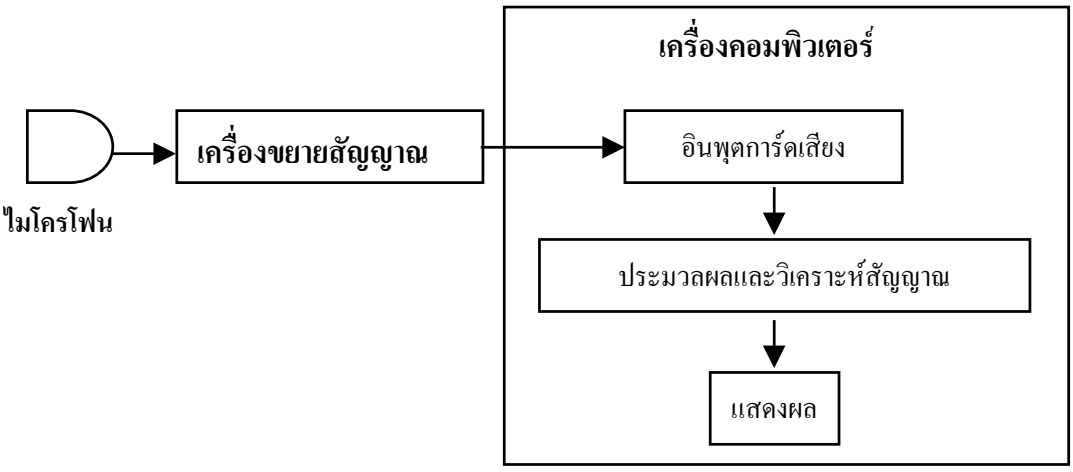
บทที่ 3

วิธีการวิจัย และการออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอร์ฟแวร์ (Software) ส่วนของฮาร์ดแวร์ จะใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ที่เป็นสัญญาณอนาลอก (Analog Signal) โดยปกติไมโครโฟนสามารถตอบสนองความถี่ในย่านความถี่คลื่นเสียง (20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์) ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินคลื่นเสียง จากนั้นนำสัญญาณทางไฟฟ้าของคลื่นเสียง มาผ่านวงจรขยายสัญญาณคลื่นเสียง นำสัญญาณคลื่นเสียงที่ได้ผ่านเข้าทางอินพุตของระบบคอมพิวเตอร์ และแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) โดยผ่านวงจรเอทูดี (Analog to Digital Circuit) ของการ์ดเสียง (Sound Card) เพื่อส่งไปเก็บไว้บนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปของไฟล์ข้อมูลที่เป็นนามสกุล .wav และในส่วนของซอร์ฟแวร์ จะนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์มาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งขณะเดียวกันก็จะนำข้อมูลนั้นมาประมวลผล และวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เพื่อบ่งชี้ระดับของของเหลวภายในท่อ โดยมีแผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัยดังภาพประกอบที่ 3-1

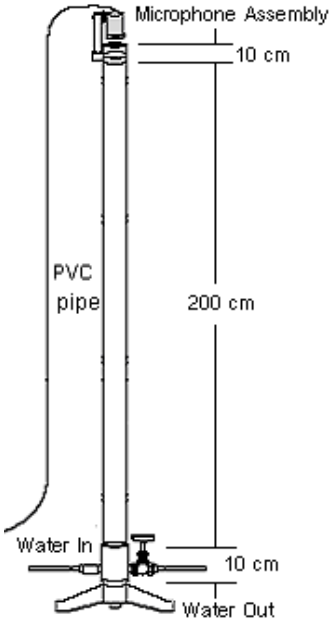


ภาพประกอบที่ 3-1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นเสียง ในแต่ละระดับของของเหลวภายในท่อโดยเขียนซอร์ฟแวร์ด้วยโปรแกรมเชิงวิเคราะห์ MATLAB เนื่องจากเป็นงานวิจัยเชิงทฤษฎีทางฟิสิกส์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดหาค่าระดับของของเหลวภายในท่อนั้น จะขอกล่าวในบทต่อไป

3.1.1 การออกแบบ และสร้างแบบจำลองระดับของของเหลว

จากการศึกษา และทดลองเบื้องต้น โดยทำการวัดค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance) ภายในท่อ PVC สีฟ้า ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในท่อ 15, 18, 20, 40, และ 55 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าค่าความถี่เรโซแนนซ์ภายในท่อ ที่วัดได้ตามขนาดความยาวของท่อมีความถี่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าความถี่ฮาร์โมนิกส์ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ในบทที่ 2 และจากผลการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อจะไม่มีผลกระทบ ที่จะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ภายในท่อเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ ในหัวข้อ 2.5.1 และ 2.5.2 ที่ไม่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดมาเกี่ยวข้องในสมการดังกล่าว



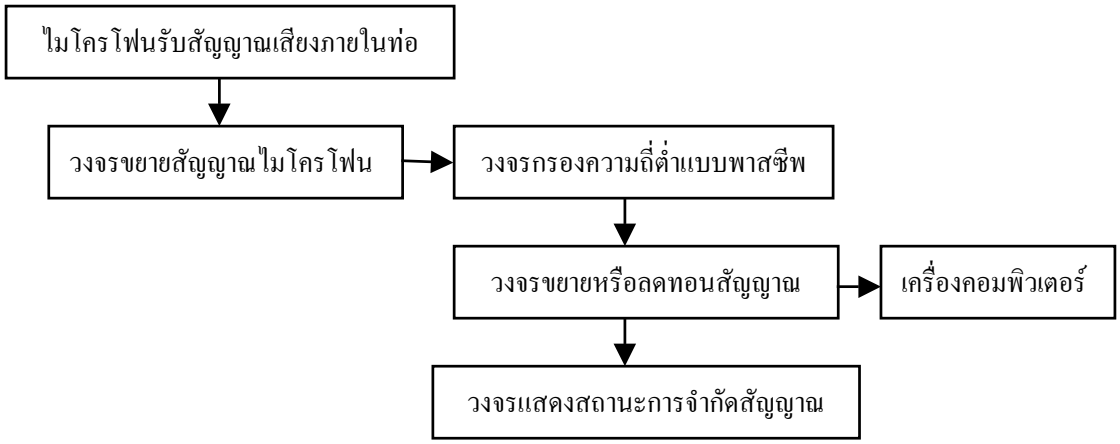
ภาพประกอบที่ 3-2 การออกแบบจำลองระดับของของเหลว

สำหรับงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ได้ออกแบบ และสร้างแบบจำลองระดับของของเหลว โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในท่อ 55 มิลลิเมตร และมีความยาวท่อ 220 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-2

3.1.2 การออกแบบเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ

ในการออกแบบเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ ที่มีอัตราขยายสัญญาณที่สูง (ประมาณ 1000 เท่า) โดยเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ จะประกอบด้วยวงจรขยาย

สัญญาณไมโครโฟน วงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีพ วงจรขยายหรือลดทอนสัญญาณ วงจรแสดงสถานะการจำกัดสัญญาณ และวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-3



ภาพประกอบที่ 3-3 แผงผังการทำงานของเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ

ในการออกแบบวงจรด้วยไอซี LM324 ซึ่งมีออปแอมป์ภายใน 4 ตัว และใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องมีแรงดันอ้างอิง (Voltage Referance) ประมาณ 2 โวลต์ เพื่อให้ออปแอมป์สามารถขยายสัญญาณคลื่นเสียงได้ทั้งช่วงบวกและลบ โดยจะกล่าวรายละเอียดของแต่ละวงจรในลำดับต่อไป

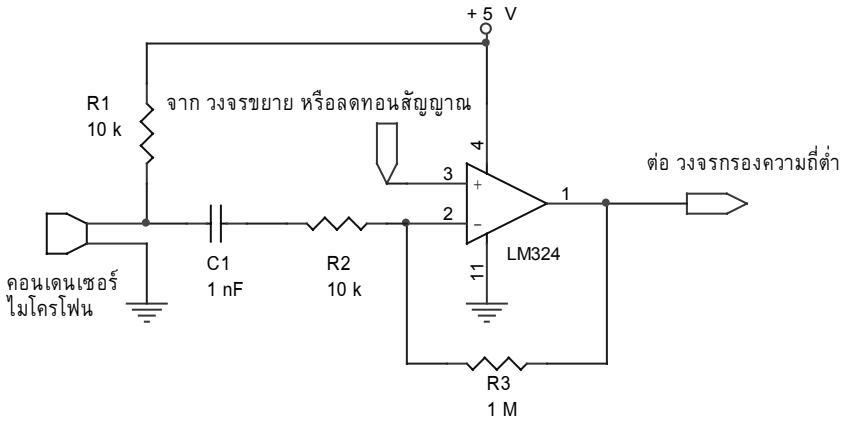
3.2 วงจรขยายสัญญาณไมโครโฟน

โดยทั่วไปแล้ว คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นภายในท่อสามารถได้ยินด้วยหูของมนุษย์ เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงในบริเวณรอบๆ ที่แผ่กระจายในอากาศเข้ามาภายในท่อ ดังนั้นคลื่นเสียงที่เกิด

ขึ้นจะมีความถี่ต่างๆ และขนาดความเข้มของคลื่นเสียงจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะทางของแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงนั้นๆ ซึ่งสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อที่ได้จากไมโครโฟนจะมีขนาดของสัญญาณที่สูงและต่ำ ดังนั้นในการออกแบบและเลือกวงจรขยาย จึงจำเป็นต้องพิจารณาการตอบสนองความถี่และมีอัตราขยายสัญญาณได้ตามที่ต้องการ เพื่อให้สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์ต่อไปได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นเสียงที่มีอัตราขยายสัญญาณประมาณ 100 เท่า ซึ่งออกแบบวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณทางไฟฟ้าของคลื่นเสียงที่เกิดจากไมโครโฟน โดยมีแผนผังวงจรดังแสดงในภาพประกอบ 3-4 และสามารถคำนวณอัตราขยายของวงจรจากสมการ (3-1)

$$\text{Gain} = -\frac{R_3}{R_2} \tag{3-1}$$

สำหรับการออกแบบวงจรขยายสัญญาณไมโครโฟน จะเป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส ซึ่งกำหนดอัตราขยายเท่ากับ 100 เท่า ดังนั้นจึงเลือกค่าจาก R_2 = 10 กิโลโอห์ม และ R_3 = 1 เมกกะโอห์ม แทนในสมการที่ (3-1) จะได้อัตราขยายตามต้องการ



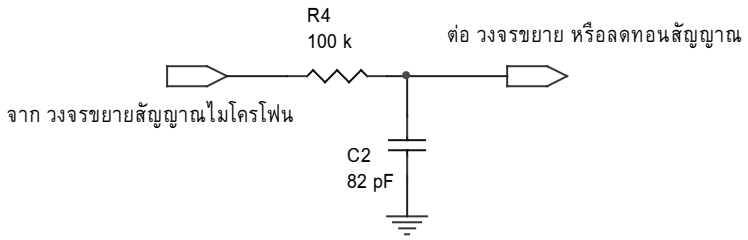
ภาพประกอบ 3-4 แผนผังวงจรขยายสัญญาณไมโครโฟน

3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีฟ

เนื่องจากสัญญาณทางไฟฟ้าของคลื่นเสียงภายในท่อ ที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในย่านความถี่คลื่นเสียง (20 เฮิรตซ์ ถึง 20 กิโลเฮิรตซ์) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงที่ไม่ต้องการ ในขณะเก็บข้อมูลของสัญญาณคลื่นเสียง จึงได้ทำการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีพ (Passive Low Pass Filter) โดยมีแผนผังวงจรดังแสดงในภาพประกอบ 3-5 ซึ่งสามารถคำนวณความถี่คัตออฟ (f_c) จากสมการ (3-2)

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_4 C_2} \tag{3-2}$$

สำหรับการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีพ โดยกำหนดความถี่คัตออฟ 20 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นจึงเลือกค่า R_4 = 100 กิโลโอห์ม และ C_2 = 82 พิโคฟารัด แทนในสมการ (3-2) จะได้ความถี่คัตออฟเท่ากับ 19.41 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งใกล้เคียงโดยประมาณ 20 กิโลเฮิรตซ์ ตามต้องการ



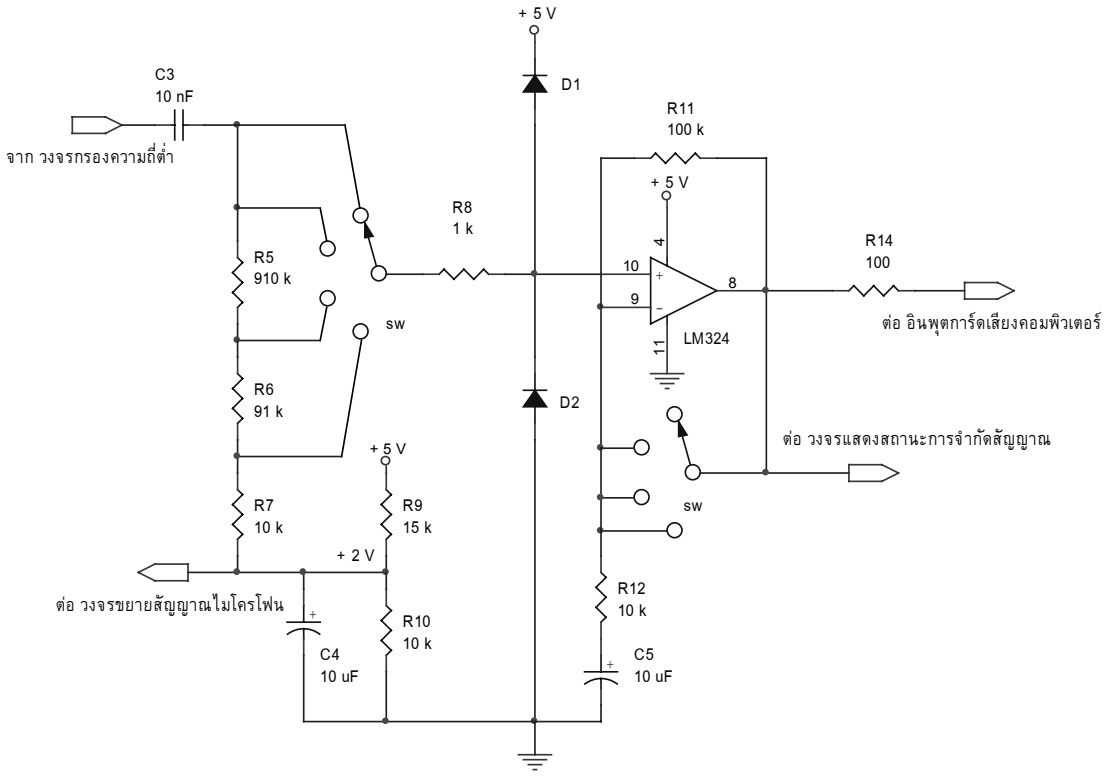
ภาพประกอบที่ 3-5 แผนผังวงจรกรองความถี่ต่ำแบบพาสซีฟ

3.4 วงจรขยาย หรือลดทอนสัญญาณ

วงจรขยาย หรือลดทอนสัญญาณคลื่นเสียง เป็นวงจรที่ใช้ปรับขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นเสียงที่ได้จากวงจรกรองความถี่ต่ำ ให้มีขนาดของแอมพลิจูดที่เหมาะสมกับอินพุตของการ์ดเสียงที่จะรับได้ (ประมาณ 0.8 โวลต์อาร์เอ็มเอส) และเพื่อป้องกันวงจรเกิดการอิ่มตัว โดยจะทำการขยายสัญญาณคลื่นเสียง ในกรณีที่คลื่นเสียงมีขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นเสียงต่ำ หรือลดทอนสัญญาณกรณีที่ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นเสียงสูงไป โดยใช้สวิตซ์แบบเลื่อน 4 ทาง 3 ชุด ที่อยู่ในตัวเดียวกัน ทำหน้าที่ปรับเลือกการขยาย หรือลดทอนสัญญาณคลื่นเสียง โดยมีแผนผังวงจรดังแสดงในภาพประกอบ 3-6

ในการออกแบบวงจรขยาย จะเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier) ซึ่งกำหนดอัตราขยายสัญญาณ 10 เท่า ดังนั้นจึงเลือกค่า R_{12} = 10 กิโลโอห์ม และ R_{11} = 100 กิโลโอห์ม แทนในสมการที่ 3-3 จะได้อัตราขยายตามต้องการ

$$\text{Gain} = \frac{R_{12}}{R_{11}} \tag{3-3}$$



ภาพประกอบที่ 3-6 แผนผังวงจรขยาย หรือลดทอนสัญญาณคลื่นเสียง

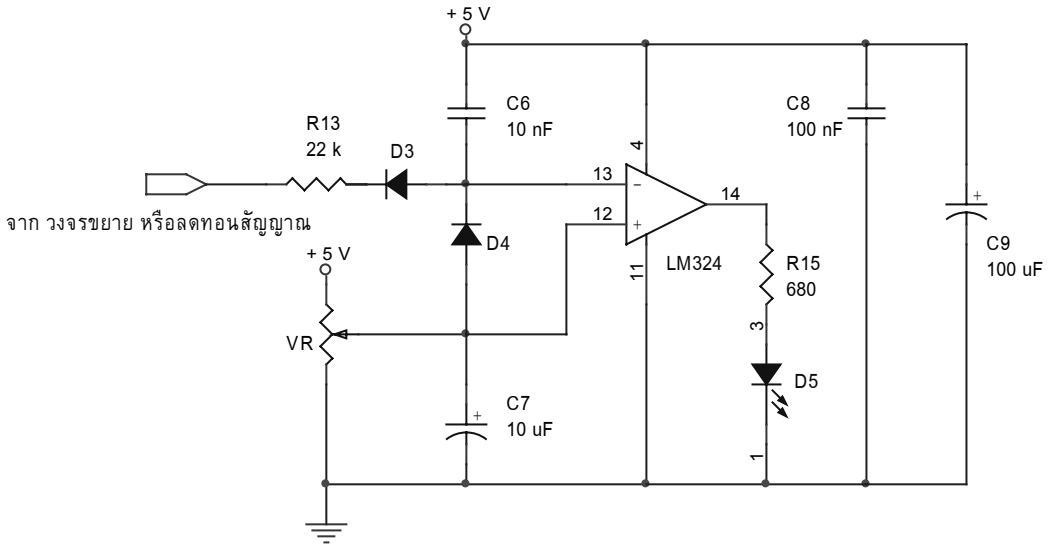
ในส่วนของการออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณคลื่นเสียงซึ่งสามารถเลือกได้ 3 ระดับ โดยทำการหารแรงดันไฟเลี้ยงเหลือประมาณ 2 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงป้อนให้กับตัวต้านทาน R_5 = 910 กิโลโอห์ม, R_6 = 91 กิโลโอห์ม และ R_7 = 10 กิโลโอห์ม ในการลดทอนสัญญาณคลื่นเสียงเป็น 1, 10 และ 100 เท่าตามลำดับ ซึ่งสัญญาณที่ได้จะผ่านวงจรขยายตาม (Follower Amplifier)

และใช้ไดโอด D_1 และ D_2 ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ระดับสัญญาณที่เข้ามาสูงกว่าย่านเพาเวอร์ซัพพลายของวงจร

3.5 วงจรแสดงสถานะการจำกัดสัญญาณ

จากการทดลองเก็บข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าของคลื่นเสียงภายในท่อ พบว่าในบ้างช่วงของระดับของของเหลวมีขนาดแอมพิลจูดของสัญญาณสูงมาก ทำให้วงจรขยายสัญญาณเกิดการอิ่มตัว ไม่สามารถนำสัญญาณไปวิเคราะห์ได้ ซึ่งเกิดจากสาเหตุของความเข้มของคลื่นเสียงดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรแสดงสถานะการจำกัดสัญญาณ โดยแจ้งเตือนสถานะดังกล่าวด้วยหลอด LED (Light Emitting Diode) ให้ทราบ เพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณที่สูงเกินผ่านเข้ามาทำให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลของการ์ดเสียงเกิดกาเสียหาย โดยการปรับสวิตซ์เลือกการทำงานที่เหมาะสมตามหัวข้อที่ 3.4

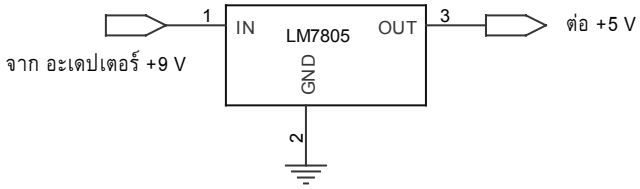
สำหรับการออกแบบวงจรแสดงสถานะการจำกัดสัญญาณคลื่นเสียง จะเป็นวงจรเปรียบเทียบแบบวงจรตรวจจับระดับสัญญาณ (Comparator Level Detector) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-7



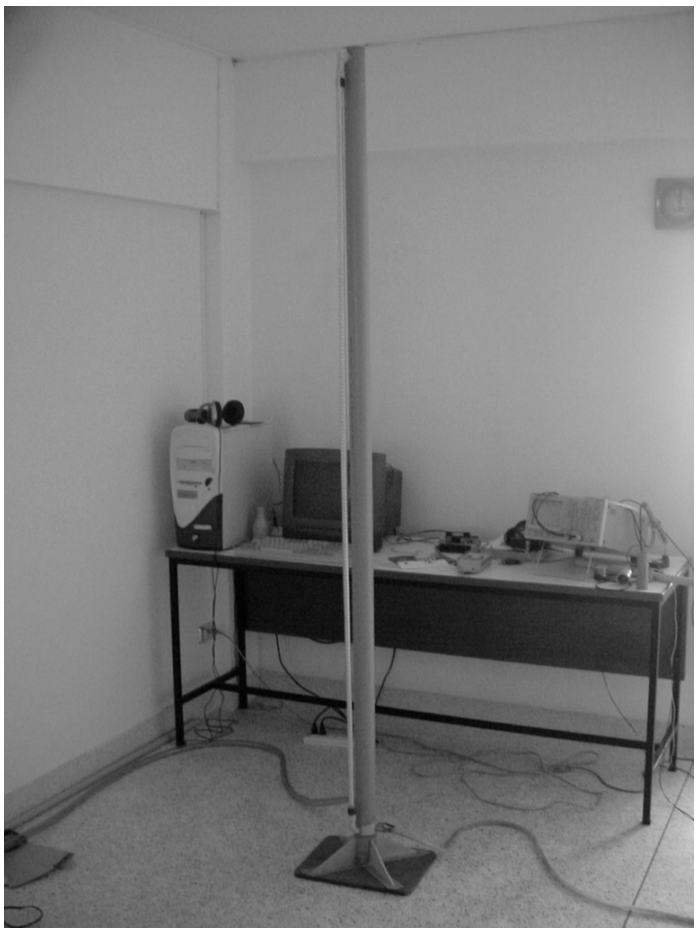
ภาพประกอบที่ 3-7 แผนผังวงจรแสดงสถานะการจำกัดสัญญาณคลื่นเสียง

3.6 วงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

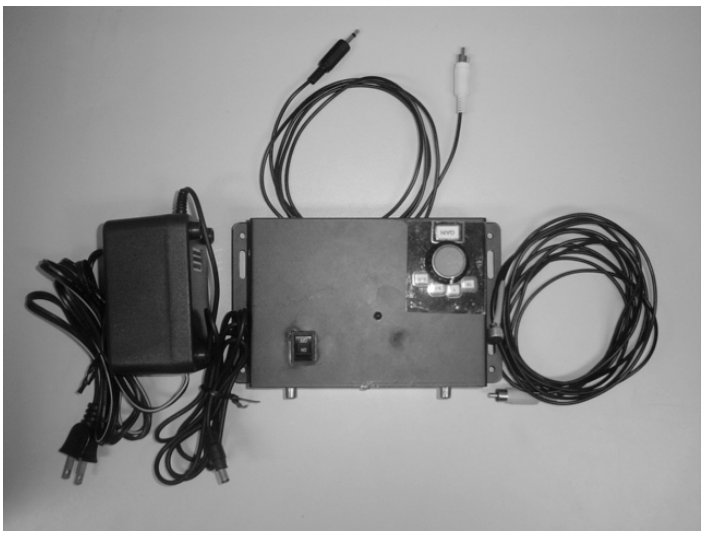
ในส่วนของวงจร Power Supply จะใช้อะเดปเตอร์ขนาด 9 โวลท์ 1 แอมแปร์ จ่ายให้ไอซี LM7805 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-8 ซึ่ง LM7805 มีระดับแรงดันด้านออกเท่ากับ +5 โวลท์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรต่างๆ ของเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อต่อไป



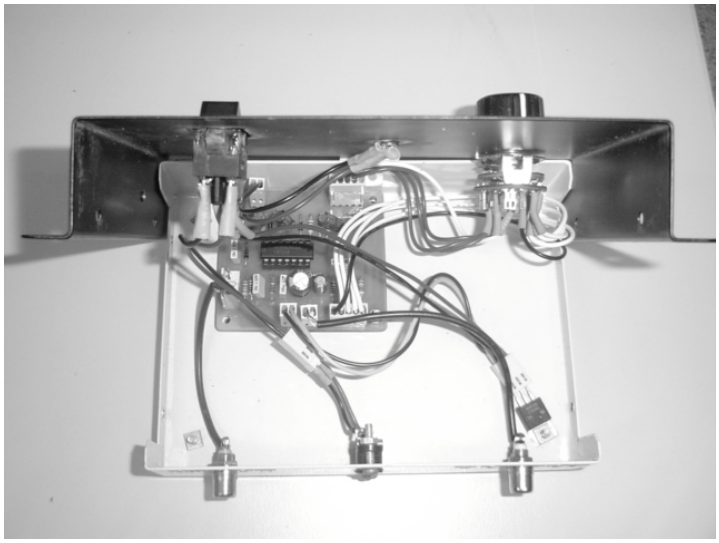
ภาพประกอบที่ 3-8 แผนผังวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย



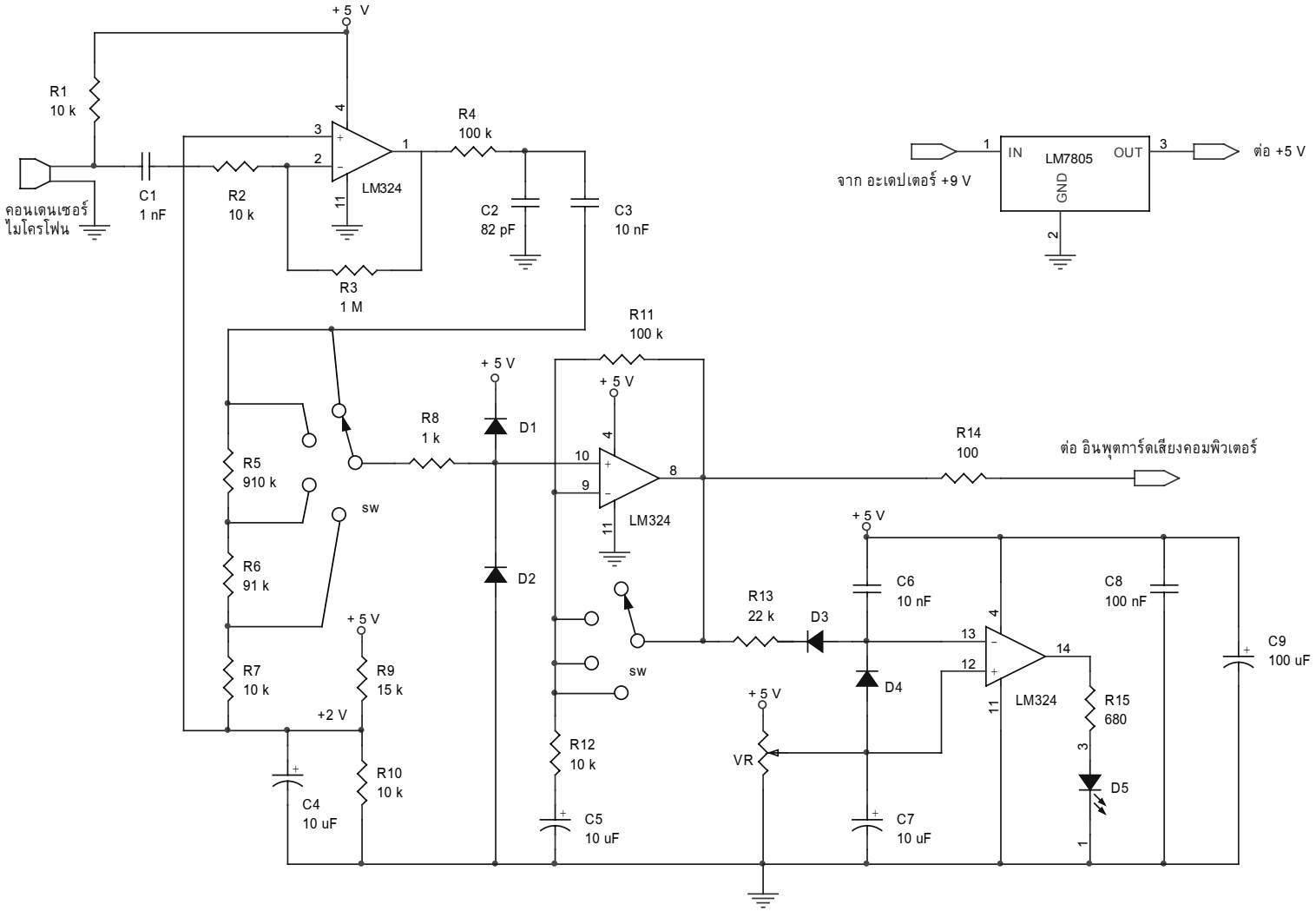
ภาพประกอบที่ 3-9 การสร้างแบบจำลองระดับของของเหลว



ภาพประกอบที่ 3-10 เครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ



ภาพประกอบที่ 3-11 แสดงภายในเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ



ภาพประกอบที่ 3-12 แผนผังวงจรของเครื่องขยายสัญญาณคลื่นเสียงภายในท่อ