บทที่ 5

การวัดความเร็ว

วิธีการที่จะให้ได้มาของค่าความเร็วของของไหลนั้นมีหลัก และวิธีการอยู่หลายวิธีด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการที่มีหลักการพื้นฐานง่าย ๆ และมีการใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นหลักสำคัญ ซึ่งก็ได้แก่ เครื่องมือวัดความเร็วที่ใช้หลักการทางความดัน และเครื่องมือที่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อน เครื่องมือทั้งสองนี้ถือเป็นเครื่องมือมาตรฐานในการทดสอบ และงานวิจัยทางด้านกลศาสตร์ของไหลประยุกต์ และเครื่องกลของไหลที่เกี่ยวข้องกับการวัดความเร็วทั้งหมด ด้วยเหตุที่เครื่องมือวัดทั้งสองชนิดนี้มีฐานที่มา และหลักการทำงานที่ต่างกันจึงมีลักษณะ และคุณสมบัติเฉพาะตัวที่เหมาะสมกับงานวัดความเร็วที่จะใช้แตกต่างกันไป

5.1 เครื่องวัดความเร็วที่ใช้หลักการทางความดัน

ตามหลักของกลศาสตร์ของไหล ค่าความดันแตกต่างระหว่างความดันสถิตย์ (STATIC) กับค่าความดันรวม (TOTAL) จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วของการไหลที่ตำแหน่งนั้น ๆ ดังนั้นถ้าเราสามารถหาความดันแตกต่าง และทราบความสัมพันธ์ดังกล่าวก็จะหาความเร็วที่ต้องการได้เมื่อทราบคุณสมบัติที่สำคัญบางอย่างของของไหลนั้น ๆ ระบบการวัดความเร็วที่อาศัยหลักการนี้จะประกอบด้วย อุปกรณ์ขั้นต้น (PRIMARY DEVICE) ได้แก่ ตัวตรวจจับ (SENSING ELEMENT) ความดันสถิตย์ และความดันรวม (3) ที่ใช้กันทั่วไป คือ ไพท็อท สแตติค ทิ้ว และอุปกรณ์ขั้นที่สอง (SECONDARY DEVICCE) ได้แก่ เครื่องมืออ่านค่าความดัน ซึ่งอาจจะอ่านค่าความดันแยกจากกัน หรืออ่านเป็นค่าความดันแตกต่างเลยทีเดียวก็ได้ ปรกติมักจะใช้ มาโนมิเตอร์แบบต่างๆ

a. อุปกรณ์ขั้นต้น เพื่อประกันผลการตรวจจับความดัน และเพื่อให้เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานกำหนดแล้วควรเลือกใช้ หัวตรวจจับความดันมาตรฐานสากล แบบใดแบบหนึ่งดังนี้

- ชนิด A AMCA TYPE

AMCA STANDARD TEST CODE FOR AIR MOVING DEVICES มีลักษณะสำคัญที่ปลายสุดจะมนเป็นครึ่งทรงกลม (SEMI SPHERE) รัศมี Ø.5d มีรูวัดความดันสถิตย์ (STATIC HOLES) 8 รูรอบ ๆ ขนาดไม่เกิน Ø.13d

- ชนิด B NPL TYPE

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY มีลักษณะสำคัญที่ปลายจะมนเป็นรูปครึ่งทรงรี (ELLIPSOID) แกนยาวเท่ากับ 2d แกนสั้นเท่ากับ d ตัดครึ่งตามแกนสั้นของวงรี

- ชนิด C CETIAT TYPE

CENTIRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES AERAULIQUES ET THERMIQUES IN ORSAYQ มีลักษณะส่วนปลายเป็นรูปกรวย (CONICAL) ปลายตัด มุมกรวย 30 องศา ถ้าหากใช้มาตรฐานนี้แล้ว การวัดความเร็วอาจจะไม่ต้องทำการปรับเทียบ (CALIBRATION) เลยก็ได้โดยใช้งานในย่าน หรือขอบเขตจำกัดของเครื่องมือเหล่านี้ จะทำให้สะดวกต่อการใช้มากขึ้น

b. อุปกรณ์ขั้นที่สองเป็นเครื่องมืออ่านความดัน การจะเลือกใช้แบบไหนจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบการพิจารณาหลาย ๆ อย่างด้วยกัน เช่น ค่าความดัน ความเร็ว อุณหภูมิ ความละเอียดที่ต้องการของค่าที่อ่านได้ ในการวัดเพื่องานทดสอบ หรืองานวิจัยปรกติจะใช้แบบที่มีความละเอียดค่อนข้างสูง ซึ่งก็ได้แก่ ไมโคร มาโนมิเตอร์แบบใช้ท่อเอียง เสกลเวอร์เนียร์ หรือแบบมีตัวแปลงกำลัง (TRANSDUCER) สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงควรใช้ไมโครมาโนมิเตอร์แบบมีตัวแปลงกำลัง (TRANSDUCER) ดีที่สุดแต่จะต้องระลึกถึงอยู่เสมอว่าเครื่องวัดที่ละเอียดมาก ๆ ต้องการความเอาใจใส่ และระมัดระวังเป็นพิเศษไม่เช่นนั้นแล้วการรบกวนการอ่านค่าจะสูงก่อให้เพิ่มความผิดพลาดได้ การวัดความดันปรกติเครื่องมือจะวัดค่าเป็นความสูงของน้ำ สำหรับไมโครมาโนมิเตอร์แบบตัวแปลงกำลังก็เช่นกันจะอ้างอิงค่าที่อ่านเป็นความสูงของลำน้ำเช่นกัน จากอุปกรณ์ขั้นต้น และขั้นที่สองเมื่อประกอบกันแล้วจะสามารถอ่านค่าความดันแตกต่างของความดันสถิตย์ และความดันรวม ค่าความดันแตกต่างที่ได้นี้จะนำไปใช้คำนวณเพื่อหาความเร็ว จากสมการ $V=\alpha x \epsilon x (2xgx\Delta h)^{1/2}$ โดยค่า ϵ เป็นตัวประกอบการอัดตัวของของไหล α เป็นค่าการปรับเทียบเสกลของหัววัดความเร็ว กรณีใช้ PITOT STATIC TABES แล้วค่า $\alpha=1.00$ Δh เป็นค่าความดันแตกต่าง ค่า ϵ ที่ความดันปรกติประมาณด้วยความสัมพันธ์ $\epsilon=1-0.18x\Delta P/P$ การใช้งานเครื่องวัดความดัน และสมการตอนต้นนี้จะมีขอบเขตกำหนด ได้แก่ ใช้ในช่วงค่าเรลโนลด์นัมเบอร์ ($R_{_D}$) ที่อ้างอิงกับขนาดรูวัดความดันรวม (TOTAL PRESSURE HOLE) มีค่าไม่ต่ำกว่า 200 และค่าความเร็วสูงสุดไม่ควรเกิน 0.25 เท่าของความเร็วเสียงในตัวกลาง และสภาวะที่จะทำการวัด เครื่องมือวัดนี้จะต้องทำการรักษาความสะอาดเป็นหลักสำคัญ

5.2 เครื่องวัดความเร็วที่ใช้หลักการถ่ายเทความร้อน

เครื่องมือนี้อาศัยหลักการพาความร้อนจากส่วนตรวจจับ (SENSING) ไปยังของไหลที่อยู่โดยรอบ ซึ่งปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกไปมีความสัมพันธ์อยู่กับความเร็วของไหลโดยรอบ ปรกติปริมาณการพาความร้อน หรือการสูญเสียความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่นของตัวกลาง และคุณสมบัติทางความร้อนของของไหลส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดมิติ และอุณหภูมิของตัวหัววัด (PROBE) หรือพลังงานที่จ่ายให้กับตัวตรวจจับ (SENSING ELEMENT) เองด้วย ถ้าเราสามารถกำหนดให้ตัวแปรเหล่านี้ตัวใดตัวหนึ่งเปลี่ยน

แปลงเพียงตัวเดียวแล้ว ค่าการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อน จะเป็นตัวบ่งชี้ หรือแสดงความหมายของปริมาณค่าตัวแปรที่กำหนดให้เปลี่ยนแปลงได้เพียวตัวเดียวนั้น (4) ค่าปริมาณที่กำหนดให้เปลี่ยนแปลงได้นี้ปรกติได้แก่ อุณหภูมิ หรือความเร็ว แต่ถ้าหากมีตัวแปรมากกว่า 1 ตัว เปลี่ยนค่าไปพร้อม ๆ กันแล้วก็จะใช้วิธีการทดแทน ค่าเพื่อแก้ความเพี้ยนที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์การพาความร้อน จากตัวตรวจจับ (SENSING) ที่ถูกทำให้ร้อนด้วยไฟฟ้าไปยังของไหลที่ล้อมรอบ ๆ นั้นมีความสัมพันธ์ที่สลับซับซ้อน เพื่อให้สามารถหาคำตอบได้จะต้องมีการสมมติเงื่อนไข หรือสภาวะต่าง ๆ ขึ้นเป็นสภาวะของการวัดความเร็วขณะนั้น นอกจากนี้ที่ความเร็วต่ำ ๆ จะต้องคำนึงถึงผลของการวัดในสภาวะการพาความร้อนธรรมชาติ (NATURAL CONVECTION) และผลของการนำความร้อนที่ผ่านไปทางขาของตัวตรวจจับอีกด้วย ปริมาณการพาความร้อนจากส่วนตรวจจับไปสู่ของไหลจะหาได้จากความสัมพันธ์ KING'S LAW (L.V. KING ; CONVECTION OF HEAT FROM SMALL CYLINDER IN A FLUID STREAM) สำหรับของไหลที่อัดตัวไม่ได้จะให้ความสัมพันธ์ในรูป

$$N_u = A'+B'R_e^n \qquad \text{.....(40)}$$

N_u = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนไม่มีหน่วย
R_e = เรโนลย์นัมเบอร์
A', B' = ค่าคงที่

ในทางปฏิบัติความสัมพันธ์จะจัดอยู่ในรูป

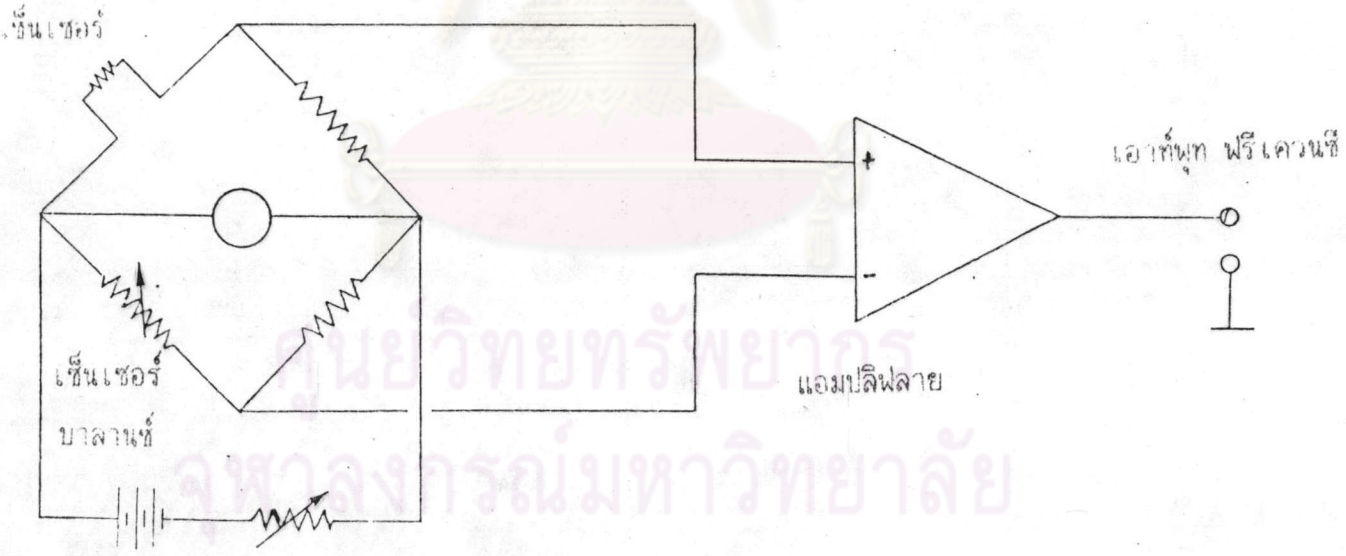
$$V^2 = A+Bu^n \qquad \text{.....(41)}$$

V = แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดความเร็ว
u = ความเร็วของไหลที่ผ่านหัววัดความเร็ว

สำหรับหัววัด (PROBE) อันหนึ่ง ๆ นั้นค่า A,B และ n จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นการใช้เครื่องวัดความเร็วแบบนี้มีความจำเป็นจะต้องทำการปรับเทียบ (CALIBRATION) ตัวหัววัดแต่ละอันที่ความเร็ว และสภาวะการใช้งานจริง วิธีการในการทำให้หัววัดมีอุณหภูมิสูง และการตรวจจับสัญญาณการสูญเสีย หรือการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้สองวิธีด้วยกันคือ การให้กระแสไฟฟ้าเลี้ยงตัวตรวจจับคงที่ และ การควบคุมอุณหภูมิตัวตรวจจับคงที่

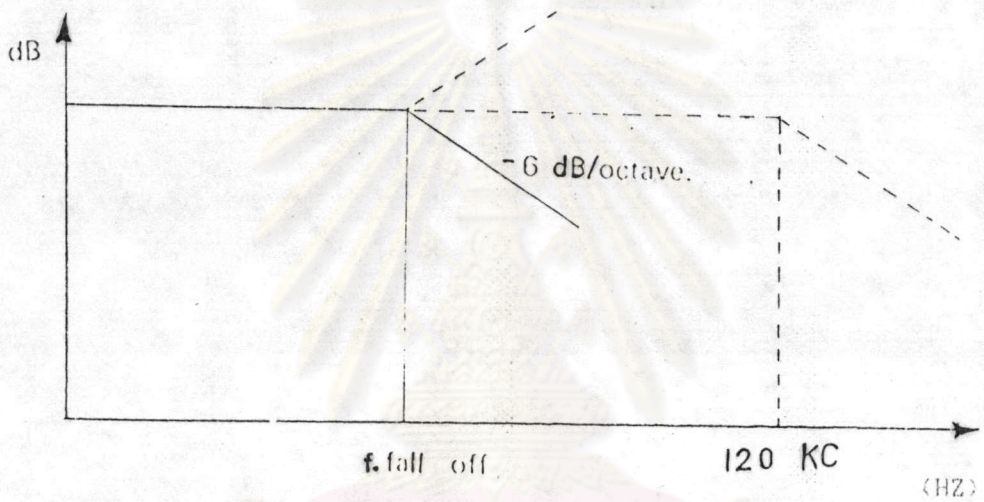
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1 เครื่องวัดความเร็วแบบกระแสคงที่ (CONSTANT CURRENT ANEMOMETER) CCA แบบนี้จะมีกระแสค่าคงที่ไปเลี้ยงตัวหัววัด ค่ากระแสนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเร็วของไหลที่ผ่านขณะนั้น การเปลี่ยนแปลงของความเร็วของไหลจะทำให้ค่าความต้านทานหัววัดเปลี่ยนค่าไป เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า เพื่อควบคุมค่ากระแสให้คงที่ตามเงื่อนไขของหลักการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามค่าแรงดันไฟฟ้าที่หัววัดจะเพิ่ม หรือลดล้าช้า หลังจากมีการแกว่งไกวของความเร็ว และค่าขนาด (AMPLITUDE) ที่ได้จะแตกต่างไปจากค่าการตอบสนอง (RESPONSE) ในอุดมคติ ความถี่จะถูกแปลงให้สูงขึ้นด้วยวงจรขยายทดแทน การตอบสนองความถี่จะกลับกันกับค่าที่ได้จากหัววัด (HOT WIRE) ดังนั้นการตอบสนองความถี่ที่ราบเรียบจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความถี่มีค่ามากกว่าค่าจำกัดบนขอบเขตความถี่หัววัด (HOT WIRE) สัญญาณที่ได้จากวงจรขยายนี้สามารถต่อเข้า ออสซิลโลสโคป ได้โดยตรงเพื่อศึกษาให้เห็นถึงการไหลแบบแกว่งไกว



รูปที่ 9 แสดงการทำงานของ CCA

หลักการของ CCA นั้นจะต่อความต้านทานที่มีค่ามากในวงจรจ่ายไฟฟ้าเป็นตัวปรับให้กระแสที่ผ่านบริดจ์ (BRIDGE) มีค่าต่ำ ในการไหลคงที่ (STEADY) วงจรบริดจ์จะต้องปรับค่าความต้านทานของตัวตรวจจับ (SENSOR RESISTOR) ให้สมดุลย์ จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับวงจรบริดจ์ ก็จะหาค่ากระแสบริดจ์ได้ ซึ่งก็จะได้กระแสที่ผ่านหัววัดความเร็ว สัญญาณที่ได้ออกมาจะมี 2 ค่าคือ แรงดันไฟฟ้าที่บริดจ์ และความต้านทานของหัววัด CCA ไม่สามารถจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงหรือการแกว่งไกวของค่าความเร็วที่รวดเร็วมาก ๆ ได้ทัน การตอบสนองของระบบจะช้ากว่า CTA และที่ค่าความถี่หนึ่ง การตอบสนองของหัววัด (WIRE PROBE) จะเริ่มถูกตัดออกไป (FALL OFF)

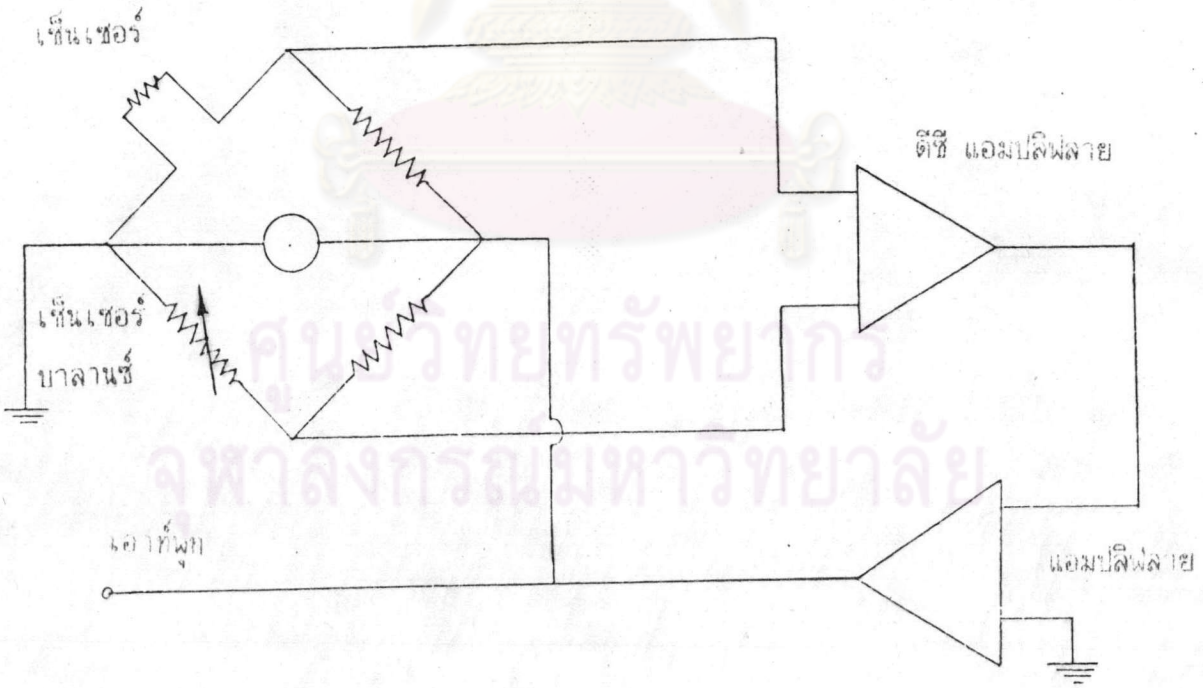


รูปที่ 10 แสดงการถูกตัดออกของ CCA

การตอบสนองจะตกลงมาด้วยอัตรา -6 dB/OCTANE ดังนั้นเพื่อเป็นการขยายย่านการทำงานของ CCA จึงต้องมีวงจรทดแทนคอยทำการแก้ค่า +6 dB/OCTANE

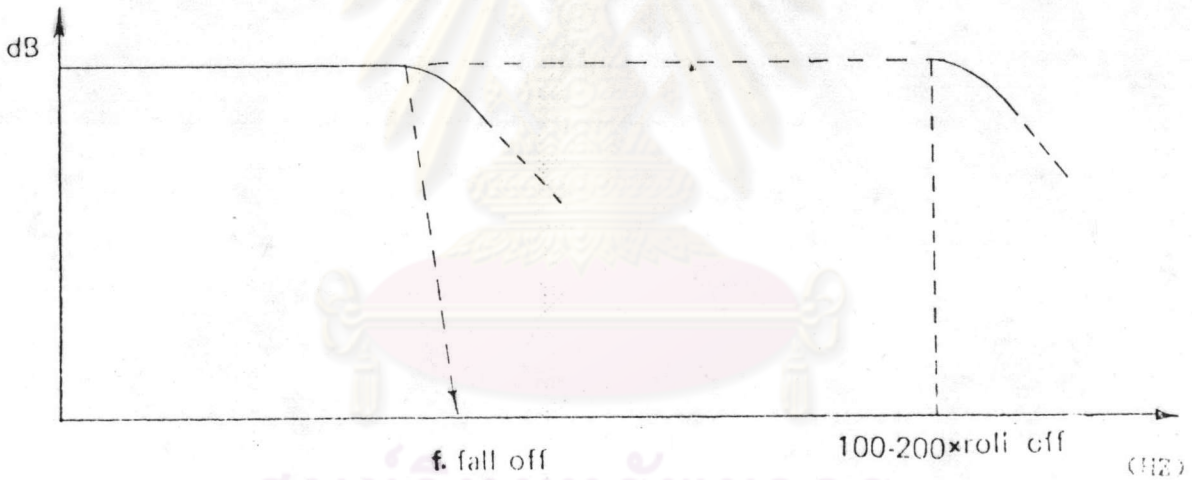
5.2.2 เครื่องวัดความเร็วแบบอุณหภูมิคงที่ (CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETER) CTA เครื่องวัดความเร็วที่มีหัววัดเป็น ฮ็อท ไวร์ และ ฮ็อท ฟิลม์ ปรกติแล้วทั่ว ๆ ไปจะเป็นแบบ CTA มีวงจรเบื้องต้นตามรูปที่ 10 ค่าความต้านทาน และอุณหภูมิของหัววัดความเร็ว (PROBE) จะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ ค่าแรงดันที่ได้จากบริดจ์จะมีความสัมพันธ์อยู่กับ ปริมาณความเร็วที่ถ่ายเทออกไปจากหัววัดความเร็ว ด้วยเหตุนี้จะเกี่ยวพันอยู่กับสภาวะของของไหลที่กำลังพิจารณาในขณะนั้น ๆ บริดจ์จะถูกปรับให้สมดุลย์โดยแรงดันไฟฟ้าจาก เซอร์โว แอมปลิฟายเออร์ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านที่หัววัด อันเกิดจากการถ่ายเทความร้อน จะทำให้บริดจ์เสียสมดุลย์ และขณะเดียวกันแรงดันที่เข้า เซอร์โว แอมปลิฟายเออร์ ก็มีการเปลี่ยนแปลง ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันนี้จะนำไปขยายให้สูงขึ้นแล้วป้อนกลับเข้าสู่บริดจ์เพื่อควบคุมให้บริดจ์สมดุลย์ โดย

การปรับค่าแรงดันไปเลี้ยงบริดจ์ และตรวจสอบค่ากระแส สิ่งสำคัญของระบบนี้ คือ อุณหภูมิหัววัด (PROB) จะต้องคงที่ และค่าความเฉื่อยทางความร้อน (THERMAL INERTIA) จะต้องมีค่าต่ำที่สุด จากการที่ส่วนขยายมีอัตราการเพิ่มที่สูง และมวลของตัวตรวจจับ (SENSING) มีค่าต่ำมาก จะมีผลทำให้ระบบมีความสามารถในการตอบสนองได้ดีแม้ว่าค่าความเร็วมีการเปลี่ยนแปลง หรือแกว่งไกวที่รวดเร็วมากก็ตาม CTA จะมีหลักวิธีในการออกแบบให้อุปกรณ์ช่วยของระบบมีความเสถียรสูงโดยการใช้ค่าอัตราขยายในวงจรปิดสูง ๆ (VERY HIGH CLOSED - LOOP GAIN) และสามารถสมดุลย์ความแตกต่างที่เกิดจากการขยายได้ดี ด้วยคุณลักษณะที่เป็น D. C. คงที่ (ความถี่เป็นศูนย์) ไปจนถึงค่าความถี่สูง ด้วยหลักการนี้สามารถทำให้เป็นจริงได้โดยการใช้สารกึ่งตัวนำ และไอซี และจะได้ค่าอัตราขยายในวงจรป้อนกลับที่สูงมากตามต้องการในขณะที่มีสภาพการสมดุลย์ในช่วงกว้างกว่าแบบ CCA และยังมีความสามารถด้านการตอบสนองความถี่ของหัววัดแบบ FILM ที่ถูกต้องอีกด้วย จากความสามารถด้านการตอบสนอง และหัววัดขนาดเล็กเป็นพิเศษ อีกทั้งสัญญาณที่ได้มีความต่อเนื่องในช่วงกว้าง ปัจจุบัน CTA จึงเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 11 แสดงอุณหภูมิคงที่ของ แอนนิโมมิเตอร์

ในระบบจะใช้ชุดขยาย (AMPLIFIYING UNIT) เป็นตัวตรวจสอบค่าแรงดันในบริดจ์ที่ทำให้เกิดการเสียสมดุลย์แล้วไปทำการปรับกระแสบริดจ์ (โดยวิธีปรับความต้านทานสำหรับปรับสมดุลย์) เพื่อที่จะรักษาความต้านทานของตัวตรวจจับ (SENSOR) และอุณหภูมิของตัวตรวจจับให้คงที่ สัญญาณจาก CTA นี้จะสามารถปรับให้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงได้ โดยใช้ชุดปรับเส้นตรง (LINEARIZER) เพื่อช่วยลดค่าผิดพลาดที่เกิดจากการรบกวนการไหล และการแกว่งไกวของการไหลได้ และยังมีส่วนสำคัญในการเพิ่มความสำคัญของเทอมที่มีกำลังสูง ๆ ในการขยายอนุกรมของสมการความเร็วที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ค่าความถี่ตอบสนองของวงจรนี้สามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยการขยายสัญญาณป้อนกลับ อัตราการขยายของวงจรป้อนกลับ (LOOP GAIN) เป็นค่าสมมุติที่กำหนดขึ้นมาเพื่อดูคุณสมบัติของวงจร ค่าความถี่ตอบสนองสามารถทำให้เพิ่มขึ้นเป็น 100-200 เท่าตัวได้ โดยที่ความถี่ตอบสนอง (FREQUENCY RESPONSE) = ค่าอัตราการขยายวงจรป้อนกลับ (LOOP GAIN)×ความถี่ที่จุดที่ค่าการตอบสนองลดลง (FALL OFF FREQUENCY)



รูปที่ 12 แสดงความถี่ของการตอบสนองของ CTA

แต่ในกรณีของเครื่องวัดความเร็วแบบใช้ FILM [(HOT FILM ANEMOMETERS) H.F.A.] นั้นจะไม่เหมือนกัน เพราะว่า H.F.A. จะมีจุดที่ค่าขนาด (AMPLITUDE) ลดลง (ROLL OFF) เกิดขึ้นสองครั้งจุดแรกเกิดที่ความถี่ประมาณเท่ากับความถี่ของ H.W.A. ที่มีมวลเท่ากันมีค่า -6 dB ส่วนจุดที่สองเกิดที่ค่าความถี่สูงกว่า มีค่า -3 dB สำหรับระบบ C.C.H.F.(CONSTANT CURRENT HOT FILM) กราฟของระบบการทดแทนที่จุดแรก +6 dB ก็ยังคงใช้ได้เช่นเดียวกับ HWA แต่จุดที่สองที่จะต้องมีการทดแทนอีก +3 dB นั้นไม่มี การใช้งานจึงถูกจำกัดความถี่ไม่เกิน

จุดที่ค่าขนาด (AMPLITUDE) ลดลงในครั้งที่สองนี้ สำหรับ C.T.H.F. เส้นกราฟจะได้ในลักษณะเดียวกันคือ มีจุดถูกตัดออกไป 2 จุดแต่กราฟจะถูกเลื่อนไปทางขวามือเท่ากับค่าอัตราการขยายของวงจรปิด (LOOP GAIN) ดังนั้น C.T.H.F. จะรับความถี่ตอบสนองได้มากกว่า C.C.H.F. เป็นร้อยเท่าตัว ความสามารถสูงสุดในการวัดของ H.W.A. หรือ H.F.A. จะขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบหลัก 3 อย่างคือ ระดับการรบกวนของวงจรอิเลคทรอนิคส์ การตอบสนองความถี่ของระบบ และขนาดของตัวตรวจจับ (มีที่ว่างเพียงพอหรือไม่)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย