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิ เป็นบวก รูปที่ 4 แสดงกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิ เป็นลบ ส่วนรูปที่ 5 เป็นรูปที่แสดงกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ที่มีสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิ เป็นบวก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

* Sintering - Compressing metal particles into a coherent solid body. The process is carried out under heat, but at a temperature below the melting point of the metal. คัดจาก A Dictionary of Science. โดย E.B.Uvarov, D.R.Chapman, Alan Isaacs. ของ Penguin Reference Books.

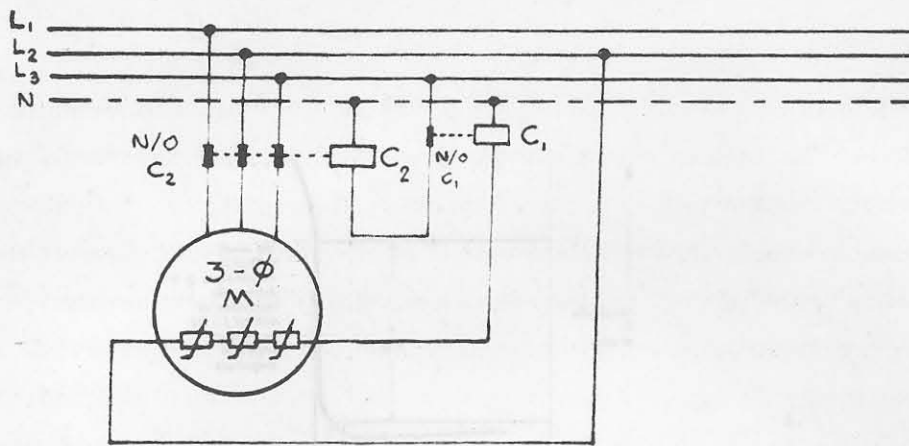


รูปที่ 5 แสดงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบพีทีซี

จากรูปที่ 5 ที่แสดงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC (Positive Temperature coefficient) ของ BBC และเทอร์มิสเตอร์นี้ชื่อเรียกในทางการค้าว่า "Custorapid" จะเห็นได้ว่าที่ค่าอุณหภูมิต่ำ ๆ มันมีค่าความต้านทานต่ำไปด้วยและมีค่าเกือบคงที่ และที่ค่าระดับหนึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไปเล็กน้อยค่าความต้านทานของมันเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่ใช่ทำเป็นตัว เทอร์มิสเตอร์มีคุณลักษณะเป็นตัวนำที่ดีที่อุณหภูมิต่ำ และกลับเป็นตัวนำที่เลวที่อุณหภูมิสูงๆขึ้น และจากคุณลักษณะของมันอันนี้เองจึงนำไปใช้ประยุกต์เป็นตัวตรวจสอบ (Sensor) เพื่อใช้ควบคุมหรือป้องกันมอเตอร์ไหม้

3. วิธีการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวป้องกัน

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในคำนำ เทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ประกอบในการทำความเข้าใจและออกแบบระบบป้องกันเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ พีทีซี ของ บีบีซี วิธีการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวป้องกันมอเตอร์ไหม้ทำได้โดยฝังเทอร์มิสเตอร์ที่ปลายขดของลวด (end connection of coils) ของมอเตอร์ ในกรณีที่มอเตอร์เป็นแบบ 3 ยกก็จะใช้เทอร์มิสเตอร์ 3 ตัว โดยแต่ละตัวฝังที่ปลายขดลวดของแต่ละยกแล้วจึงต่อสายของเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 3 ตัวนั้นให้เป็นแบบอนุกรมประกอบกันเป็นวงจรตรวจสอบ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในขดลวดของมอเตอร์ ในวงจรตรวจสอบนี้จะมีขดลวดของ relay ไดออดนุกรมอยู่ด้วย จากรูปที่ 6 ประกอบ เมื่อขดลวดของมอเตอร์ยังเย็นอยู่ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ทั้ง 3 ก็ยังน้อยอยู่ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรตรวจสอบนี้ก็จะมีความหนึ่ง (อย่างน้อยแต่ไหนขึ้นอยู่กับการออกแบบ) ที่ทำให้ relay C_1 เกิดการดูด ดังนั้นหน้า contact แบบปกติเปิด C_1 ของ relay C_1 ที่ต่ออนุกรมกับวงจรป้องกันก็จะปิดทำให้วงจรป้องกันครบวงจร contactor C_2



รูปที่ 6 วงจรแสดงการใช้เทอร์มิสเตอร์ในงานป้องกันมอเตอร์ใหม่แบบง่าย ๆ

ที่เป็นตัวเปิด-ปิดวงจรจ่ายกำลังให้แก่มอเตอร์ก็จะเกิดการดูดทำให้หน้า contact แบบปกติเปิด C_2 ของมันปิด มอเตอร์ก็จะถูกต่อเข้ากับวงจรจ่ายกำลังและมอเตอร์ก็หมุนใช้งานได้ การทำงานของเทอร์มิสเตอร์เพื่อป้องกันมอเตอร์ใหม่นั้นจะทำเมื่อขดลวดของมอเตอร์มีอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่ออกแบบไว้คือเกินกว่าที่ฉนวนของขดลวดจะทนได้ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นในขดลวดของมอเตอร์นั้นก็จะมี (heat conduction) ให้เทอร์มิสเตอร์ร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะสูงขึ้นทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลในวงจรวัดตรวจสอบลดลงไปจากค่าปกติ relay C_1 ก็จะไม่มีการดูด ทำให้หน้า contact แบบปกติเปิด C_1 ของ relay C_1 ก็จะเปิดออก และเป็นการตัดวงจรหรือเปิดวงจรป้องกัน contactor C_2 ที่ใช้เปิดปิดวงจรจ่ายกำลังก็จะคลายทำให้ contact C_2 ของมันเปิด และก็เป็นการตัดมอเตอร์ออกจากวงจรจ่ายกำลัง ดังนั้นมอเตอร์ก็หยุดหมุน

4. แนวทางในการออกแบบ

ก่อนที่จะกล่าวถึงแนวทางในการออกแบบวงจรตรวจสอบเพื่อเลือกใช้ชนิดของเทอร์มิสเตอร์ให้เหมาะสมก็จะขอกกล่าวในสิ่งต่างๆไปก่อนเพื่อเป็นการทำความเข้าใจในพื้นฐานของการออกแบบเทอร์มิสเตอร์แบบ พีทีซี ของ บีบีซี ที่ใช้เป็นแนวทางนี้ ค่าความต้านทานของตัวมันเองขณะเมื่อมันอยู่ที่อุณหภูมิห้องปกติคือที่ 25 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 120 โอห์ม และเมื่อใช้เทอร์มิสเตอร์นี้ 3 ตัวๆละยกในมอเตอร์ระบบไฟ 3 ยก และให้มันต่ออนุกรมกันค่าความต้านทานรวมของมันที่อุณหภูมินั้นจะมีค่าเท่ากับ 60 ถึง 360 โอห์ม ในวงจรตรวจสอบของ บีบีซี ที่ใช้ Custorapid เทอร์มิสเตอร์แบบ พีทีซี รีเลย์จะเลิกทำงาน (คืออยู่ในภาวะเลิกดูดหรือปล่อย) เมื่อค่าความต้านทานรวมของวงจรมีค่าเท่ากับ 1.7 กิโลโอห์ม และค่า 1.7 กิโลโอห์มนี้เป็นตัวกำหนดค่า rated pick-up temperature ของตัวเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ มาถึงตอนนี้ก็อาจจะอยากทราบว่า rated pick-up temperature คืออะไร มันก็คืออุณหภูมิที่เมื่อทำให้เทอร์มิสเตอร์นั้นร้อนเท่าๆกันทั้งสามตัวและทำให้ค่าความต้านทานรวมมีค่าเท่ากับค่าที่ทำให้รีเลย์เลิกดูด (ก็คือ 1.7 กิโลโอห์มในวงจรของ-

Custorapid นั้นเอง) ตารางที่ 1 ได้แสดงถึงค่า rated pick-up temperature ที่ต่างกันของเทอร์มิสเตอร์ที่มีสารผสมแตกต่างกันในสารกึ่งตัวนำ สีที่แสดงไว้ที่สายของเทอร์มิสเตอร์เป็นเครื่องชี้ให้ทราบความแตกต่างของค่า rated pick-up temperature การที่มีค่า rated pick-up temperature แตกต่างกันนี้ก็เพราะว่ามันสามารถใช้กับมอเตอร์ชนิดต่างๆได้ ทั้งนี้เนื่องจากในมอเตอร์ต่างชนิดกันมีการใช้ฉนวนที่หุ้มที่ขดลวดต่างชนิดกัน และนั่นก็หมายความว่าค่าการทนความร้อนได้สูงสุดของฉนวนนั้นๆแตกต่างกันออกไปด้วย ค่าที่แสดงไว้ในช่องที่สองของตารางที่ 1 เป็นค่าที่แสดงถึงช่วงของอุณหภูมิที่การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์มีผลทำให้รีเลย์ทำงาน การที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะค่า rated pick-up temperature ของเทอร์มิสเตอร์อาศัยจากภาวะที่เทอร์มิสเตอร์ที่ฝังหรือใส่ไว้ที่ปลายขดลวด (end coils) ตัวละยกนั้นได้รับความร้อนเท่าๆกันโดยการนำจากขดลวดซึ่งก็หมายความว่าขดลวดทั้ง 3 ยกถูกโอเวอร์โหลดพร้อมๆกัน แต่บางครั้งถ้าขดลวดของยกหนึ่งเกิดการลัดวงจรอันเนื่องมาจากการลัดวงจรในระหว่างรอบของขดลวดเองหรือเกิดจากการลัดวงจรลงโครงเหล็กที่ห่อหุ้ม ขดลวดยกนั้นจะเกิดความร้อนเนื่องจากกระแสลัดวงจรนั้นเพียงยกเดียว หรือบางทีการกระจายความร้อนในขดลวดยกหนึ่งๆไม่เท่ากันก็จะทำให้เกิด pick-up temperature range ขึ้นมา ฉะนั้นโดยทั่วไปเพื่อให้การทำงานของวงจรวัดตรวจสอบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพก็จะใช้เทอร์มิสเตอร์มากกว่า 1 ตัวฝังในขดลวดแต่ละยก นั่นคือในวงจรวัดตรวจสอบอาจจะมีเทอร์มิสเตอร์ต่ออนุกรมกัน 3 ตัวหรือ 6 ตัวหรือ 9 ตัว

ตารางที่ 1

แถบสีของสายสำหรับ ซีซีที เทอร์มิสเตอร์		
Rated pick-up temperature of thermister °C	Pick-up temperature range °C	แถบสีของสาย
70	70 ± 5	ขาว/น้ำตาล
80	80 ± 5	ขาว
90	90 ± 5	เขียว
100	100 ± 5	แดง
110	110 ± 5	น้ำตาล
120	120 ± 5	เทา
130	130 ± 5	ฟ้า
145	145 ± 6	ขาว/ฟ้า
155	155 ± 6	ดำ
170	170 ± 6	ขาว/เขียว

จากสิ่งต่างๆที่กล่าวไว้แล้วนี้เองพอที่จะสรุปได้ว่า ในการที่จะออกแบบหรือนำเอาเทอร์มิสเตอร์มาใช้ นั้นต้องอาศัยสิ่งต่อไปนี้

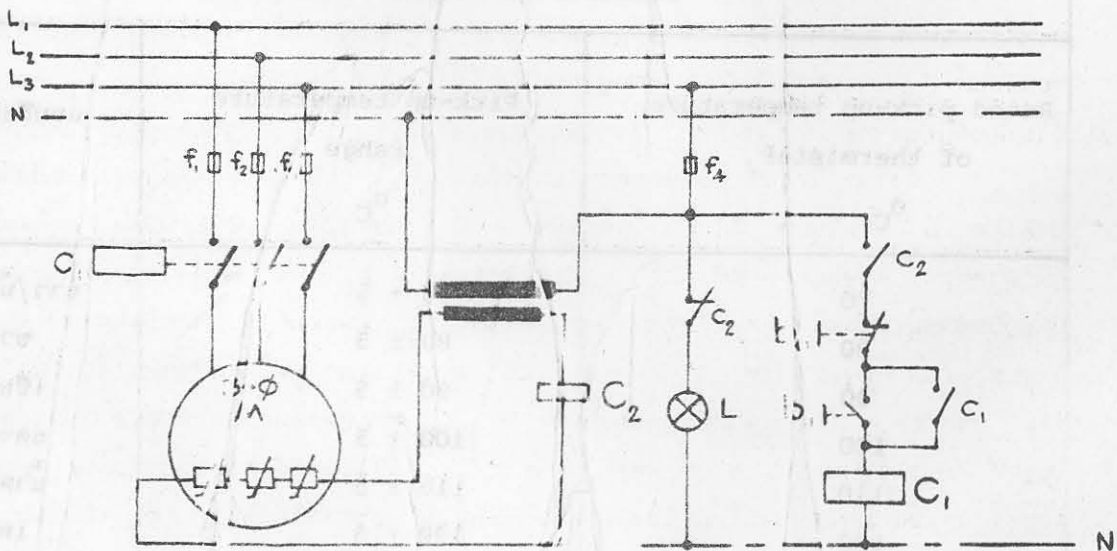
4.1 ดูจากชนิดของฉนวนที่ใช้หุ้มขดลวด (เช่นอาบน้ำยาวานิช Varnish) ซึ่งทำให้ทราบถึงค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ฉนวนทนได้ และสามารถนำค่าที่ทราบนี้ไปใช้เลือกชนิดของเทอร์มิสเตอร์โดยอาศัยค่า rated pick-up temperature จากตารางที่ 1

4.2 จำเป็นต้องทดสอบเพื่อทราบความทนทานต่อการโอเวอร์โหลดของมอเตอร์ชนิดหนึ่งๆ เพราะทำให้ทราบถึงว่ามอเตอร์ชนิดนั้นๆสามารถโอเวอร์โหลดได้มากน้อยแค่ไหน

4.3 วัดหาค่าความต้านทานรวมของวงจรวัดตรวจสอบ เพื่อเลือกใช้ชนิดของรีเลย์ การวัดทำได้โดยใช้ bridge (เช่น Wheatstone bridge) และข้อควรระวังในการวัดคือแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในวงจรของ bridge ไม่ควรมีค่าเกิน 2.5 โวลต์

5. ตัวอย่างผังวงจรและขั้นตอนของการทำงาน

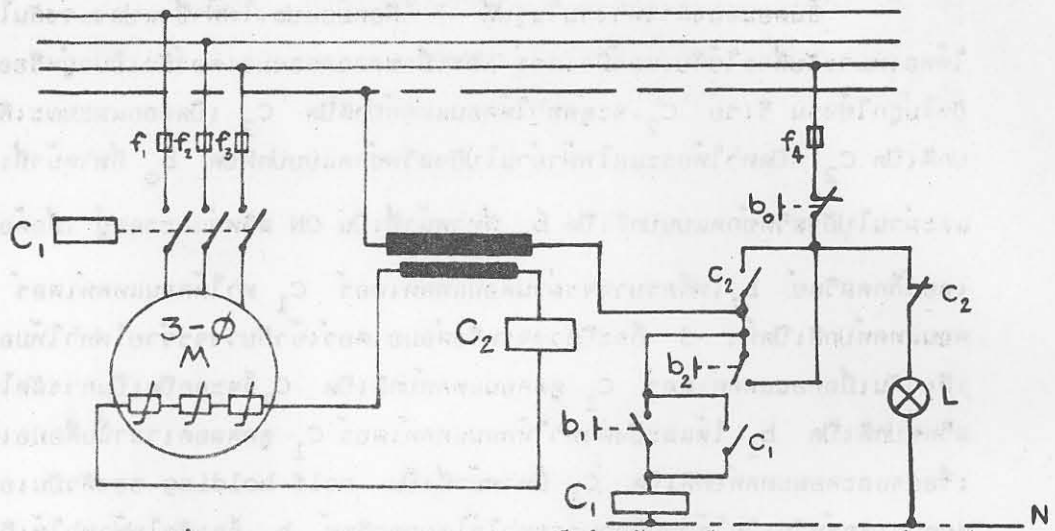
เนื่องจากเทอร์มิสเตอร์ พีพีซี ของ บีบีซี ทนแรงดันไฟฟ้าได้ต่ำคือใช้กับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 2.5 โวลต์ ในวงจรวัดตรวจสอบจากรูปที่ 6 จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันลงมาและก็เป็น การแยกวงจร (isolate) จากวงจรจ่ายกำลัง เพื่อป้องกันมิให้เทอร์มิสเตอร์เสียหายจากอุบัติเหตุ จากการลัดวงจรของขดลวดของมอเตอร์ ถ้าฉนวนของมันเกิดรั่วขึ้น ในปัจจุบันการใช้งานมอเตอร์นิยมใช้ contactor เป็นตัวเปิด-ปิด ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานของ contactor ที่เป็นตัวเปิด-ปิดมอเตอร์ นั้นอาศัยการควบคุมไม่มาจากวงจรวัดตรวจสอบ เมื่อใช้ contactor เป็นตัวเปิด-ปิดมอเตอร์นี้เอง ตัวอย่างผังวงจรที่จะแสดงไว้ต่อไปนี้นั้นก็แยกโดยอาศัย ขั้นตอนของการทำงานเป็นหลัก



รูปที่ 7 ผังวงจรการควบคุมมอเตอร์โดยใช้คอนแทคเตอร์

ขั้นตอนของการทำงานในรูปที่ 7 ก็คือหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงมาให้พอเหมาะที่จะใช้กับเทอร์มิสเตอร์ และเมื่อขดลวดของมอเตอร์ยังเย็นอยู่หรืออยู่ในสภาพปกติและยังไม่ถูกใช้งาน รีเลย์ C_2 จะดูดทำให้คอนแทกต์ปกติปิด C_2 เปิดออกและขณะเดียวกันคอนแทกต์ปกติเปิด C_2 ก็ปิดทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านไปยังสวิตช์กดแบบปกติปิด b_0 ที่ทำหน้าที่เป็น OFF สวิตช์ และผ่านไปยังสวิตช์กดแบบปกติเปิด b_1 ที่ทำหน้าที่เป็น ON สวิตช์และรออยู่ เมื่อต้องการใช้งานมอเตอร์ก็กดสวิตช์ b_1 ไฟก็ครบวงจรผ่านคอนแทกต์เตอร์ C_1 ทำให้คอนแทกต์เตอร์ C_1 ดูด นั่นคือคอนแทกต์ปกติเปิดทั้ง 3 ก็จะปิดวงจรหรือต่อมอเตอร์เข้ากับวงจรจ่ายไฟทำให้มอเตอร์หมุน ขณะเดียวกันเมื่อคอนแทกต์เตอร์ C_1 ดูดคอนแทกต์ปกติเปิด C_1 ก็จะถูกปิดเป็นการตัดไฟฟ้าให้ข้ามผ่านสวิตช์ปกติเปิด b_1 ได้และยังคงทำให้คอนแทกต์เตอร์ C_1 ดูดตลอดเวลา นั่นคือมอเตอร์ก็จะหมุนไปเรื่อยๆและคอนแทกต์ปกติเปิด C_1 นี้ทำหน้าที่เป็น self holding ของตัวมันเอง เมื่อต้องการหยุดมอเตอร์หรือเลิกใช้งานก็สามารถทำได้โดยกดสวิตช์ b_0 ก็จะตัดไฟฟ้าทำให้เกิดการไม่ครบวงจรในตัวคอนแทกต์เตอร์ C_1 และมันก็จะคลายออกทำให้คอนแทกต์ทั้ง 3 ดัดมอเตอร์ออกจากแหล่งจ่ายไฟ ทั้งหมดนี้เป็นไปในกรณีปกติ ในกรณีที่ผิดปกติคือหลังจากที่มอเตอร์หมุนหรือถูกใช้งานไปแล้วและเกิดการโอเวอร์โหลดหรือด้วยสาเหตุอื่นๆทำให้ขดลวดมอเตอร์ร้อนขึ้นเรื่อยๆและปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่เทอร์มิสเตอร์โดยการนำ (heat conduction) นั่นก็จะทำให้ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ในวงจรวัดตรวจสอบมากขึ้น-เรื่อยๆจนถึงจุดที่ออกแบบไว้ก็คือ relay C_2 เล็กดูด ดังนั้นคอนแทกต์ปกติเปิด C_2 ก็จะเปิดและก็เป็น การตัดไฟในวงจรของคอนแทกต์เตอร์ C_1 ดังนั้นมอเตอร์ก็จะถูกตัดออกจากแหล่งจ่ายไฟ ขณะเดียวกันคอนแทกต์ปกติปิด C_2 ก็จะปิดทำให้หลอดไฟ pilot lamp L ติดและเป็นเครื่องแสดงว่ามอเตอร์หยุดหรือถูกตัดออกจากแหล่งจ่ายไฟเพราะเกิดจากที่ขดลวดของมอเตอร์ร้อน และเมื่อขดลวดของมอเตอร์เย็นลงแล้ววงจรวัดตรวจสอบก็จะทำให้คอนแทกต์ C_2 แบบปกติเปิดและปิดกลับสู่สภาพเดิมที่เริ่มต้นมา f_1 ถึง f_3 และ f_4 คือ fuse ที่ใช้ป้องกันอันตรายจากการเกิดการลัดวงจรของขดลวดมอเตอร์กับวงจรวัดตรวจสอบและวงจรควบคุม

ผังวงจรในรูปที่ 8 แตกต่างไปจากที่แสดงไว้ในรูปที่ 7 คือในด้านอุปกรณ์มีสวิตช์แบบปกติเปิด b_2 เพิ่มขึ้นมา 1 ตัว ในด้านผังวงจรมีการจัดตำแหน่ง OFF สวิตช์ b_0 ใหม่ มีสวิตช์คั่นกลางระหว่างคอนแทกต์ปกติเปิด C_2 กับสวิตช์ปกติเปิด b_1 และปลายสายข้างหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าต่อหลังคอนแทกต์ปกติเปิด C_2 ขั้นตอนการทำงานก็แตกต่างไป คือเมื่อจะใช้งานมอเตอร์ก็ต้องกดสวิตช์ b_2 ที่ทำหน้าที่เป็น resetting switch ก่อนเพื่อเป็นการจ่ายไฟให้แก่วงจรวัดตรวจสอบ จากนั้นจึงกดสวิตช์ ON b_1 แล้วขั้นตอนการทำงานของวงจรก็เป็นเช่นวงจรในรูปที่ 7 วงจรในรูปที่ 8 นี้ให้ข้อดีกว่าในรูปที่ 7 ก็คือวงจรวัดตรวจสอบจะไม่ถูกจ่ายไฟฟ้าให้ตลอดเวลาแม้ว่ามอเตอร์จะไม่ถูกใช้งาน แต่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์คือสวิตช์ b_2 เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งอัน



รูปที่ 8 ผังวงจรการควบคุมมอเตอร์เมื่อใช้สวิตซ์ควบคุมคอนแทกต์เตอร์

6. สรุปข้อดีและขีดจำกัดของการป้องกันโดยใช้เทอร์มิสเตอร์

จากทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วนี้สามารถที่จะสรุปได้ว่าการใช้เทอร์มิสเตอร์ป้องกันมอเตอร์ใหม่นั้น มันเป็นระบบที่มีส่วนดีกว่าระบบอื่นเช่น ระบบการป้องกันที่ใช้ bimetal ซึ่งมันไม่สามารถทำงานได้ผลโดยเฉพาะในกรณีที่มีมอเตอร์ถูกใช้งานไม่สม่ำเสมอคือถูกเปิดๆปิดๆบ่อยๆ มีไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟไม่ครบยก ใช้ในที่ที่มีอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมสูงเกินความเหมาะสม แรงดันไฟฟ้าในสายสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป และระบบการระบายความร้อนไม่ดี นอกจากนี้ในกรณีต่างๆนี้แล้ววงจรตรวจสอบที่ใช้เทอร์มิสเตอร์นี้สามารถใช้กับมอเตอร์ขนาดใดก็ได้ และมันยังสามารถควบคุมไม่ให้ใช้งานมอเตอร์ได้ถ้าสายไฟฟ้าที่ใช้ต่อในวงจรตรวจสอบเกิดขาดหรือชำรุด และวงจรตรวจสอบนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆได้เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ตลับลูกปืน (bearings) และระบบทำความร้อน เป็นต้น

ด้วยเหตุที่การทำงานของเทอร์มิสเตอร์ในระบบป้องกันนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทโดยการนำจากขดลวดมายังตัวเทอร์มิสเตอร์ และในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำนี้ทำได้ดีมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับขนาดที่หุ้มขดลวดนั้นอยู่ ดังนั้นระบบการป้องกันนี้จึงใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำ คือใช้ได้ในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันระหว่างสายเท่ากับ 220 หรือ 380 โวลต์ดังเช่นในระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือของการไฟฟ้านครหลวง

เป็นต้น นอกจากนี้แล้วในมอเตอร์บางชนิดที่เรียกว่ามอเตอร์แบบ Critical rotors* เช่นพวก roller-table motor, textile machine motors เป็นต้น ถ้าการใช้งานเป็นแบบเปิดๆปิดๆ จะใช้ระบบป้องกันมอเตอร์ไหม้ของเทอร์มิสเตอร์อย่างเดียวไม่ได้ จำเป็นต้องใช้ร่วมกับพวกไคดัดตอน ชนิดใช้ความร้อนร่วมด้วย การป้องกันจึงจะได้ผลดี.

% _____ %

% _____ %

* Critical-rotor motors - คือมอเตอร์ชนิดที่ความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ทำให้อุณหภูมิของขดลวดสูงถึงค่าที่มันจะทนได้ ก่อนที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นในขดลวดของสเตเตอร์จะถึงถ้าโรเตอร์ของมอเตอร์นั้นถูกหยุดนิ่ง (locked rotor) ในขณะที่มอเตอร์ยังคงต่อครบวงจรอยู่กับแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารอ้างอิง

1. Obering. H. Greiner : "Motor Protection" in manual of Electrical Drives with Geared Motor SD475E of Eberhard Bauer Esslingen-Neckar, Germany. PP. 55-62. English Translation: E.H. Werninck.
2. H.Van der Tak : "Thermistor Protection of Low-Voltage Three-Phase Motors", Far East Engineer, December 1970, pp. 29-33. Translated from special issue "Motorschutz für Drehstrom-Niederspannungsmotoren" of the Brown Boveri & CIE AG.
3. M.G. Say : Electrical Engineer's Reference Book, Butterworth & Co.(Publishers) Ltd., London, 13th Edition, 1973, pp.4-22 and 5-78.
4. J. Noble : "Thermistors as Industrial Electric Motor Protection", N.Z. Engineering Journal, 15 March 1968, pp. 109-109.