



CHALMERS



Strömreducering av buzzer

Current reduction of buzzer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik

Simon Hogner

Michael Schempp

EXAMENSARBETE INOM HÖGSKOLEINGENJÖRSPROGRAMMET
ELEKTROTEKNIK

Strömreducering av buzzer

Simon Hogner
Michael Schempp



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2020

Strömreducering av buzzer

Simon Hogner

Michael Schempp

© Simon Hogner, Michael Schempp. 2020

Handledare: Alex Frithiofson, Consilium Safety Group

Examinator: Jian Yang, Institutionen för Elektroteknik

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Sammanfattning

Företaget Consilium behöver strömreducera ett brandsystem för en kommande kund. I denna rapport kommer alternativa lösningar för detta tas upp. Testresultat och slutsats om hur företaget rekommenderas att lösa problemet kommer att beskrivas.

Det som kommer att vara i fokus är att hitta en lösning som drar mindre ström inom deras buzzer kåpa. En buzzer är en komponent som består av en piezo-disk som skapar det fysiska ljudet och buzzern är den kompletta produkten där piezo-disken är placerad i kåpan. Den nuvarande buzzer är anpassad för många olika marknader vilket gör att den är för avancerad och blir därmed inte optimal för någon situation. Uppgiften som är given är därför att konstruera en buzzer åt företaget med specifika krav, däribland strömreduceringen. Syftet med arbetet är att ha en färdig buzzer prototyp som drar mindre ström än CD-S:n och ljuder minst 90 dB på 1 meter. CD-S:n kan enkelt kopplas ihop med SUM-3:an(detektor) som kommunicerar med LoopMX-kortet. Detta är sedan kopplat till en piezo-disk som vibrerar och skapar det fysiska ljudet som hörs

Utifrån företagets förundersökning var den självklara lösningen att konstruera en egen buzzer då nuvarande buzzer har många funktioner som är irrelevanta för uppdraget som är givet. Därför köptes ett flertal buzzers och rena piezo diskar med olika egenskaper in. Utifrån dessa buzzers skapades två olika drivkretsar. Första kretsen skickar en bestämd frekvens till buzzern. Den andra kretsen återkopplar signalen så att denna alltid hittar buzzerns resonansfrekvens och därmed uppnår högsta möjliga ljudtryck.

Den återkopplande kretsen gav det bästa resultaten, högt ljudtryck, låg strömförbrukning och låg spridning. Sinus kretsen gav ett resultat med hög spridning då varje buzzer har olika resonansfrekvenser. Av alla buzzers och piezo diskar som testades gav buzzern *EFM-230EN* det bästa resultatet.

Det skapades ett ljudsystem som drar mindre ström och högre ljudnivå. Problemet med ljudnivån är att få fram ett exakt värde, man behöver då ha tillgång till ett ljudlabb som det inte hade. Därför kan det inte garanteras en exakt ljudvolym utan endast att den är högre än den tidigare.

Abstract

The company Consilium gave an assignment to reduce the amount of current in one of their upcoming fire detection systems. This report will include two solutions that will reduce the amount of current, test results and a conclusion in which direction it is recommended that the company will continue to work from.

The focus will be to find an energy efficient buzzer to connect inside their existing fairing. Their existing solution is used in many different areas and therefore it is not optimal in any application. The assignment is to construct a working buzzer that achieves the specific requirements. The goal is to create a buzzer prototype that uses less current and has a sound volume of at least 90 dB at 1 meter.

From previous research that Consilium had made it became clear that it is needed to construct a new buzzer instead of modifying their existing one. Due to the fact that their buzzer has too many irrelevant functions that don't apply to the project. Therefore, a decision was made to purchase various buzzers and piezo discs with different characteristics and later on create two different diving circuits. First circuit sends in a specific frequency and the other circuit uses a feedback segment that will try to match the frequency with the buzzer's resonant frequency.

The feedback circuit gave the best result. It had the highest sound volume combined with the lowest current. The other circuit had a high dispersion because each copy of the same buzzer had a different resonance frequency. Of all the buzzer and piezo discs that were tested the EFM-230EN feedback buzzer gave the best result.

The goals for this project were achieved except to get an accurate decibel. This is due to the fact that there wasn't any proper equipment to measure a precise value to access. The result can only show that the solution is louder than their present one.

Förord

Examensarbetet är gjort för Chalmers Tekniska Högskola inom elektroteknik för högskoleingenjörer på institutionen för elektroteknik. Examensarbetet omfattar 15 hp och motsvarar 15 veckor och är gjort under hösten 2020.

Ett stort tack till medarbetarna på Consilium Alex Frithiofson, Stefan Dahlgren, Tom Pedersen, Axel Jonsson Lindell och Per Olsson som har varit där och kunnat hjälpa under arbetets gång. Dessa personer har hjälpt genom att förmedlat sin kunskap, informerat om tänkbara lösningar och väglett genom vårt examensarbete. Dem har bjudit in till deras arbetsvardag där man fått delta i möten, upplärningar av mjukvaruprogram och även själva bokat möten. Dem har givit en inblick om hur arbetslivet verkligen fungerar, från ide till färdig prototyp.

Stort tack till er.

Terminologi

- **PCB: Printed Circuit board**
 - Ett verktyg där man kan visualisera och konstruera kretskort.
- **DC-spänning:**
 - Likspänning
- **AC-spänning:**
 - Växelspänning
- **AD: Altium Designer**
 - Ett mjukvaruprogram där man kan simulera, konstruera och designa kretsar samt kretskort.
- **HWDD: Hardware design description**
 - Ett dokument där man läser information samt tester som gjorts på en viss komponent.
- **SUM-3: Detektor**
 - Den nuvarande detektor som detekterar brand och rök. CD-S:n är kopplad till SUM-3.
- **LoopMX slave:**
 - Ett kommunikationskort mellan detektorer och kontrollrum. Sitter i slutet av detektorslingan, kommunicerar med alla detektorer och övervakar spänningsfall.
- **LoopMX master:**
 - Ett kommunikationskort mellan detektorer och kontrollrum. Sitter i början av detektorslingan, kommunicerar med alla detektorer och övervakar spänningsfall.
- **X dBA@Y m:**
 - X antal decibel per Y antal meter.
- **Kåpa:**
 - Plasthöljet där piezo disken är placerad i.
- **OP-förstärkare:**
 - En förstärkare som ökar spänningen på en inkommande signal.
- **Elektrolytisk kondensator:**
 - En polariserad kondensator som kan spara högre volym av elektriska laddningar.
- **Spänningsregulator:**
 - Omvandlar spänningen, antingen nedåt eller uppåt .
- **Step down regulator:**
 - Omvandlar spänning från ett högre värde till ett lägre. Effekten som skapas när omvandlingen sker användas för att få ut en lägre ström.
- **IC:CD4049:**
 - En komponent med flera inverterande förstärkare. Används i feedback kretsen.
- **NMOS Transistor:**
 - En transistor som reglerar mängden ström som skickas in i kretsen.
- **Drivkrets:**
 - En krets som driver buzzern. Nyckeldelar som brukar inkluderas i denna krets är en oscillerande krets och en krets som hittar rätt frekvens.
- **Buzzer:**
 - Tuta med en piezo disk som är omgiven av en kåpa *Bild 5*.

- **Piezo disk:**
 - En ren disk som kan placeras rakt in i CD-S:n. Skapar det fysiska ljudet.
- **CD-S: Nuvarande buzzer**
 - Den tidigare versionen av buzzern som skall effektiviseras.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	iii
Abstract.....	iv
Förord.....	v
Terminologi.....	vi
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Krav och mål för ny buzzer.....	2
1.5 Precisering av frågeställningen.....	3
2. Teoretisk referensram.....	4
2.1 SUM-3.....	4
2.2 LoopMX.....	4
2.3 CD-S.....	5
2.4 Piezo-disk.....	6
2.5 Förundersöknings dokument av Consilium.....	6
2.6 EN54-3.....	6
2.7 SA-555.....	7
3. Metod.....	8
3.1 Förundersökning.....	8
3.2 Inköp av nya piezo diskar och buzzers.....	9
3.3 Skapande av drivkrets.....	11
3.4 Granskning av krets.....	11
3.5 Utveckling av kretsar.....	11
3.6 Framställning av Kretsar.....	13
3.7 Skapande av testprotokoll.....	14
4. Genomförande.....	16
4.1 Konstrueringen av drivkretsar.....	16
4.2 Test av buzzer och piezo diskar.....	18
4.3 Vidare testning, oscillerande krets och feedback buzzer.....	24
4.4 Avslutning på Consilium.....	26
5. Teori och beräkning.....	28
5.1 Resonansfrekvens i kåpan.....	28
5.2 Decibel uppskattning.....	29
5.3. Oscillerande krets.....	29

5.4. Sinus kretsen	30
5.4.2 Operationsförstärkare	30
6. Ekonomi	31
6.1 Kostnad för utveckling av prototyp	31
6.2 Total kostnad för lösningar	33
7. Resultat	34
7.1 Strömreducering i buzzern	34
7.2 Skapa en buzzer vilostöm på 0 Ampere	34
7.3 Går det att arbeta utifrån CD-S kåpan	34
7.4 Det bästa alternativet, piezo-disk eller färdig buzzer	34
7.5 Möjliga utvecklingsområden	35
8.1 Resonemang kring arbetsprocessen	37
8.2 Test processen	37
8.3 Uppnådda mål	38
8.4 Miljö och Etik	39
9. Slutsats	40
9.1 Vad är möjligt	40
11. Referenser	55

1. Inledning

I detta kapitel kommer uppdragsbeskrivningen att förklaras. Bakgrund kring företaget Consilium och varför uppgiften kom till. Här ingår även kraven och målen som är givna både från kund och företag.

1.1 Bakgrund

Arbetet som utförs är för företaget Consilium som i största del utvecklar och bygger kompletta larmsystem som detekterar och informerar vid brand, gasläckor etc. Deras fokus är större byggnader, militären och fartyg, inte för privat bruk[1].

Ett av deras uppdrag är att skapa ett brandlarmsystem för en stor passagerarbåt. Systemet dem planerar på att använda just nu drar för mycket ström. Man vill därför reducera strömmen i systemet och mer specifikt vill man reducera det inom buzzern. En förundersökning som är gjord visar att potentialen att minska strömmen inom buzzern är stor. På grund av att företaget har en väldigt bred marknad har de skapat en buzzer som ska fungera på många olika områden i många olika sammanhang. Detta gör att dem kan använda samma buzzer på nästan alla sina system. Nackdelen med detta är att den aldrig blir optimal för något användningsområde. Därför kommer all fokus att vara på att försöka reducera strömmen i buzzern. På Consilium finns det tillgång till lödstation och kunniga personer inom området som kommer att vägleda oss under arbetets gång.

1.2 Syfte

Arbetets syfte är att skapa en buzzer prototyp . Den ska dra mindre ström än deras nuvarande buzzer och samtidigt uppnå kraven som deras produkt kan. Målet är att minska strömbrukningen till buzzern från ca 3.5mA till ca 1.5mA. Samtidigt finns det även en budget som kräver att en prototyp skapas som kostar lika mycket eller är billigare än CD-S:n.

1.3 Krav och mål för ny buzzer

Krav & mål	Beskrivning	Kommentar
Krav 1	Måste uppfylla EN54-3 standarden	Tjuta mer än 90 dB vid 1 m för att uppnå 75 dB@ vid "sovposition"(Ca 4m)
Krav 2	Kontinuerligt ljud från buzzers	Utrymningslarm
Krav 3	Testa om det är möjligt att minska strömmen i CD-S:n	
Mål 1	Den nya buzzern ska passa i samma kåpa	Miljövänligare
Mål 2	buzzern ska använda en frekvens som är hörbar för allmänhet	Rekommenderas en frekvens mellan 2-4 kHz
Mål 3	Kosta mindre än eller lika med Sum-3	CD-S, pris =107 kr
Mål 4	Ström reducera buzzern från 3.5mA till 1.5mA	

Tabell 1, Krav och mål för projektet,

1.4 Avgränsningar

Under projektets gång skall fokus vara på reducera strömmen inom buzzern. Det finns många andra delar som går att minska strömmen på inom systemet.

Möjliga områden för minskning av ström	Kommentar
Kablarnas resistans	Om tjockleken på kabeln minskar gör även resistansen det. Vilket leder till en lägre ström.
Längden på kablarna	Om brand systemet byggs upp på ett mer strukturerat sätt kan längden av kabeln minska därav lägre resistans i kablarna.
NMOS-transistor	Det används NMOS-transistorer i deras system för att reglera spänningen. Den har en låg verkningsgrad som skulle kunna effektiviseras.
Höja spänningsfallet i loopMX	Om spänningsfallet ökar kan systemet bli uppbyggt på ett mer effektivt sätt och därmed dra mindre ström.

Tabell 2, Avgränsningar för projektet.

Delar som är nämnda ovan skall inte behandlas.
Då arbetet är med endast buzzern kommer inte kommunikationen hanteras mellan LoopMX och buzzern samt systemet som sensorerna är uppbyggda i.

1.5 Precisering av frågeställningen

- Hur mycket går det att ström reducera buzzern?
- Går det att skapa en vilostöm på 0A?
- Går det att arbeta utifrån CD-S?
- Vilket är det bästa alternativet? piezo disk eller färdig buzzer?
- Vilka möjliga utvecklingsområden finns?

2. Teoretisk referensram

I detta avsnitt beskrivs huvudtermerna inom projektet för att få en förståelse på vad dem har för syfte. Här presenteras även äldre dokument om liknande produkter och förundersökningar till prototypen.

2.1 SUM-3

SUM-3 är Consiliums detektor som buzzern kommer att vara applicerad till *Bild 1*. SUM-3:s ansvar är dels för att detektera olika brandfaror men också att förmedla information till detektorerna i närheten och till LoopMX-kortet. Detektorn kommer att användas som en insignal till att starta buzzern[2].



Bild 1, SUM-3

2.2 LoopMX

LoopMX är en komponent som sitter i början och slutet av varje slinga med detektorerna *Bild 2*. Denna komponent ansvarar för spänningen över hela systemet. På varje slinga kommer det att sitta 250 stycken detektorer.

LoopMX's uppgift är att tillföra detektorerna med spänning och mäter även spänningsfallet mellan LoopMX-master och LoopMx slave. LoopMX-master är den som sitter först i slingan och slave är den sista. Man mäter alltså med hjälp av LoopMX, spänningsfallet över alla detektorer så att alla detektorer får rätt spänning. LoopMX -master skickar in en spänningen på 36 volt. På grund av att detektorerna är kopplade i en lång slinga tappas därmed en del spänning till den sista detektorn. Hur mycket spänning som tappas kallas för spänningsfall. Consilium har satt en gräns på ett spänningsfall på max 8V innan den kommunicerar ut till kontrollpanelen att det är något som inte stämmer.[3]



Bild 2, Loop MX

2.3 CD-S

CD-S:n är deras nuvarande buzzer som används inom deras larmsystem *Bild 3*. CD-S:n fungerar i ett stort temperaturspann, har ett driftspänningsområde på 22 till 38 Volt. En driftström på max 3,3 mA [4]. CD-S som är deras standard buzzer har en rad inställningar där man kan ställa in vilken slags ljudsignal som skall ljuda, om den ska vara kontinuerlig eller om den ska vara pulserande. Dock bestäms inte med vilken ljudstyrka (dB) som buzzern skall ljuda på. Varje inställning har sin ljudstyrka.

CD-S har tre stycken inportar. Den röda kabeln skickar in spänning, svarta kabeln är kopplad till jord och den gula kabeln är strömövervakning, det är denna kabel som står för vilostrommen. Den gula kabeln har som uppgift att aktivera buzzern tillsammans med spänningskabeln.

Eftersom CD-S:n skall kunna ljuda på olika sätt och kunna passa in i alla deras olika system måste buzzern klara av olika spänningar och kunna reglera spänningen in till buzzern. Vissa signaler kräver mer spänning och vissa mindre, därför finns det en del komponenter som reglerar detta inom buzzern samt skydd mot om det skulle komma in för mycket ström. CD-S:n kan enkelt kopplas ihop med SUM-3:an som kommunicerar med LoopMX-kortet. Detta är sedan kopplat till en piezo-disk som vibrerar och skapar det fysiska ljudet som hörs, denna komponent tillhör buzzern men kommer att beskrivas separat om hur denna funkar[4].



Bild 3: CD-S

2.4 Piezo-disk

Piezo-disk är den komponent som skapar det fysiska ljudet till buzzern med hjälp av vibrationer *Bild 4*. Piezo-disken består utav ett piezoelektriskt element som tillsammans med en metall skapar en effekt som är kallad för piezoelektrisk effekt [5]. När spänning appliceras till disken så krymper disken och sedan utvidgas, denna vibrationen är det som genererar ljudet som får disken att låta. Disken brukar ha en jordkabel och en spänningskabel kopplad till sig. Det finns dock en annan variant med tre stycken kablar där den tredje kabeln är en feedback kabel. Fördelen med att ha en feedback kabel är att piezo disken självsvänger (self oscillation) vilket medför att när disken har hittat sin resonansfrekvens kommer den att stanna där och svänga. Detta är bra för att det drar mindre ström då disken självsvänger och ger den högsta möjliga verkningsgraden. Disken hittar sin frekvens på en gång vilket gör att den blir mer pålitlig och ljudet som skapas kommer vara mer konstant. [6].

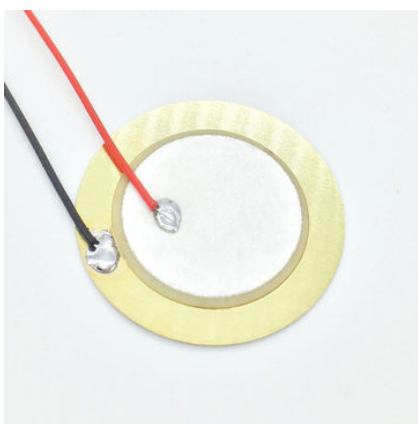


Bild 4, Piezo disk.



Bild 5, Piezo disk i en anpassad kåpa, Alltså buzzer.

2.5 Förundersöknings dokument av Consilium

Utvecklandet av en ny buzzer har pågått länge. Ett förundersöknings dokument i form av ett excel dokument skapades som samlade in alla faktorer för systemet där de gick att se vilka faktorer som hade störst påverkan på systemet i ström väg. Där ingick bland annat längd och tjocklek på transportkabeln, antal detektorer, mängden spänning etc. Utifrån dokumentet var det tydligt att det fanns störst potential att uppnå målet med att reducera ström var i buzzern [7].

2.6 EN54-3

EN54-3 är ett lagkrav som täcker dem lagar som krävs för att en produkt ska kalla sig för ett brandlarm inom det generella marina området [8]. Lagkravet omfattar områden som vilken frekvens, ljudvolym och temperaturer som larmet skall klara av för att bli certifierad och brukbar inom det marina området. Dessa krav kan även vara beroende på vilket land produkten skall brukas inom. Prototypen som ska konstrueras behöver följa dessa regler.

2.7 SA-555

SA-555 är en komponent som är en integrerad krets som kan generera pulser, oscillationer, timerfunktioner och en massa andra funktioner *Bild 6*. I detta projekt kommer denna komponent att användas främst för den oscillerande funktionen. Den tar in en DC-spänning som den sedan får att oscillera med en bestämd frekvens. Den bestämda frekvensen skapas genom att koppla ihop två resistorer och en kondensator. Uträkningen på detta finns längre ned i rapporten(5.4) [9].

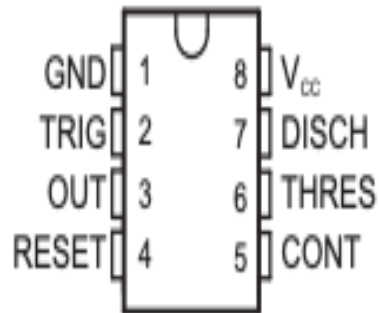


Bild 6: SA-555 pin konfiguration

3. Metod

I detta kapitel kommer arbetsupplägget att beskrivas. Detta omfattar arbetsgång, tester, förundersökning och förberedelser inför genomförandet.

3.1 Förundersökning

De redan gjorda förarbetet gav fram mycket användbar information. Följande punkter var de viktigaste delarna:

- Ljudet från buzzern kommer från en piezo-disk var inte optimal på frekvensen och kan därmed göras mer effektiv.
- Finns det redan mer effektiva buzzers på marknaden som kan användas istället för piezo disken som används i CD-S:n.
- Det finns en dil-switch som hanterar olika utsignaler. Vilket var något som inte behövs inom detta projekt och kan därmed utesluta den delen av kretsen helt [7].

Eftersom en prototyp skall skapas bör den simuleras innan den skapas fysiskt. Detta kan göras inom programvaran LTspice. Prototypen kommer att byggas inom Altium Design som har LTspice integrerat. Simuleringarna ska göras för att se vilken påverkan olika komponenter har samt deras relation till strömmen. Målet med detta test var att skapa en frekvensgenerator som genererar en resonansfrekvens ihop med kåpan och piezo-disken som buzzern kommer att vara placerad i.

Den första simulering var en kopia av en redan färdig frekvensgenerator *Bild 7*.

Problemet med den simulerade generatoren var att resonansfrekvensen var för låg i förhållande till resonansfrekvensen till kåpan. Om frekvensen som skapas i kretsen var i samma frekvens som kåpan kommer detta att leda till en optimal verkningsgrad.

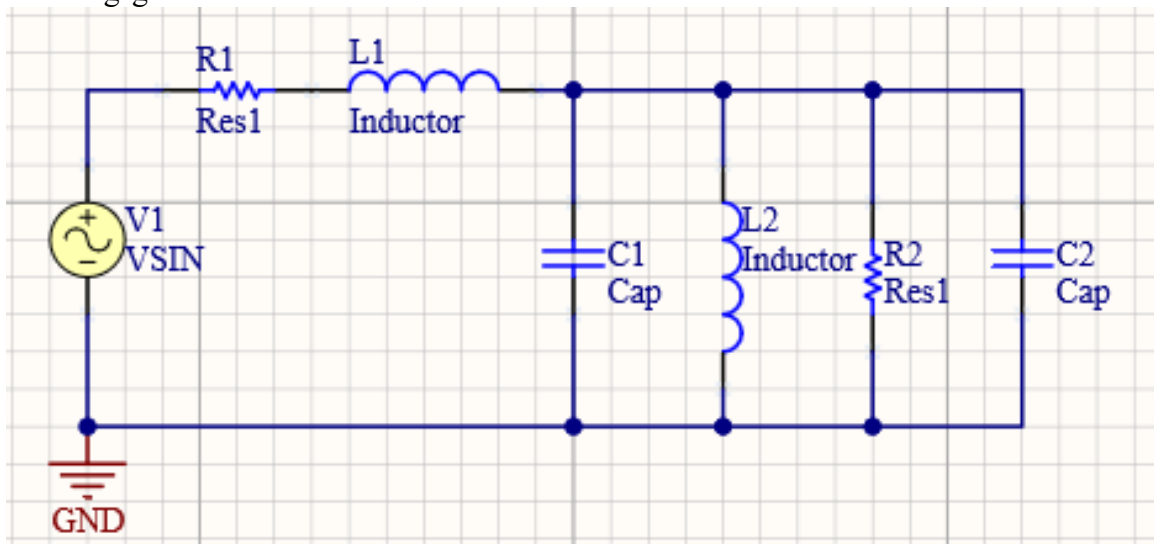


Bild 7, Simulering av Piezo disk.

Därefter skapades en förenkling av kretsen ovan för att kunna tuna in en mer passande resonansfrekvens[10]. Efter en del tuning så gav värdena på *Bild 8* en matchande frekvens till kåpan *Bild 9*.

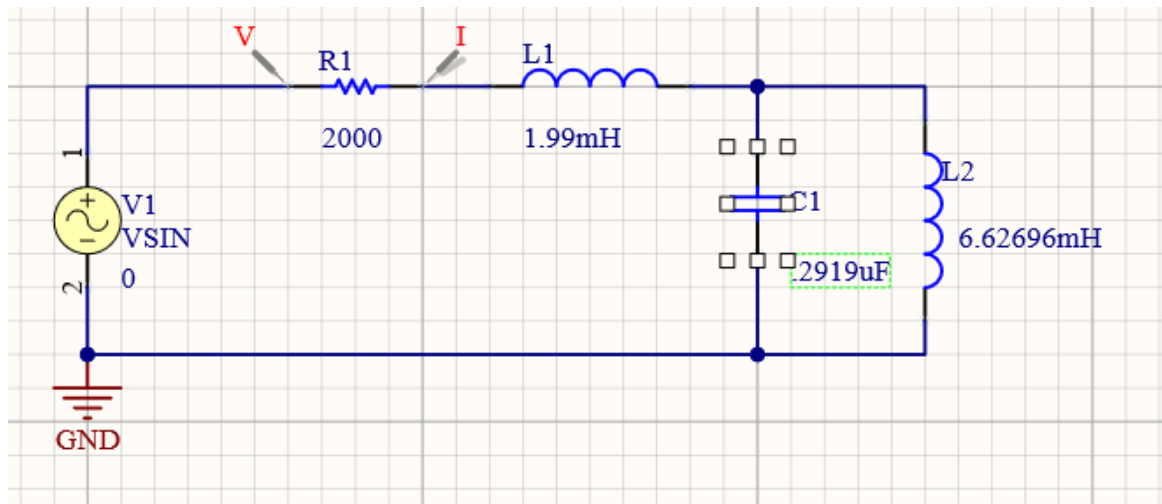


Bild 8, Den nya kretsen med ett anpassat resonansfrekvens

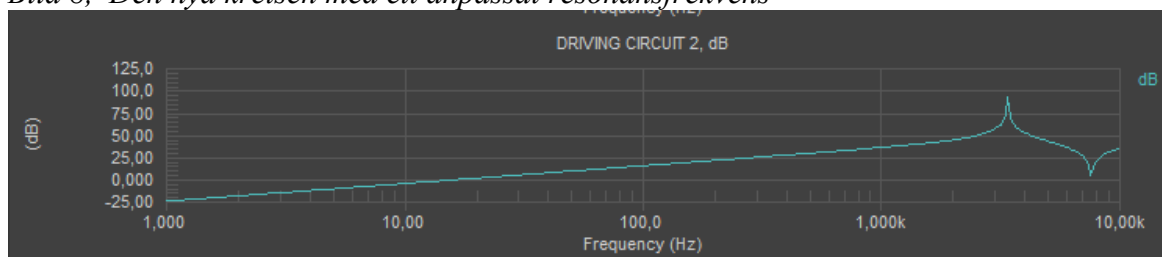


Bild 9, Resultat av anpassad resonansfrekvens.

3.2 Inköp av nya piezo diskar och buzzers

En ny buzzer prototyp skall utvecklas och därför ska ett flertal olika piezo diskar och buzzers köpas in för att testas, utvärderas och jämföras med CD-S:n. Många piezo diskar och buzzers saknar information för de specifika kraven som krävs för prototypen. Till exempel information om decibel och strömförsörjning vid resonansfrekvens. Beslutet blev därför att köpa in ett flertal olika piezo diskar och buzzers för att sedan själva jämföra och testa för att se vad som passar in bäst för den prototypen. Huvudkraven för inköp var att den skulle passa i kåpan och helst ha en högre ljudvolym. Diameter och djup var därför en huvudfaktor. Vid inköp har tre olika hemsidor används, Mouser, Digi-key och Farnell. Beställningar för detta projektet skickas alltid med andra beställningar på företaget för att undvika onödiga transportkostnader.

Följande buzzers och piezo-diskar köptes in:

Buzzer och Piezo diskar	Sammanfattning
ABT-438-RC <i>Bild 37</i>	Buzzer • 1-30v • $\geq 88\text{dB @}10\text{cm}$ • 3500 Hz ± 500 Hz
ABT-448-90-RC <i>Bild 38</i>	Piezodisk • 1-30v • 2900 $\pm 500\text{Hz}$ • Feedback
CEP-1126 <i>Bild 39</i>	Buzzer • 1-30v • $\geq 92\text{dB @}10\text{cm}$ • 2800 Hz
CPT-3529-L100 <i>Bild 40</i>	Piezodisk • 1-30v • 2900 Hz ± 500 Hz • Feedback
PK-35N29WQ <i>Bild 41</i>	Buzzer • 3-28v • $\geq 90\text{dB @}30\text{cm}$ • 2900 Hz ± 500 Hz
PT-3534FPQ <i>Bild 42</i>	Buzzer • 3-28v • $\geq 105\text{dB @}10\text{cm}$ • 3400 Hz ± 500 Hz • Feedback
W-53A <i>Bild 43</i>	Buzzer: • 50V • $\geq 105\text{dB @}30\text{cm}$ • 1000-5000 Hz
EFM-230 <i>Bild 44</i>	Buzzer • 3-20v • $\geq 90\text{dB @}30\text{cm}$ • 2.9$\pm$0.5kHz
EFM-290EN <i>Bild 45</i>	Buzzer • 7-12V • $\geq 90\text{dB @}30\text{cm}$ • 3.6$\pm$0.5kHz • Feedback

Tabell 3, Inköp av buzzer och piezo diskar.

3.3 Skapande av drivkrets

Det ligger i fokus att reducera mängden ström som skickas in i buzzern. Därför skapades först LC-kretsen för piezo disken i AD Bild 10 . Sedan skapas en oscillerande krets vars uppgift var att omvandla spänningen från DC till AC. Den oscillerande kretsen skapades och anslöts till LC-kretsen, denna del av kretsen har som syfte att skapa en sinusvåg med en specifik frekvens och en förstärkning av signalen in till LC-kretsen[10].

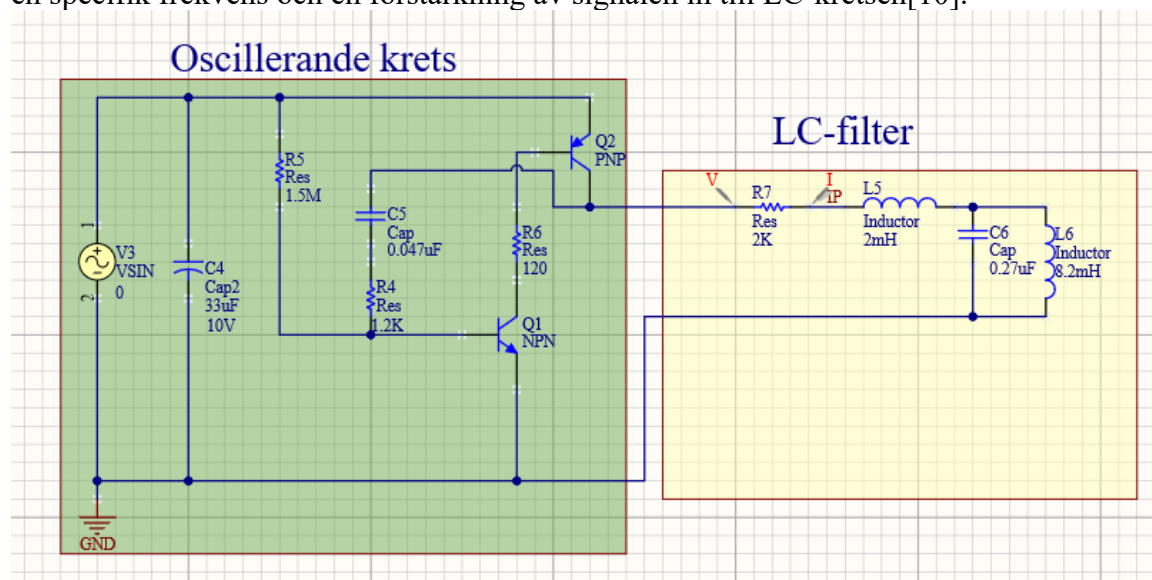


Bild 10, Oscillerande krets integrerad med ett LC-filter

3.4 Granskning av krets

En granskning av kretsen gjordes när första versionen av prototypkretsen var gjord i AD. Granskning sker för att se till att projektet går i rätt riktning och att viktiga delar inte har missats. Detta var en viktig del av arbetsprocessen då man får ett par nya ögon som ser på ens arbete. Då det var lätt hänt att man hamnar i samma tänk och inte ser dem uppenbara eller enklare lösningarna.

Utifrån granskning kom följande synpunkter fram:

- Information om hur effektivt kretsen blir om den skapas åt en buzzer med feedback. Då den uppbyggda kretsen har en väldigt bra verkningsgrad på en specifik frekvens.
- Att den första prototypen som skapas skall vara med en färdig buzzer. Då den lösningen var enklare att implementera.
- Att uppbyggnaden av det som var konstruerat eventuellt redan finns på marknaden och att dessa var bättre att använda än att skapa en egen krets.

3.5 Utveckling av kretsar

När kretsen var uppbyggd fysiskt gav den inte riktigt fram de utfall som förväntades. Framförallt var omvandlingen från DC till AC väldigt ineffektiv. Detta resulterade i en väldigt svag inkommande signal till LC-kretsen. LC-kretsen bör vara uppbyggd i den oscillerande kretsen för att påverka och inte utanför. När detta presenterades för hårdvaraavdelningen på Consilium gavs responsen att den oscillerande kretsen som byggdes upp redan hade en färdig integrerad krets som tog hand om detta. Detta i form utav en 555-krets.

3.5.1 Blockschema

I projektet är tanken att det skapas två olika drivkretsar för två olika lösningar Bild 11 & Bild 12.

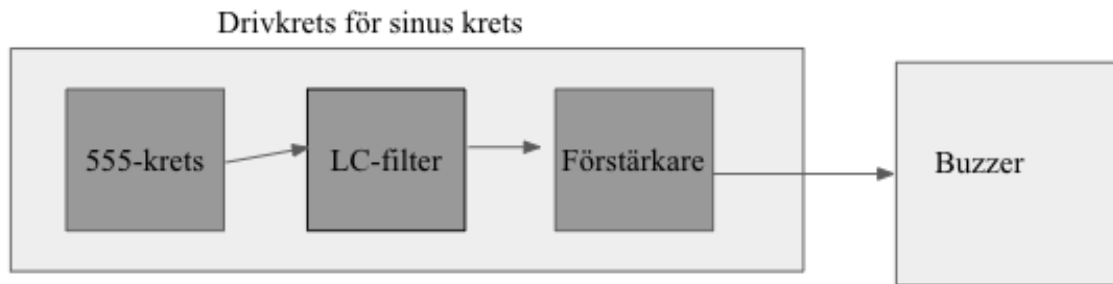


Bild 11, Blockschema för sinus krets

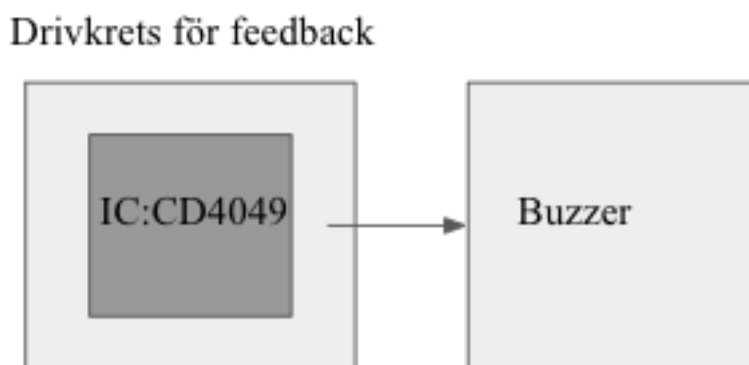


Bild 12, Blockschema för feedback krets.

Drivkretsarna för dessa är till för att skapa en oscillation med en frekvens som sedan skickas till buzzern och får den att låta. Utvecklad förklaring till blockschemat beskrivs senare i rapporten(genomförande).

3.6 Framställning av Kretsar

Den oscillerande kretsen byggs upp med komponentvärden som var beräknade enligt avsnittet teori(5.3), där har även LC-kretsens värden beräknas *Bild 13*.

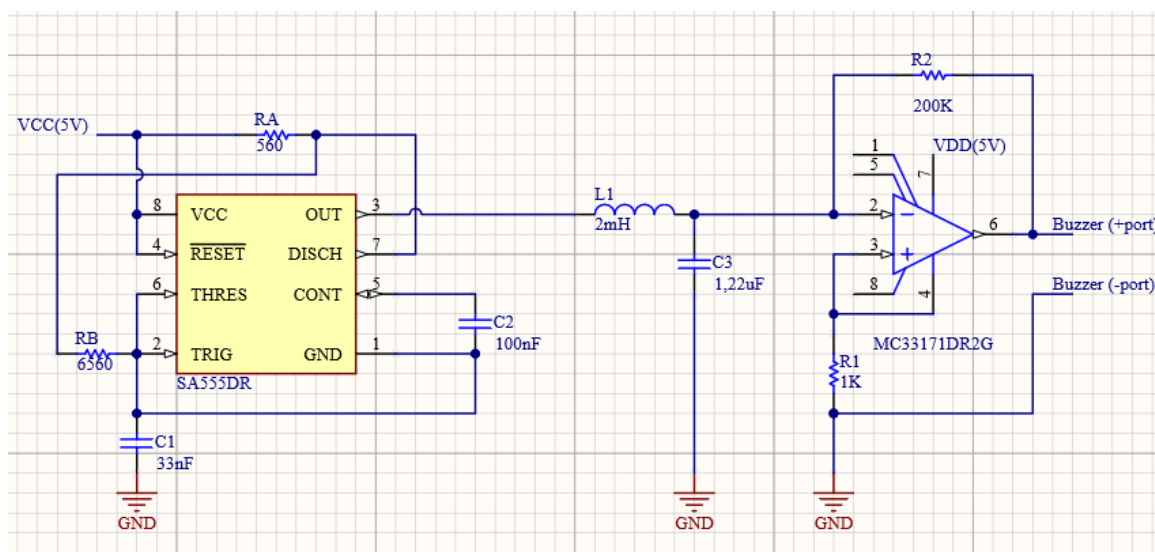


Bild 13. Sinus Krets.

Kretsen med feedback lösning har tre pinnar(M, F och G). Pinnarna är kopplade enligt *Bild 14*.

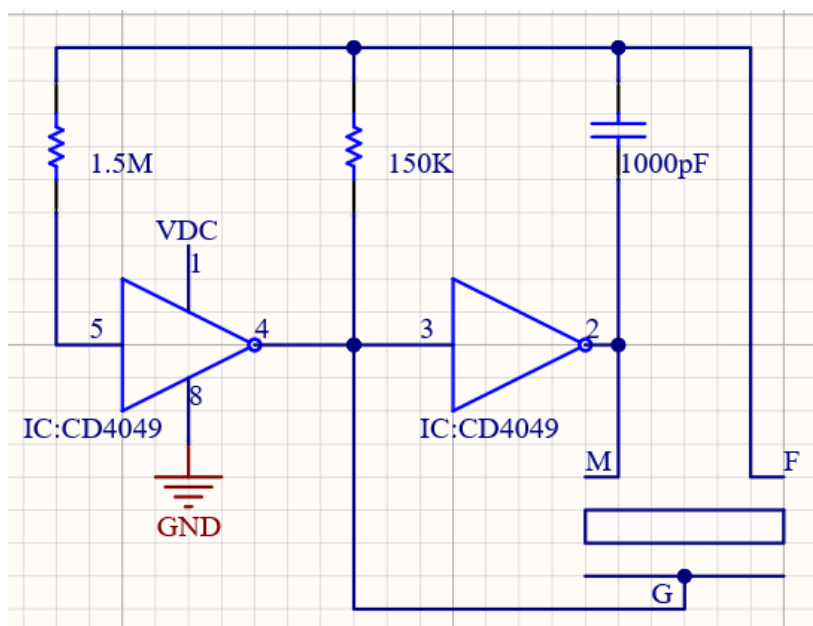


Bild.14, Feedback kretsschema

DC-spänningen går in till en hex buffer (IC:CD4049) där det skapas en oscillation som samtidigt förstärker insignalen. De tre olika pinnarna har varsin uppgift, pinne M har uppgift att tillföra buzzern med resonansfrekvensen. Pinne F återkopplar sedan denna frekvens så att den alltid hålls [11].

3.7 Skapande av testprotokoll

Innan tester utförs skapas ett testprotokoll. Där beskrivs vad som ska provas och hur man ska gå tillväga för att provas, ofta i stegform. Dessa dokument skapas dels för sin egen skull men också för att enklare kunna jämföra med tidigare resultat. Det blir även enklare att pröva om man vet i förväg vad som skall mätas och undersökas. Tillhörande testprotokoll var en testrapport där resultaten av provningarna dokumenteras och en slutsats av det utförda testet.

I arbetet gjordes två större undersökningar. Det ena undersökningen var för att jämföra alla buzzers och dem andra var för att testa dem olika driv kretsarna. Följande två rubriker är test protokollen för detta projekt.

3.7.1 Testprotokoll med drivkrets

Varje test ska göras 3 gånger.

1. Starta upp funktionsgeneratoren med följande inställningar:
Spänning: 20 volt
2. Sätt dB mätaren ståendes, viktigt att tänka på att dB mätarens ljudintag ska vara i samma höjd som buzzern. Koppla funktionsgeneratoren till oscillerande krets.
3. Mellan buzzern och dB mätaren skall avståndet vara 1 meter.

Utrustning
Funktionsgenerator
dB-mätare
Måttband
Multimeter
Driving circuit

Tabell 4, Utrustning för de första testet.

4. Testa samma buzzers och diskar utan driving circuit. Jämför resultaten med föregående tester samt simuleringen som gjordes i Altium Designer. Ändra komponenter i drivning circuit om resultaten inte blir som i simuleringen.

3.7.2 Testprotokoll utan drivkrets

Varje test ska göras 3 gånger.

1. Starta upp funktionsgeneratoren med följande inställningar(Kolla först på datablad om disk klarar av följande värden)

Spänning: 20 volt

2. Sätt dB mätaren ståendes, viktigt att tänka på att dB mätarens ljudintag ska vara i samma höjd som buzzern. Koppla sedan buzzern till funktionsgeneratoren.

3. Mellan buzzern och dB mätaren skall det vara 1 meter-

3.1. Ändra frekvensen så att buzzer.x ger ut det högsta möjliga ljud. Skriv sedan ner detta värdet som resonansfrekvens för buzzern.

4. Olika tester skall göras beroende om det var en en disk med resonanslåda eller utan:

4.1 Om det används en buzzer med egen resonanslåda skall denna placeras centralt eller annan placering för att uppnå maximalt ljud i kåpan samt göra tester enskilt utan kåpan. Testet kommer även testas under olika mängd ström/spänning.

4.2 Om det var en ren piezo disk som skall testas ska denna placeras i CD-S kåpan och sedan testas.

5. Öka sedan successivt spänningen på funktionsgeneratoren till MAX 30 V (eller max på buzzer). Minska strömmen successivt och kolla hur ljudvolymen påverkas. 3 tester skall göras varje gång något justeras med funktionsgeneratoren.

6. Anteckna mätningarna enligt separat dokument

Utrustning som användes finnes i *Tabell 5*

Utrustning
Funktionsgenerator
dB mätare
Måttband
Multimeter
Tom kåpa

Tabell 5, Utrustning för de andra testet.

4. Genomförande

I denna delen av rapporten presenteras den praktiska delen som är gjord i arbetet. Här ingår bland annat de tester som har gjorts och även dem kretsar som har skapats utanför simulering.

4.1 Konstrueringen av drivkretsar

Drivkretsarna skapas på en kopplingsplatta för hand. Det fanns dock en osäkerhet till hur uppdraget från Consilium skulle lösas och vilken lösning som var den mest effektiva. Beslutet blev därför att konstruera två olika lösningar. Det första alternativet(Sinus-krets) var att skapa en bestämd frekvens som skickas in till buzzern *Bild 16*. Det andra alternativet är att använda sig utav en feedback krets som återkopplar sin resonansfrekvens, med andra ord så hittar den sin resonansfrekvens själv *Bild 17*.

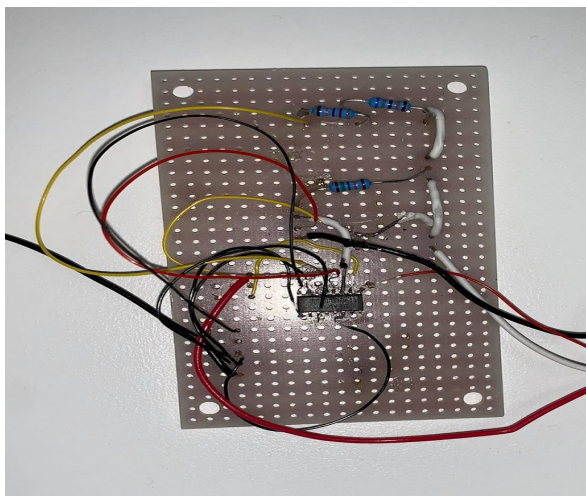


Bild 15, Uppbyggd Feedback krets

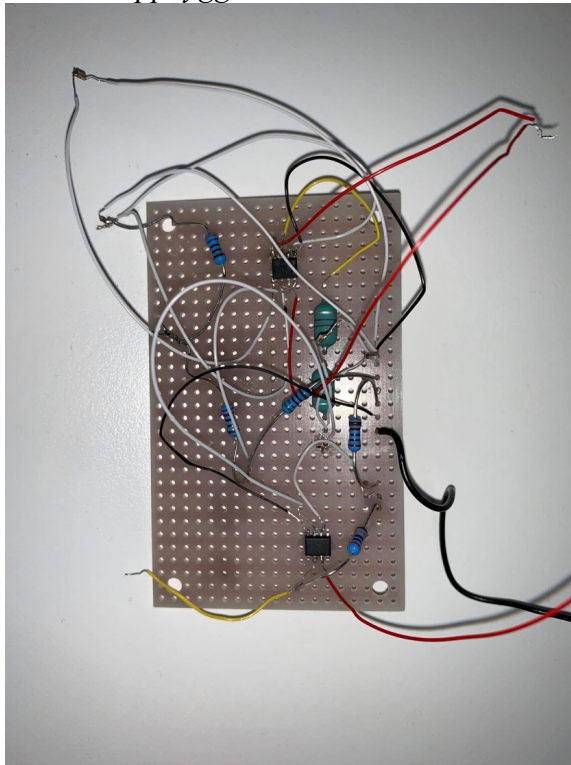


Bild 16, Uppbyggd sinus krets.

Som visas i *Bild 17* gick inte alla kretsar att konstruera felfritt. Detta berodde på ett inköps misstag, en elektrolytisk kondensator köptes in som inte tolererade spänningen som skickades in och gick därmed sönder. Kondensatorns uppgift var att hantera spänningen som kom in i kretsen[12] . En spänning på 30 volt krävs och därför en kondensator som kan hantera den mängden. Den kondensatorn som köptes in klarade endast 10 volt och kunde därmed inte hantera den spänningen *Bild 16*.

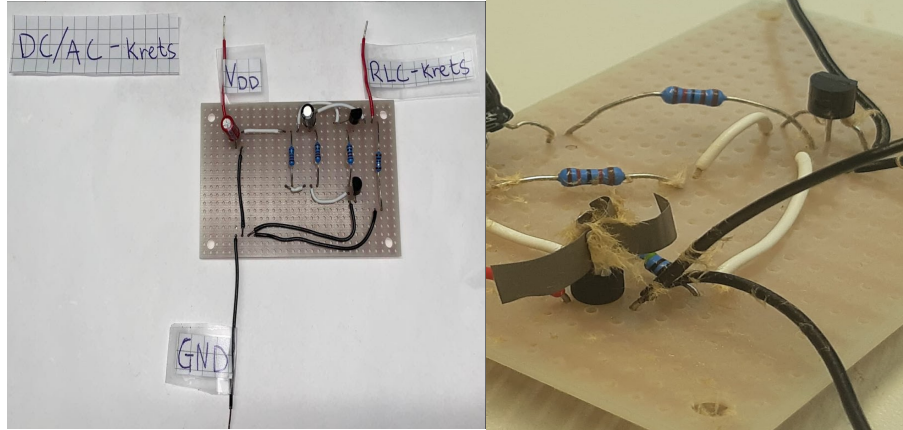


Bild 16 och 17. 16 Visar slutprodukten av den oscillerande kretsen och 17 är den första uppbyggnaden.

4.2 Test av buzzer och piezo diskar

För att testa dem inköpta diskarna och buzzers kopplas dem upp till en frekvensgenerator, där man kan generera en bestämd frekvens med en spänning upp till 10V(vpp - volt peak to peak). Den kommer att användas för att hitta resonansfrekvenser för de olika diskarna/buzzers. När den är hittad mäts ljudet av en decibelmätare. Samma test utförs tre gånger med tre olika diskar av samma modell. Detta utförs för att få ett mer pålitligt värde. Testet ger en uppfattning om hur mycket resonansfrekvenser varierar mellan diskar och buzzers av samma modell, det brukar vara vanligt att det är en stor variation på resonansfrekvenser och indirekt hur detta påverkas av ljudvolymen *Bild 18*.



Bild 18: Testning piezo diskar och buzzers. Bilden visar ett test från väldigt nära avstånd. Dem flesta är gjorda vid 1 meter ifrån dB-mätaren Bild 34.

4.2.1 CD-S

Tester på CD-S:n gjordes för att använda som referenspunkt för dem andra buzzers som testades. Buzzers med lägre ljudvolym än CD-S:n är inte intressant. Testet hade inte optimala förutsättningar då det gjordes i ett litet rum med mycket bakgrundsljud samt möjlighet att ljudet studsar i rummet. Därför kommer ljudvolymen att vara högre än om det gjordes under ideala förhållanden, det vill säga när de testas i ett rum som bromsar upp ljudet så att inga ljudvågor studsar tillbaka.

Modell	CD-S
Ljudvolym (db)	84
Spänning (V)	36
Avstånd (m)	1
Placerings	CD-S kåpan

Tabell 6, resultat på mätningar av CD-S:n.

4.2.2 Utan CD-S kåpa

Tester som har gjorts utan CD-S kåpa har givit en insikt på hur mycket kåpan antingen förstärker eller dämpar ljudtrycket. Något man redan kan se är att deras nuvarande piezo-disk resonansfrekvens inte matchar med CD-S kåpans. Därför blev slutsatsen att ändra innehållet i kåpan, d.v.s. buzzern eller piezo-disken detta gör att en mer optimal lösning kan användas i CD-S:n. Testresultaten i *Tabell 7* är på buzzers som köpts in och testats utan CD-S kåpan. Värt att notera är att dessa tester är gjorda med sina resonansfrekvenser, vilket ger den högsta möjliga ljudvolymen utan åtanke till strömförsörjning.

Testobjekt	Testomgång	Avstånd	dB förväntad	dB uppmätt	Spänning
<u>ABT-431-RC</u>	1	1m	-	96	10V
	2	1m	-	96	10V
	3	1m	-	92	10V
<u>ABT-431-RC</u>	1	1m	-	96	10V
Med CD-S kåpa	2	1m	-	96	10V
	3	1m	-	92	10V
<u>PK-35N29WQ</u>	1	1m	95	77	10V
	2	1m	95	73	10V
	3	1m	95	71	10V
<u>490-CEP-1126</u>	1	1m	92	102	10V
	2	1m	92	90	10V
	3	1m	92	98	10V
	4	1m	92	102	10V
	5	1m	92	106	10V

Tabell 7, resultaten för tester utan CD-S kåpa.

4.2.3 Piezo diskar

Tester gjordes även på rena piezo diskar. Dessa mätningar är gjorda genom att placera diskarna hängandes från en ställning. Det vill säga, inte i någon kåpa vilket resulterar i en betydligt lägre ljudvolym. Detta gjordes för att undvika att behöva limma fast varje disk i en CD-S kåpa. Hur man limmar disken i kåpan påverkar vilken ljudvolym som kommer ut. Detta gjorde att det var väldigt svårt att få fram ett bra resultat då varje limningen som gjordes resulterade i en variation av resultat, ingen decibelnivå kunde fastställas på grund av detta. Därför togs ett gemensamt beslut att välja att fokusera på färdiga buzzers istället då detta gav en mer stabilt resultat.

Modell	CD-S (disk)	490-CPT-3529-L100	CPT-3529-L100
dB uppmätt	70	72	74
Avstånd	1 meter	1 meter	1 meter
Spänning	10V	10V	10V
Tester gjorda	1	3	3
Feedback	-	Ja	-

Tabell 8, resultatet av de tester som gjordes av de olika diskarna.

4.2.4 Sammanfattning av Buzzer och piezo Test

Testerna gav en insikt av hur enkelt det var att testa sig fram till den mest effektiva lösningen. Det gav ideen att väldigt många piezo diskar och buzzers utger relativt lite information om sina produkter är det svårt att veta hur dem reagerar om man applicerar dem i ett system. Därför blev beslutet att investera i ett par olika diskar som nådde dem eftertraktade kraven och därefter testa fram vilken som gav det bästa resultatet. Utifrån dessa tester kunde man dra slutsatsen att diskarna fungerar bra. Om det endast skall göras en enstaka prototyp fungerar denna lösningen bra men när det kommer till massproducering kommer inte ljudnivån vara lika hög då resonansfrekvensen på diskarna varierar mycket. Därför är det bäst att skapa en prototyp med en feedback pinne, då resonansfrekvensen alltid blir hittad av feedback pinnen och ger därför en mer pålitlig och stabil ljudnivå oavsett exemplar. Dessa tester som gjorts har ingen buzzer varit med feedback-pinne, detta är något som skrivs om senare i rapporten i avsnitt 4.3. Det grönmärkade är buzzers som kommer att arbetas vidare på.

Modell	ABT-431-RC	PK-35N29WQ	490-CEP-1126	PT-3534FPQ	CPT-3529-L100
dB förväntad	80	85	92	90	90
db uppmätt	95	98	92	95	74
Avstånd	1 meter	1 meter	1 meter	1 meter	1 meter
Spänning	10V	10V	10V	10V	10V
Antal tester gjorda	3 styck	3 styck	3 styck	3 styck	3 styck
Feedback	-	-	-	Ja	-

Tabell 9, sammanfattning av det tester som gjordes av dem olika buzzerna. De förväntade värdena kommer utifrån deras databladet. Vilket tyder på att dessa mätning ger högre ljudvolym än deras tester.

Kommentarer till varför vissa buzzers blev bortvalda:

490-CEP-1126: Hög strömbrukning, annars bra värden

CPT-3529-L100: Låg decibel nivå

PK35N29WQ: Krävs en del modifiering på både CD-S kåpan och buzzern för att det ska funka, annars bra värden.

I *Tabell 10* visas ett exempel på spridningen på ljudvolymen vid olika resonansfrekvenser. Två buzzer av samma modell skickas in med samma frekvens på grund av att dem har olika resonansfrekvenser ger det väldigt olika resultat i ljudvolym.

490-CEP-1126	Buzzer 1	Buzzer 2
Ljudtryck (dB)	90	102
Spänning (V)	10	10
Resonans frekvens (Hz)	3544	4416
Inskickad frekvens (Hz)	4416	4416

Tabell 10, Exempel på påverkan av en varierande resonansfrekvens i ljudvolymen.

När tester har gjorts på dessa kretsar har spänningen skickats in via en power supply *Bild 30*. I testerna som gjordes användes aldrig spänningar över 10 volt på grund av att strömmen blev alldeles för hög. Detta ger att drivkretsarna har en väldigt låg verkningsgrad då dom inte använder sig av all spänning som finns tillgänglig.

En lösningen till detta är att implementera en spänningsregulator(DC /DC- step down) . Dessa kommer att vara placerad som insignal till drivkretsen för att generera ett konstant värde så att alla buzzers får in samma spänning och därmed låter lika mycket. Spänningen som inte används kommer att omvandlas till att sänka strömmen och därmed öka verkningsgraden[13].

4.3 Vidare testning, oscillerande krets och feedback buzzer

Här presenteras dem testerna som gjordes med själva drivkretsarna, anslutna till dem buzzers som givit bäst testresultat. Inför detta test köptes ytterligare tre nya modeller av buzzers in som användes för vid denna testning då testerna som gjorts inte gav tillräckligt bra resultat i decibelnivå och strömbbrukning.

EFM-290EN (feedback)

Testserie	Spänning in till kretsen	Uppmätt dB@1m	Ström in till kretsen	Placering
Test 1	3.3V	91 dB	1mA	Original kåpa
	4V	95 dB	1.3mA	Original kåpa
	5V	97 dB	2.1mA	Original kåpa
	8.26V(MAX)	98 dB	5mA	Original kåpa
Test 2	3.3V	84 dB	1.mA	CD-S kåpa
	4V	88 dB	1.3mA	CD-S kåpa
	5V	92 dB	2.1mA	CD-S kåpa
Test 3	3.3V	91 dB	1mA	Modifierad CD-S kåpa
	4V	92 dB	1.3mA	Modifierad CD-S kåpa
	5V	90 dB	2.1mA	Modifierad CD-S kåpa
	8.90V(MAX)	99 dB	5mA	Modifierad CD-S kåpa

Tabell 11, mätningar som är gjorda på EFM-290EN.

Tre olika tester gjordes med tre olika placeringar

1. Med original kåpan
2. Med EFM-209EN placerad i CD-S:n Bild 19 & Bild 20
3. Med en modifierad CD-S kåpa Bild 21 & Bild 22

De tre olika placeringarna testades med inspänning från 3.3V till max spänning som brukar ligga runt 8.5V. Det som mättes upp under testerna var ljudtrycket på 1 meter samt strömmen in till kretsen.

Det som behövs ändras på beroende vilken av de 3 lösningarna man väljer:

Dem mest relevanta testerna är test 2 och 3 då test 1 inte innefattar CD-S eller något alternativ till CD-S:n. Test 1 gjordes för att ha som referenspunkt.

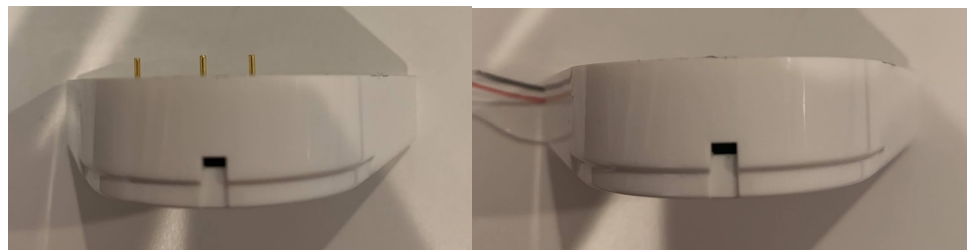


Bild 19 & 20, Buzzer åt höger är en icke modifierad EFM-209EN, buzzer åt vänster modifierad EFM-209EN(passar i CD-S)

Test 2: CD-S:

Test 2 gav hyfsat bra resultat, något minskat ljudtryck. Inga modifieringar har gjorts på CD-S:n här. Dock har benen på buzzern behövts kapas av för att passa i CD-S:n.

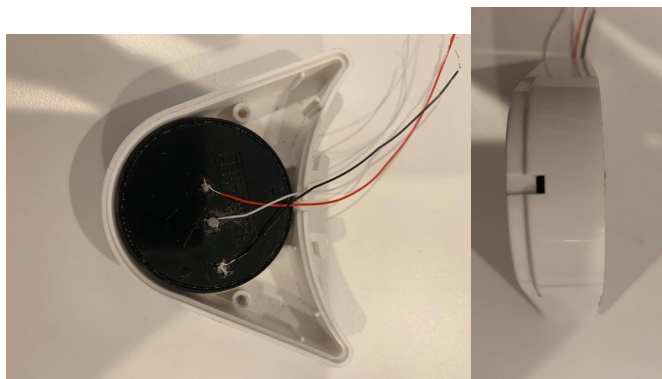


Bild 21 & 22, Vy ovanifrån.

Sidovy av kåpan med EFM-209EN modifiering

Test 3: CD-S:Kåpan är modifierad, resonans hålet är förstorat till en diameter på hål = 10mm.

Detta gav bättre resultat än med den vanliga CD-S:n. Här ändrades både CD-S:n och EFM-209EN(ändrades på samma sätt som i test 2).

Om denna lösning skall användas rekommenderas det att gör om kåpan med hålet och ett ökat djup(ca 5 mm), ett ökat djup medför att man inte behöver kapa av benen på buzzern. Då kan man samtidigt placera drivelektroniken ovanför buzzern.

PT3534FPQ (feedback)

En placering i original kåpan gjordes endast med denna buzzern då den var för stor för CD-S kåpan. Den gav dock bra resultat vid mätningar. För att denna skall användas behövs det att CD-S:n skall bli större

Uppmätt dB@1m	102	96	93	85
Ström (mA)	5mA	2.1mA	1.3mA	1
Spänning (V)	8.26	5	4	3.3
Placering	Original kåpa	Original kåpa	Original kåpa	Original kåpa

Tabell 12, Mätresultat från PT3534.

EFM-230(Utan feedback)

En placering i original kåpan gjordes endast med denna buzzern då den var för stor för CD-S kåpan. Den gav dock bra resultat vid mätningarna. För att denna skall användas behövs det också att CD-S:n skall bli större

Uppmätt dB@1m	90	85	80
Ström (mA)	1.35	1.13	0.93
Spänning (V)	7	5	3.3
Placering	Original kåpa	Original kåpa	Original kåpa

Tabell 13, mätresultat för EFM-230.

ABT-431-RC(Utan feedback)

Denna buzzern gick att placera direkt in i CD-S kåpan och valde därför att gå vidare med denna. Dessvärre var inte resultat vidare bra då den producerade en väldigt låg ljudnivå i sin original kåpa.

Uppmätt dB@1m	81	80	78
Ström (mA)	1.35	1.13	0.93
Spänning (V)	7	5	3.3
Placering	Original kåpa	Original kåpa	Original kåpa

Tabell 14, mätresultat för ABT-431-RC

En ytterligare mätning gjordes i CD-S kåpan enligt tabell 15.

Uppmätt dB@1m	82	80	78
Ström (mA)	1.35	1.13	0.93
Spänning (V)	7	5	3.3
Placering	CD-S kåpa	CD-S kåpa	CD-S kåpa

Tabell 15, mätresultat för ABT-431-RC i CD-S kåpan.

4.4 Avslutning på Consilium

När arbetet var färdigt var det dags att presentera arbete för företaget Consilium. Detta gjordes genom att först presentera för hela hårdvaru avdelningen. Detta var en mer teknisk presentation där vi gick igenom mycket teori kring uppbyggnaden av våra lösningar och även dem testerna som gjorts och hur man gick tillväga. Det ställdes en del frågor som besvarades kring valet av lösningar som blivit framtagna.

Sedan presenterades även arbetet för Consilium. Denna presentation var lite mindre teknisk och mer fokus på resultatet av uppdraget. Denna presentation var betydligt mer

människor närvarande(via länk). Det presenterades även lite praktiska tester som gjorts under arbetets gång och en demonstration av hur buzzern lät.

Slutligen gavs en sammanställning i dokumentform till företaget där det framgick mer detaljerat hur allting utfördes och även vilka utvecklingsområden som anses ha högst potential för att en färdig produkt skall tillverkas.

5. Teori och beräkning

I detta avsnitt presenteras alla beräkningar och relevanta teorier som varit nödvändiga under projektets gång.

5.1 Resonansfrekvens i kåpan

Buzzern som skall användas är placerad i samma kåpa som den tidigare buzzern var placerad i. Dels på grund av ekonomiska anledningar men främst på grund av miljöaspekter. Därför kommer buzzern att vara beroende av två olika resonansfrekvenser. En från buzzern och en från kåpan. Helst vill man att dessa ska vara så nära varandra som möjligt för att uppnå högsta verkningsgrad. Resonansfrekvensen räknades ut genom att använda Helmholtz resonans formel[14]. Där resonansfrekvensen räknas ut till 3093 Hz för CD-S kåpan *Bild 23*.

The resonant frequency of the piezo cavity is given by:

$$f_0 = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \left(t + 1.5 \sqrt{\frac{S}{\pi}} \right)}} [Hz]$$

where:

$$V = \text{Cavity volume} = \frac{\pi D^2 T}{4} = \frac{\pi * (0,033)^2 * 0,0027}{4} = 2,31 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S = \text{Area of open hole} = 2 * (0,009 + 0,014) * 0,0013 + \pi * (0,0013)^2 = 65,1 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$t = \text{Length of open hole (m)} = 0,002 \text{ m}$$

$$C = \text{Velocity of sound} = 344 \text{ m/s}$$

Bild 23: Helmholtz formel

5.2 Decibel uppskattning

När tester gjordes på CD-S:n klarade den inte decibel kravet. En av kraven var att uppnå 75 dB vid fyra meters avstånd. Detta testet gick att mäta fram men för att vara säker går det också att beräkna det om man vet decibellen vid ett annat avstånd. Det går då att använda formel för ljudstyrkan i dB vid ett visst avstånd. (L2), där r2 är avståndet, L1 är ljudstyrkan vid avstånd r1 *Bild 24*.

$$L_2 = 10 \lg \left(\frac{r_1^2}{r_2^2} \right) + L_1$$

Bild 24, decibel beräkning

5.3. Oscillerande krets

En oscillerande krets tar in en DC-spänning och får den att svänga med en viss frekvens. Varför detta behöver göras är för att i det färdiga systemet tas det in en DC-signal och för att en disk ska kunna ljuda behövs den en oscillerande signal med en bestämd frekvens, därav den oscillerande kretsen samt den tillhörande LC-kretsen som beskrivs senare i punkt 4.4.2 [15].

Om insignalen är som *Bild 25* med en fixt DC-spänning resulterar det i att utgången ser ut som på *Bild 26*. Den kan antingen vara en sinusvåg eller en fyrkantsvåg med en satt frekvens. Frekvens ändras med hjälp av en LC-krets.



Bild 25, insignal till den oscillerande kretsen



Bild 26, Utsignal från den oscillerande kretsen

Kretsen omvandlar DC-spänning till AC-spänning, vad som skiljer denna krets från en DC/AC omvandlare är att man kan bestämma frekvens som spänningen skall svänga på. Detta är viktigt i projektet då man måste matcha frekvensen som man skapar med resonansfrekvensen från buzzern. Denna krets kan byggas upp på många olika sätt. I detta projekt så kommer både en färdig oscillerande krets att köpas in (SA-555) samt en som kommer att konstrueras från grunden.

5.4. Sinus kretsen

I Sinus kretsen var målet att skapa en sinusvåg med en bestämd frekvens. Detta genomfördes med hjälp av SA-555 och en LC-krets. LC-kretsens funktion beskrivs i stycke 5.4.1.

SA-555 skapar pulser utav en kontinuerlig insignal, hur ofta dem skickades ut bestämdes med hjälp av två resistorer och en kondensator. Målet med frekvensen är att matcha den med resonansfrekvensen för buzzern. Relationen mellan resistorerna viktigt, då det är dem som skapar pulsens lutning. Målet är att resistor R_b skall vara större än resistor R_a och R_a skall vara lägsta möjliga värde för att skapa bästa möjliga gradienten (DL). Detta ger att pulsen ser ut som en sinusvåg [16].

Formel 1, för resonansfrekvens: $F_r = 1.44/(R_a R_b) C_1$ Där 1.44 är en konstant utifrån SA-555.

Formel 2, för gradient: $DL = R_a + R_b R_a + 2 R_b = 0.5$

Signalen levereras ut från SA-555 behövdes därefter omvandlas till en sinusvåg. Detta gjordes med hjälp av en LC-krets. I LC-kretsen skapas en ny frekvens som ska vara lika den inkommande frekvensen som möjligt för att generera en bra sinusvåg.

Formel 3, $F_r F_t \approx 1$, Om $F_r F_t = 1$ genereras det en sinusvåg [17]

5.4.1 LC-krets

Resistorer och kondensator värdena som är beräknade ovan skapar den önskade oscillationen Vågen som skapas är en fyrkantsvåg med en arbetscykel på 50%. Det som behövs för att skapa en sinusvåg av signalen är en LC-krets. LC-kretsens funktion är att den tar in fyrkantsvågen och omvandlar den till en sinusvåg. Förutom att skapa en sinusvåg tar kretsen ut en specifik signal från 555-kretsen, resonansfrekvensen. För att kretsen skall veta vilken frekvens den skall ta ut används följande formel för att dimensionera värdena för induktorn och kondensatorn [18].

Formel 4: $F_c = 1/2LC$

5.4.2 Operationsförstärkare

Operationsförstärkaren används för att förstärka insignalen på två sätt i detta projekt. Den används både som en inverterande och en icke-inverterande förstärkare.

För den icke inverterande förstärkaren används följande formler:

Formel 5, $\text{Gain}(A_u) = V_{ut}/V_{in}$

Formel 6, $\text{Gain}(A_u) = R_2 + R_f R_2$

6. Ekonomi

I följande del presenteras de inköp som gjordes under arbetets gång och samtidigt den totala utgiften för prototyperna. Ett av målen var att prototyperna skulle kosta lika mycket eller mindre än deras tidigare produkt vid produktion. Något som kan vara noterbart är att styckpriset minskar med antal enheter och därmed kommer priserna att sänkas om prototypen skulle massproduceras. För att få fram ett så bra resultat som möjligt byts samma komponenter ut under tester för att ge det främsta resultat och därför köps det även fler än vad som egentligen behövs.

Förutom dem inköpen som visas i lista x används även några resistorer och kondensator som redan fanns på företaget. Skulle dessa köpas en skulle den totala kostnaden ligga på några ören och är därför inte med på denna lista. Dessutom kan det vara värt att tillägga att när dessa är köpta är det 10.22 kr = 1 EURO.

6.1 Kostnad för utveckling av prototyp

I *Tabell 16* presenteras den totala kostnaden för utveckling av prototypen. Det vill säga alla inköp som har gjorts under arbetets gång.

Tabell över alla inköp samt deras kostnader.

Produkt & beskrivning	Kvantitet (st)	Totalpris (EURO)
490-CEP-1126 CEP-1126 Buzzers	5	7.85 €
490-CPT-3529-L100 CPT-3529-L100 Piezo	5	5.40 €
1827943 ABT-431-RC TRANSDUCER, Piezo	5	11.7 €
1675549 ABT-448-90-RC PIEZO ELEMENT, 35MM, 2, 900HZ, LEADED	5	6.14 €
1585604 PK-35N29WQ TRANSDUCER, PIEZO, 2.9KHZ, 90DBA, 28VDC;	5	29.97 €
1844977 PT-3534FPQ TRANSDUCER, BUZZER, 3.4KHZ, 105DBA 28VDC	5	15.96 €
860010272002	5	0.425€

Aluminum Elektrolytkondensatorer 32uf, 10V		
C315C271JAG5TA Kondensator, 270p, 25v	5	1.75 €
C318C241K3G5TA Kondensator 240p. 25v	5	1.6 €
2500R-42J Induktor 2mH	5	21.3 €
IRF46ER822K Induktor	5	1.55 €
NTE123AP NPN-transistor	10	8.83 €
BC557ATA NPN-transistor	5	0.75 €
BC557ATA PNP-transistor	5	0.74 €
06035C102KAT2A kondensator 1000pF	5	0.35€
SA555DR Oscillator	5	1.5 €
CD4049UBDR OP-Förstärkare	5	1.85 €
MC33171DR2G OP-Förstärkare	5	3.15 €
EFM-230 Buzzer	1	0.93 €
EFM-290EN Buzzer	1	1.35 €
W-53A Buzzer	1	1.62 €
Breadboard	10	11.82 €
Fraktkostnad	-	Fri frakt.
Totalpris	-	124.83 (1267 kr)

Tabell 16, Lista över all inköp.

6.2 Total kostnad för lösningar

Här jämförs priset för lösningarna och priset för CD-S:n . Dessa priser kommer fortfarande att vara i styckpris.

Vad som kan vara missledande med *Tabell 17* är att priset för CD-S:n är vad den kostar som färdig produkt medans prototyperna är endast kostnaderna för komponenterna. Tillverkningskostnaderna är alltså inte inlagda för prototyperna. Priser som sedan kommer att läggas till på prototyperna är saker som montering, transporter och kåpan. I det totala värdet för kretsarna ingår ej dem passiva komponenterna. De vill säga resistorer induktorer och kapacitorer.

Tabell på den totala kostnaden för färdig prototyp samt komponent kostnader.

<u>Produkt</u>	<u>Styckpris (EURO)</u>
SA555DR	0.3
OP-AMP	0.63
4049-AMP	0.37
Kretskort	0.12
Buzzer (EFM-230)	0.92
Feedback buzzer(EFM-209EN)	1.24
Spänningsreglering	3.03
Resistor/kondensatorer	0.03
Totalpris, feedback krets	4.76 (49 kr)
Totalpris, sinus krets	5 (51 kr)
Pris CD-S	10.44 (107 kr)

Tabell 17, kostnader för de olika prototyper och priset på CD-S som färdig produkt. Grönmarkerat är totalpris för varje alternativ lösning.

7. Resultat

Här presenteras de resultaten som har framställts under arbetsgång.

7.1 Strömreducering i buzzern

Utifrån arbetet och de tester som gjorts kan man konstatera att det går att reducera strömmen för CD-S:n. Två olika lösningar för detta problemet har konstruerats och båda av dem resulterar i en minskad ström och ökad ljudnivå. Lösningen som använder sig av feedback är en smidigare lösning än sinus kretsen då den genererar en lägre spridning av ljudvolym under större produktion.

En högre ljudvolym har uppnåtts med lägre ström och detta är även utan att använda sig utav spänningsreglering. Detta är väldigt viktigt att tillägga då testerna som har gjort har endast använt sig av en tredjedel av den spänningen som det funnits tillgång till. Om den resterande spänningen används i form av att applicera en spänningsregulator skulle strömvärdet att halveras, om inte mer.

7.2 Skapa en buzzer viloström på 0 Ampere

Att skapa en buzzer utan viloström är enkelt att skapa en lösning till. De flesta buzzers som ska skapas har en viloström som ligger på 0A. CD-S:n använder sig av denna viloström för att jämföra med sensorn om det börjar brinna. Detta gör att buzzern inte har någon viloström och fungerar mer som en av och på knapp istället för en konstant jämförelse.

I dom drivkretsar som är konstruerade används inte någon form av viloström. Det vill säga att deras ström när dem inte är aktiva är 0 ampere.

7.3 Går det att arbeta utifrån CD-S kåpan

Det är möjligt att arbeta utifrån CD-S:n kåpan om man använder feedback lösningen. Däremot behövs mindre förändringar i kåpan att göras (ett par millimeter i djup eller ett resonans hål på ca 10 mm, enligt bild 19) går de att generera betydligt bättre resultat. En uppskattning skulle då vara en ström på strax under 1 mA och fortfarande ligga under budgeten för CD-S.

7.4 Det bästa alternativet, piezo-disk eller färdig buzzer

Utifrån undersökning och tester som har gjorts är dem färdiga buzzerna betydligt mer stabila än vad rena diskarna är.

Det bästa resultatet är feedback kretsen med buzzern EFM-290EN. Med hjälp av en mindre modifiering av kåpan *Bild 27 & Bild 28* resulterade detta i en inkommande ström på 1.3mA och med en ljudvolym på 92 dB vid 1 meter istället för 88 dB som man får när kåpan inte modifieras. Om man dessutom skulle designa en kåpa anpassad för just denna

buzzern skulle förmodligen samma ljudnivå uppnås med en ström på 1 mA istället för 1.3mA.

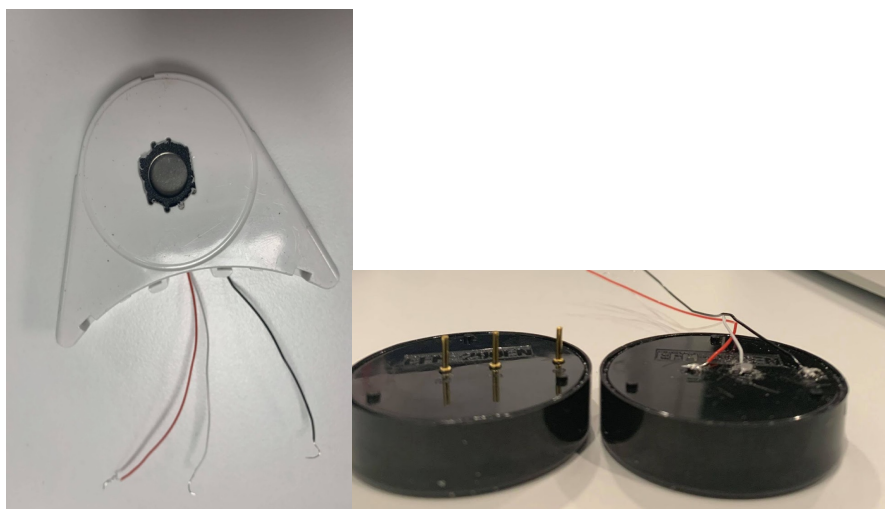


Bild.27 & 28 illustrerar de ändringar som är gjorda för EFM-290EN. Kåpan är nerfilad så utgången bättre passar utgången från original kåpan och benen är nerfilad så att det går att placera i CD-S kåpan.

7.5 Möjliga utvecklingsområden

Som har nämnts tidigare är detta ett pågående projekt där uppgiften är att skapa en färdig prototyp som Consilium sedan kan arbeta vidare utifrån som sedan kommer resultera i en färdig produkt. För att lösa denna uppgift finns såklart flera lösningar där tiden inte kommer att finnas till för att utveckla alla dessa ideer. Därför är det viktigt att kunna ge förslag på utvecklingsområden. Här presenteras de saker som har påbörjats men inte fullständigt gått vidare med.

7.5.1 Kåpan

Ett av dem större problem under arbetets gång har varit att implementera buzzern i kåpan.

Då kåpan är skapad för CD-S:n blev det svårt att implementera något nytt. Dessutom har dem flesta färdiga buzzers en viss standard. Framförallt i djupet för buzzern, som är 3 millimeter högre än kåpan. Detta gjorde att majoriteten av dem färdiga buzzerna som köpts in är lite för stora för att bli placerade i kåpan. En förändring i kåpans djup ger många nya möjligheter till att skapa ett bättre resultat.

Det som går att göra med själva CD-S:n om man inte vill ändra djupet eller diametern, skulle man kunna implementera en tratt vid utgången som kan förstärka ljudet. Dock finns det en osäkerhet om hur mycket detta skulle hjälpa för att få upp ljudtrycket.

Diametern är ett annat område som påverkar kåpan. Då högre ljudvolym oftast resulterar i en större diameter hade även detta kunnat ge möjligheten till en bättre buzzer. Då en förändring i djupet prioriteras framför diametern kommer troligtvis en förändring i kåpan att skapas och då bör en ökning i diametern vara något att överväga.

7.5.2 Spänningsregulatorn(DC/DC - omvandlare)

För att färdigställa kretsen behövs en DC/DC omvandlare implementeras mellan LoopMX och drivkretsen till buzzern. Tanken är att transformera ner spänningen med hjälp av en spänningsregulator. På så sätt kan man få ner spänningen utan att loop spänningen påverkas signifikant. Nu används inte i närheten av den spänningen som det finns möjlighet till att använda. Den resterande spänningen kan istället användas för att om reducera mängden ström som kommer att behövas för att buzzern ska låta. Lösningen till detta problemet är att placera in en Step-down regulator. Som tar in spänningar mellan 36-28 volt och omvandlar det ner till 5 volt som skickas in i Feedback Kretsen.

Bild 29, Är step down omvandlaren [A6986F](#) som transformerar ner spänningen.

$$V_{OUT} = 0.85 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

C_{r1} capacitor is sometimes useful to increase the small signal phase margin (please refer to [Section 6.5: Compensation network design](#)).

Figure 43. A6986F application circuit

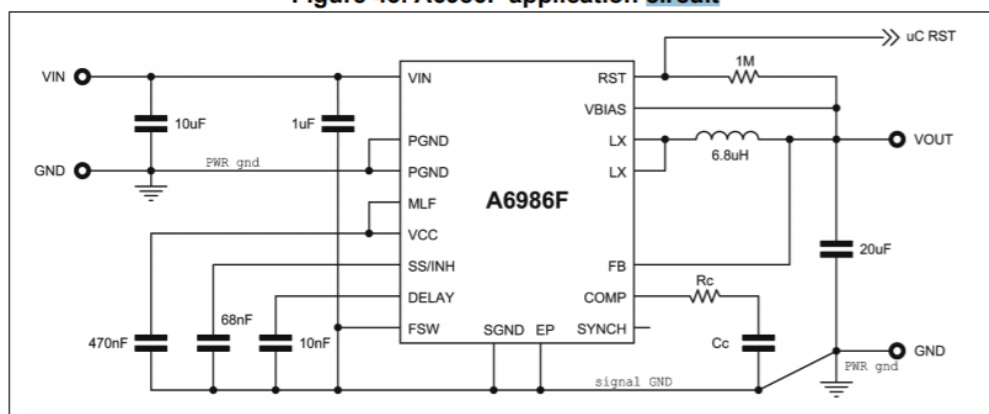


Bild 29. En step down regulator.

7.5.3 Ekonomi

Utifrån den ekonomiska aspekten är drivelektroniken betydligt billigare än den nuvarande för CD-S:n. Det finns därmed möjlighet att skaffa starkare buzzers eller att implementera effektivare spänningsregulatorer.

7.5.4 Piezo diskar

Det är värt att tillägga att tester har gjorts med rena piezo diskar också både med och utan feedback. Ett problem som stöttes på med piezo diskarna var själva testerna. Diskarna ska limmas fast i kåpan för att testas. Det krävs därför väldigt många kåpor och många försök för att generera ett bra resultat. Samtidigt påverkar limningen av disken väldigt mycket på vilket ljudtryck man får ut och vilken frekvens som skapas.

På grund av att det krävdes mycket tid, resurser och en väldig osäkerhet i att få fram ett konkret resultat valdes rena piezo-diskar bort i arbetsprocessen. Om det finns ett effektivt sätt att testa piezo diskar skulle det vara en möjlighet att använda och gå vidare med piezo-diskar dock är färdiga buzzers en enklare och mer effektiv lösning.

8. Diskussion

Här presenteras våra tankar och värderingar som vi har haft under arbetets gång.

8.1 Resonemang kring arbetsprocessen

Arbetet på Consilium var till att börja med att ta in information. Första veckorna var nästintill bara att läsa in sig för projektet då detta var ett redan pågående arbete. De vi känner att vi kan ha gjort annorlunda är att vi tidigare skulle kommit igång med den fysiska delen av projektet. Att köpa in delar och komma igång med att göra tester tidigare hade varit ett effektivare sätt att arbeta. Då det i många tillfällen är enklare att testa sig fram än att försöka läsa sig till alla svaren.

En annan sak som kan göras bättre var att lägga fokus på en sak inom systemet för att förstå det, istället för alla delar på en gång. Det blir lite som att vi försöker göra alla saker samtidigt. Det vi borde ha gjort är att läsa in på dem olika teorierna och ganska fort bestämma oss vilken metod vi skulle vidare arbeta på och inte lägga fokus på alla. Då vi är insatta i ett redan pågående projekt finns det en del förundersökningar med några redan pågående teorier kring hur problemet skulle lösas.

Ett förbättringsområde som vi listade ut under arbetets gång är hur viktigt det är att alltid arbeta med två saker samtidigt. Detta gjorde att arbetsprocessen gick mycket smidigare. Då man ofta inväntar något resultat, produkter eller helt enkelt någons hjälp var det alltid bra att arbeta på något under tiden istället för att bara sitta och vänta. Oftast lyckades vi med detta bra, framförallt då det ofta fanns något att skriva på rapporten. Det fanns tillfällen då det hade behövts mer struktur i arbetsgången då man ibland inte visste vad man skulle göra när ett delmoment var färdigt.

Något som inte gick riktigt som förväntat var granskning av kretsen. Vi hade förväntat att få in lite mer respons kring kretsen som byggdes upp, och eventuella fel eller synpunkter. Kretsen som byggdes gav inte de resultat som vi hade förväntat då vi hade missförstått en mätning i Altium, och att den kretsen som vi skapat inte gjorde sitt syfte.

8.2 Test processen

Testerna som genomfördes gick bra. Viktigt att tänka på var att ljudmätaren skulle stå upp och inte ligga ned för att få en bra mätning i dB, detta var viktigt då ljudet kom in fel i mätaren. Det medför att mätningen blir missvisande.

Testprocessen som genomfördes gav ut värden som vi var ute efter; ström, ljudnivå(dB) på X antal meter och resonansfrekvens. När dessa tester genomfördes kunde en hel del buzzers uteslutas vilket är syftet med testerna men dem gav oss också en insikt på hur varierande dB nivån kunde vara, detta på grund utav att dem inte hade samma resonansfrekvens(vilket dem borde ha) detta kallas för spridning. Ju större spridning en disk har desto sämre är den, detta spelar stor roll då vi i projektet hade ett dB mål på 90 dB@1m. Det kan skilja 10dB mellan två buzzers som är av samma modell, detta beror på att det är många faktorer som spelar roll vid tillverkning av disken som var gjord. Allt ifrån mängden lim som var applicerad, vart anslutningarna sitter, hur disken sitter inne i buzzern etc. Alla dessa faktorer och många mer påverkar resonansfrekvensen och därmed påverkas även ljudstyrkan indirekt. Vid en massproduktion är målet att spridningen skall vara så låg som möjligt. Denna spridning kan dock förhindras genom att man använder en buzzer som har en så kallad feedback pinne, denna lösningen har som syfte att hitta

resonansfrekvensen och återkoppla denna när den var funnen vilket gör att man får en mer stabil decibel nivå och därmed en mindre spridning då den alltid hittar sin resonansfrekvens.

8.3 Uppnådda mål

Här presenteras de målen vi har haft för projektet och vad vi anser vi uppnått.

8.3.1 Avklarade mål

- Vår viktigaste uppgift i detta projekt är att konstatera om det är möjligt att reducera mängden ström inom buzzern. Detta är något vi anser att vi har lyckats med då vi har kommit fram till två olika sorters lösningar där båda av dem drar mindre ström än deras nuvarande, CD-S.
- De lösningar som skapats var alla gjorda med ett konstant ljud. Detta är ett krav som uppnåts.
- Ett av målen är att skapa en buzzer som använder sig av en frekvens som är hörbar för allmänheten. Då de lösningar vi har skapat har en frekvens runt 3000 Hz är detta ett mål som vi klarade av.
- Ett annat mål är att lösningen skulle kosta lika mycket eller mindre än deras tidigare produkt. Då vi inte har dem exakta värdena på vad vår prototyp skulle kosta att bli till en färdigt produkt (tillverkningskostnad) kan vi ändå konstatera att den kommer att vara billigare än den tidigare lösningen.
- Slutligen är även ett mål att buzzern skall bruka under 1.5 mA. Detta är mål som vi känner att vi har klarat av då vi har haft godkänd ljudvolym vid denna mängden ström och att vi dessutom inte har använt oss av spänningsreglering för att få ner strömmen ytterligare. Med hjälp av spänningsregleringen finns det möjligt att halvera den strömmen som används idag och ändå behålla som ljudvolymen. Detta gör att 1.5 mA inte bör vara några problem.

8.3.2 Icke Avklarade mål

- En av dem svåraste utmaningarna är att använda den gamla kåpan. Den är gjord för piezo diskar och är därmed inte anpassad för en buzzer. De flesta har ett standard djup som ligger 2mm över det djupet som var i den gamla kåpan. Detta har gjort att vi många gånger fick hitta alternativa lösningarna för att få buzzern i kåpan. Fila ner hörn och kapp av delar var saker som har gjorts för att testa vissa buzzers. Därför anser vi att detta målet inte blev riktigt avklarat då vår slutsats var att det behövs någon form av förändring i kåpan för att avklara de resterande målen
- Ett annat område som är väldigt svårt att utföra med de resurser vi hade tillgång till var ljudvolymen kraven. Då vi inte hade all utrustning för att få fram exakta

värden i ljudvolym vid testning blir det väldigt svårt att garantera decibel nivåer. Vi har gjort mätningar med ljudnivåer på över 90 dB vid 1 meter men dessa har inte gjorts under perfekta omständigheter. Det vill säga i ett väl dämpat ljudrum. Som slutsats kan vi garantera en ljudvolym över den gamla buzzern då den har använts som referenspunkt under alla tester. Men inte garantera en viss ljudvolym vid ett visst avstånd då vi inte har gjort mätningar under dessa omständigheter.

8.4 Miljö och Etik

En fråga som har blivit allt mer relevant är miljön. Vilket var något som även är viktigt för Consilium. Deras mål är bland annat att kunna återanvända kåpan från den tidigare buzzern, då detta sparar på material. En annan miljöaspekt som inkluderas är när beställningar sker. Under arbetets gång gjorde vi flera beställningar. Dessa beställningar kopplades alltid ihop med andra på företaget som också var i behov av olika komponenter. Totalt minskar detta antalet transporter till företaget som är bra för miljön. När man arbetar inom säkerhetssystem blir ofta etik inblandat. Då deras produkter verkligen räddar liv. Vi lärde oss tidigt att det fanns en hel del lagkrav för hur brandvarnare skulle fungera men också att Consilium själva hade egna krav på sina produkter. Då företagets motto var "When safety matters" hade dem lite extra hårda krav på just säkerhet.

En annat åsikt som påverkade oss var den ekonomiska aspekten. Under arbetets gång har vi aldrig fått några insikter kring ekonomin. Det vill säga hur mycket utvecklingen av den nya prototypen får kosta utan bara att tillverkningskostnaden för den klara prototypen maximalt får kosta lika mycket som deras nuvarande produkt som de har ute på marknaden (CD-S). Detta gav oss insikten att företaget lägger mer vikt i att skapa en produkt åt kunden än att tjäna mycket pengar.

Etik

- Consilium vill ha högre ljud, lägre strömförbrukning än deras konkurrenter, pga säkerhet och optimering av systemet.
- Vinsten är inte så relevant utan snarare att nå målen.

9. Slutsats

Utifrån arbetet har resulterat fram till att de är möjligt att minska strömmen för produkten CD-S. Det effektivaste sättet att minska strömmen är att använda sig av en feedback buzzer EFM-290EN *Bild 30* och använda sig av feedback lösningen för att få en mer kontrollerad ljudvolym. Hur mycket det går att minska strömmen kommer att vara beroende på två faktorer. En av dem är kåpan. Kommer den att förändras finns det stora möjligheten till att framställa väldigt låga strömmar. Den andra faktorn är verkningsgraden för spänningen. När spänningsregulatorn kopplas in kommer den resterande spänningen som finns kvar i loopen omvandlas till en lägre ström.



Bild 30, buzzer EFM-290EN som gav främst resultat.

9.1 Vad är möjligt

Ett av våra delmål var att få ner strömmen till 1.5mA. Detta är något som inte är möjligt utan förändring av kåpan.

9.1.1 Utan feedback:

Om de skapas en sinus krets är det svårt att garantera en mindre ström om kåpan inte förändras i varken djup eller diameter. Utan några förändringar i kåpan är vår uppskattning att det går att få ner strömmen till 3mA men inte mycket mer(om man vill uppnå en dB på 90 dB@1m). Om kåpan modifieras med ett ökat djup och diameter uppskattas att det går och få ner strömmen till 2-2.5mA med en godkänd dB-nivå.

9.1.2 Med feedback:

Om kåpan inte förändras går det att minska strömmen om man använder feedback lösningen. Då kommer resultatet kunna hamna någonstans mellan 2-2.5mA. Däremot med mindre förändringar i kåpan (ett par millimeter i djup eller ett resonans hål på ca 10

mm) enligt *Bild 26* går de att generera betydligt bättre resultat. Uppskattning skulle då vara en ström på strax under 1 mA och fortfarande ligga under budgeten för CD-S.

9.1.3 Med spänningsregulator

När spänningsregulator appliceras i systemet bör våra strömvärden att ungefär halveras. Detta beror att det används ungefär en sjättedel (5V) av den spänningen som finns tillgänglig (36-28V). När det resterande (31-23V) används för att reducera mängden ström därmed att reduceras till ungefär hälften.

10. Bilagor

Här placeras bilder på saker vi använt under arbetsgång och även på dem prototyper som har skapats.



Bild 31, Oscilloskop som används för mätningar.



Bild 32, Multimeter som används för mätning.

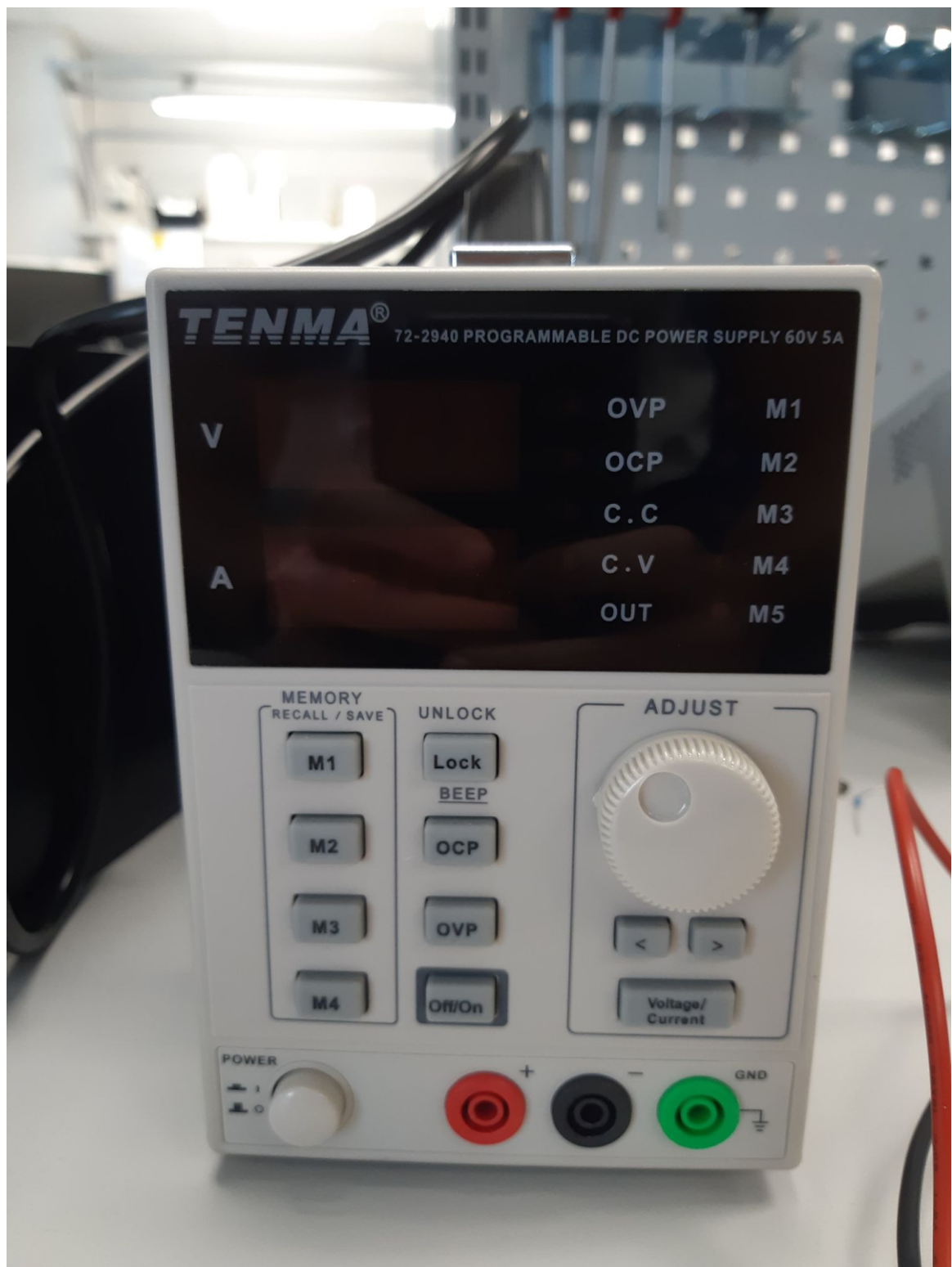


Bild 33, Power supply, Används för tester.



Bild 34, dB-mätaren som mäter upp decibel på ett visst avstånd

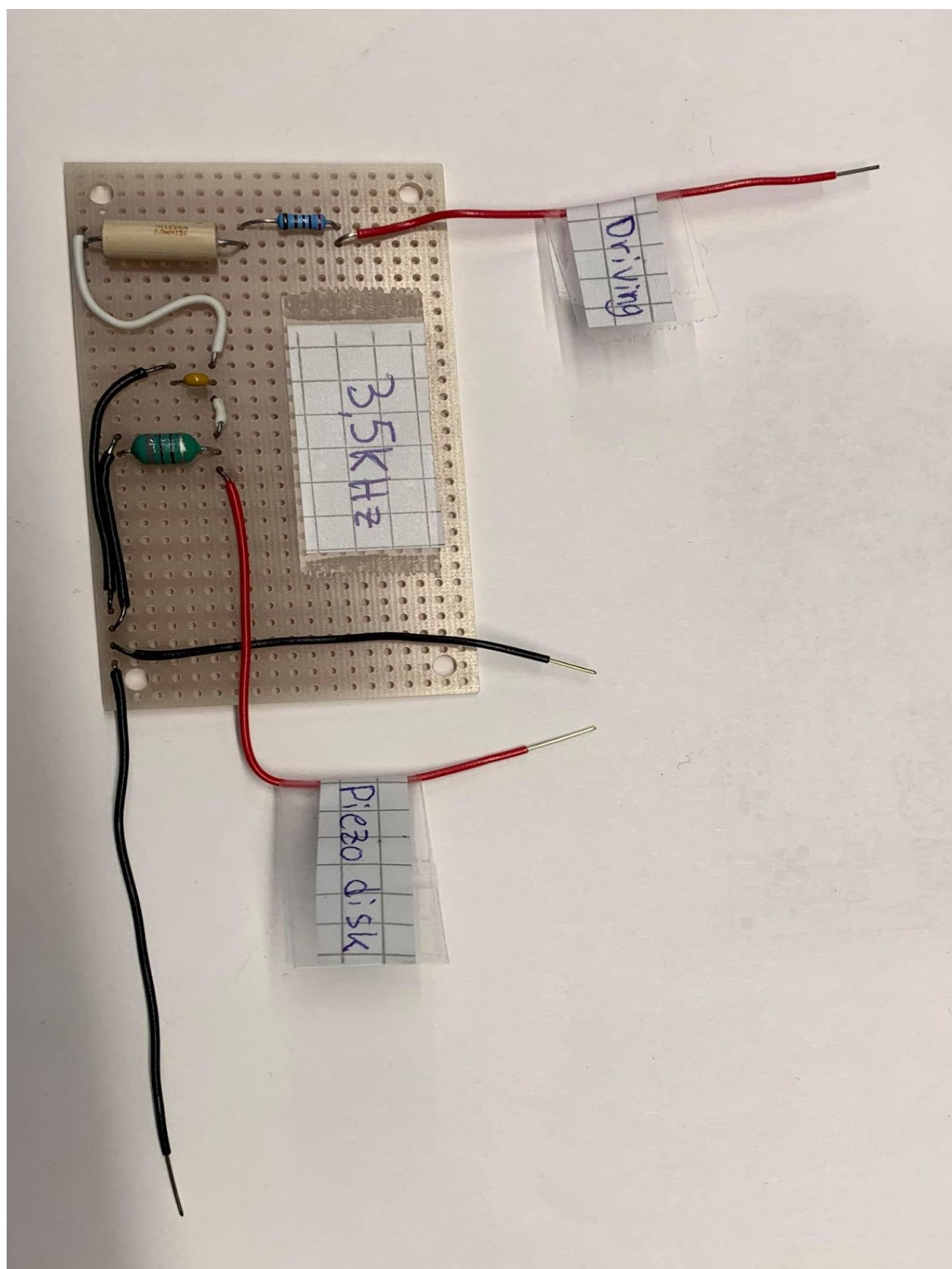


Bild 35, Uppbyggd LC-krets med resonansfrekvens på 3.5kHz



Bild 36, Uppsättning av test 2.

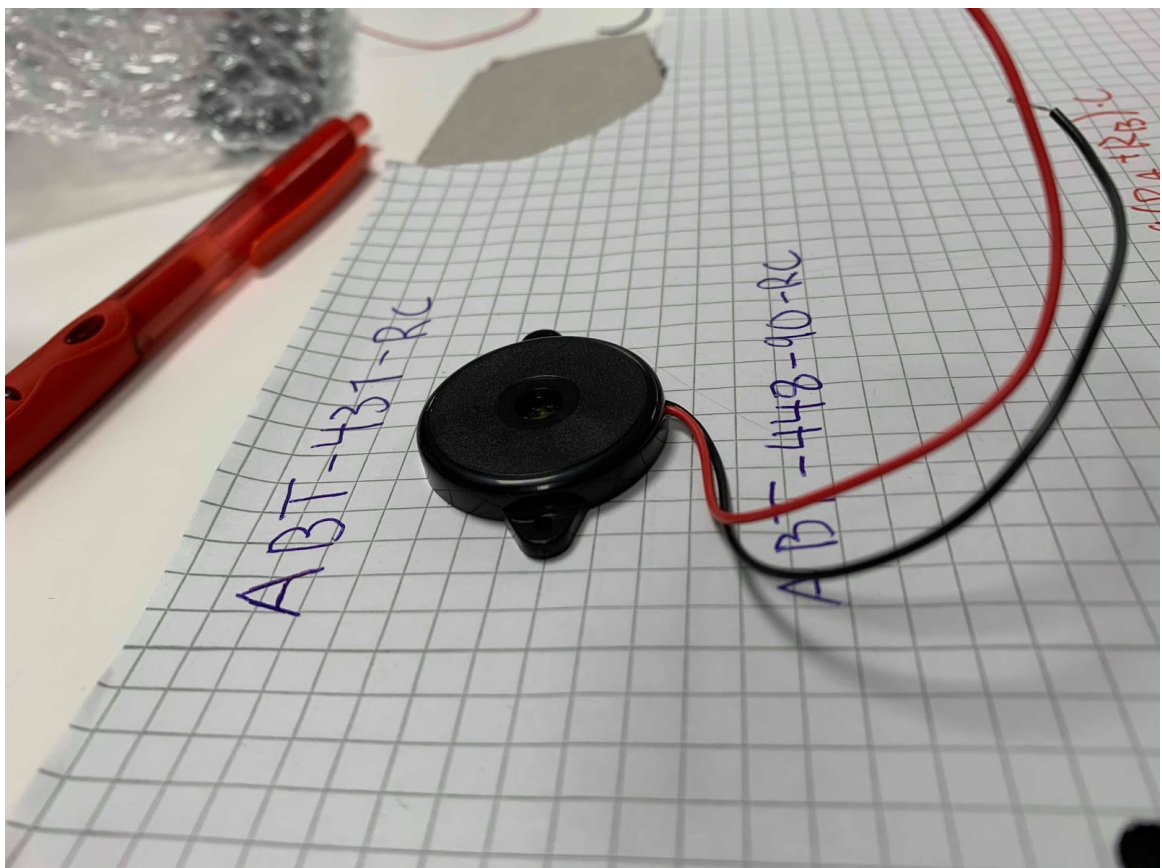


Bild 37, ABT-431-RC

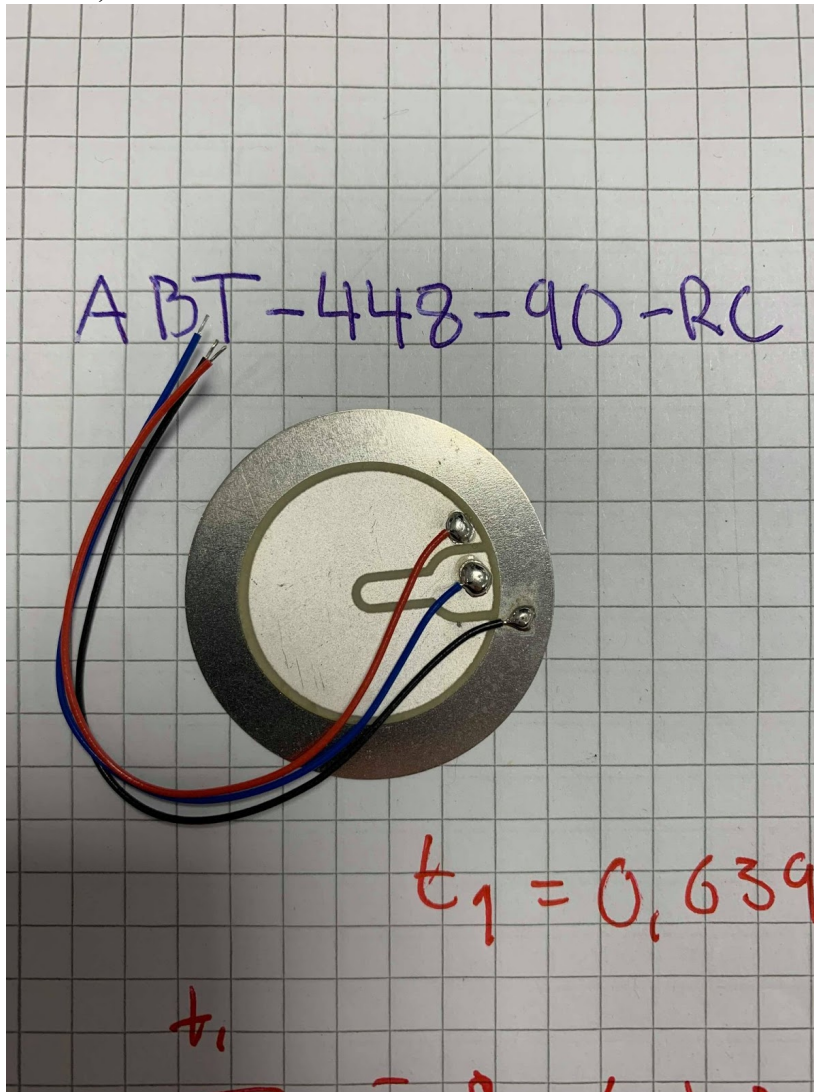


Bild 38, ABT-448-90-RC



Bild 39, CEP-1126

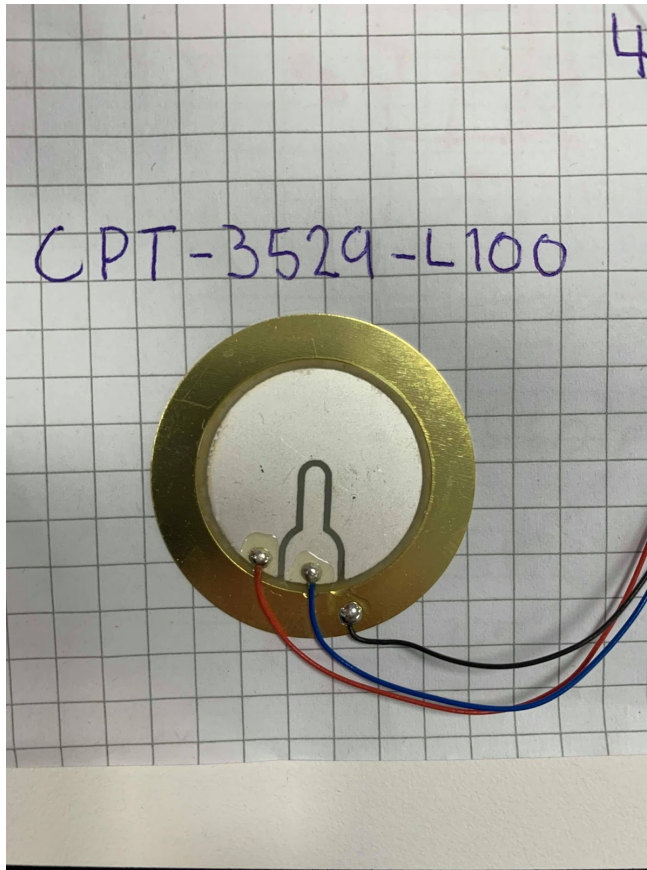


Bild 40, CPT-3529-L100

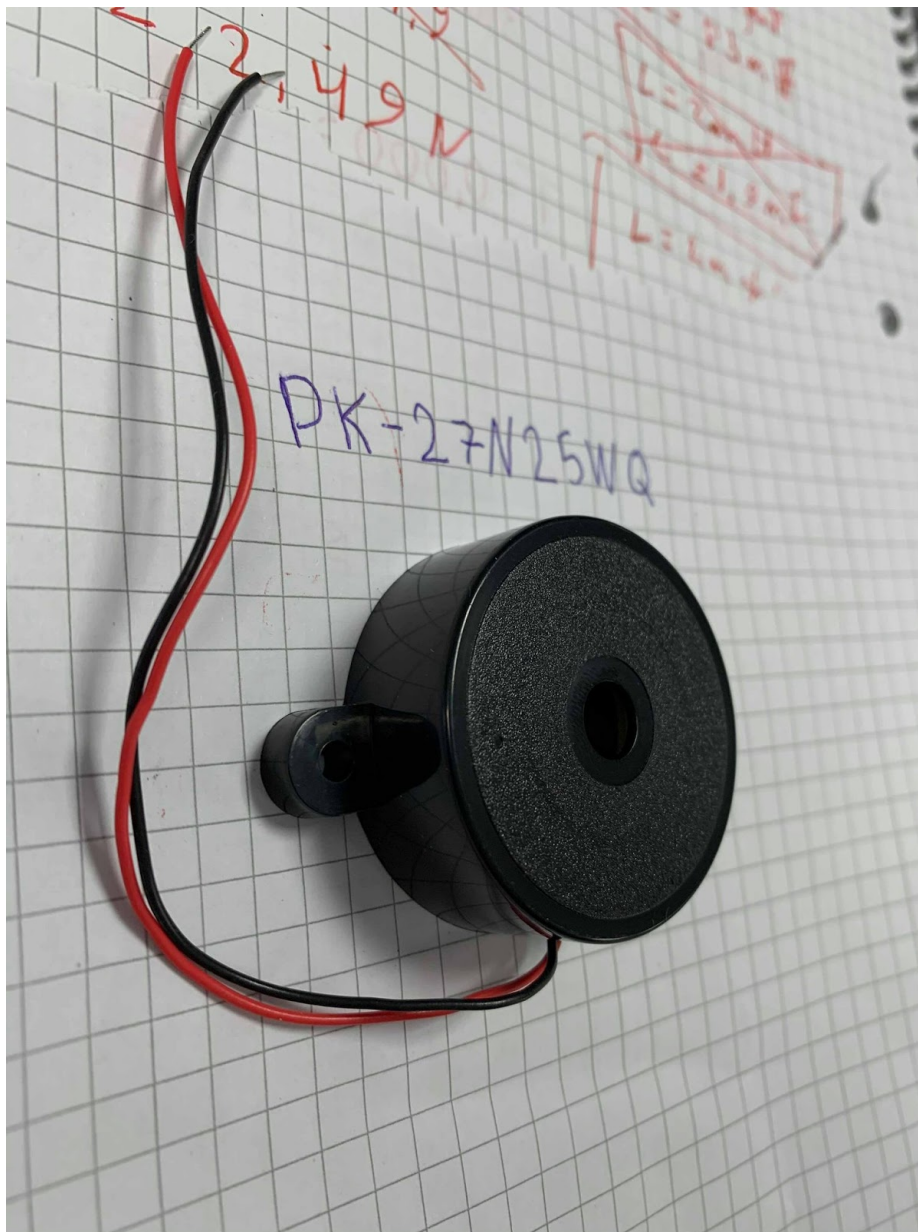


Bild 41, PK-27N25WQ



Bild 42, PT-3534FPQ



Bild 42, W-53A



Bild 43, EFM-230

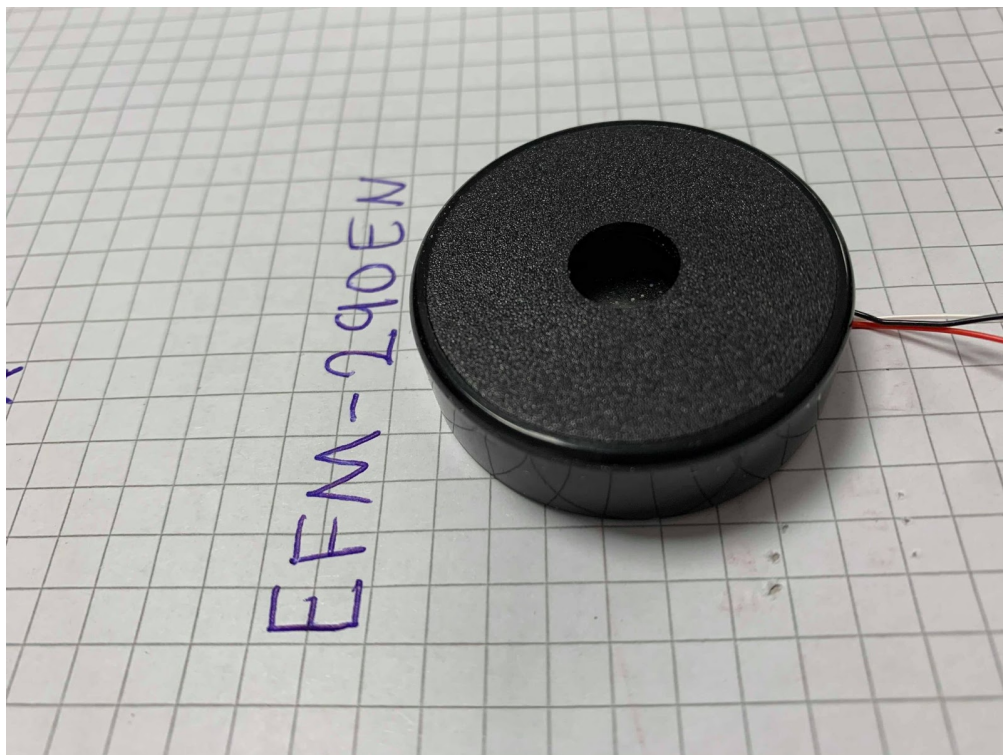


Bild 44, EFM-290EN

11. Referenser

- [1] Om Consilium, Consilium AB Publ 2020[Online] Available:
<https://ab.consilium.se/om-consilium/> (Acc 2020-09-20)
- [2] SUM-3 Datasheet, Consilium AB Publ 2020[Online] Available:
<http://produktblad.consiliumsakerhet.se/produktblad/Produktblad/44571%20SUM-2%2007%202%20S%20CN.pdf> (Acc 2020-08-25)
- [3] Loop MX Datasheet, Consilium AB Publ 2020[Online] Available:
https://www.consiliumsafty.com/wp-content/uploads/products/en/5100026-03/5100025%2C%205100026_Loop%20M%20X_M_EN_2020_B.pdf (Acc 2020-08-25)
- [4] CD-S Datasheet, Consilium AB Publ 2020[Online] Available:
https://www.consiliumsafty.com/wp-content/uploads/products/en/5100626-00/5100626_CD-S_I0_EN_2019_J.pdf (Acc 2020-08-25)
- [5] Piezo buzzers, APC INTERNATIONAL, 2016[Online] Available:
<https://www.americanpiezo.com/standard-products/buzzers.html> (Acc 2020-09-14)
- [6] THE VIBRATION CHARACTERISTICS OF PIEZOELECTRIC DISCS, Ningqun Guo, 1989-10 [Online] Available:
<https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/non-destructive-evaluation/public/Guo-N-1990-PhD-Thesis.pdf> (Acc 2020-10-07)
- Fincantieri loop, Dokument
- [7] Consilium, "Fincantieri loop", 2020-09-02 [Online] (Acc 2020-10-03).
- [8] Fire detection and fire alarm systems, SWEDISH STANDARDS INSTITUTE, 2001-06 [Online] Available:
<https://www.sis.se/api/document/preview/30328/> (Acc 2020-09-20)
- [9] xx555 Precision timers, Texas Instrument 2020-06 [Online] Available:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sa555.pdf?ts=1603792126017&ref_url=https%25A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FSA555 (Acc 2020-10-28)
- [10] Make Simple Electronic Buzzer circuit, ElecCircuit 2020-09-04[Online] Available:
<https://www.eleccircuit.com/make-simple-electronic-buzzer-circuit/> (Acc 2020-09-03)
-
- [11] Multicomponent, EAST, 2020, [Online] Available:
http://media.multicomponent.se/NingboEast_Catalog-Multicomponent.pdf (Acc 2020-11-08)
- [12] halvledare, Nationalencyklopedin, 2020[Online] Available:

<https://www-ne-se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/halvledare> (Acc 2020-10-20)

[13] L.Nordlund, I.Wiklund: Grundläggande elektroik: Andra upplagan 2012

[14] DESIGN OF HELMHOLTZ CHAMBER, PUiaudio inc, 2020, [Online] Available: <https://www.puiaudio.com/pages/design-of-helmholtz-chamber> (Acc 2020-10-18)

[15] Piezoelectric Sound Components, PZT Application Manual,2018 [Online] Available: https://www.framboise314.fr/wp-content/uploads/2018/02/PZT_Application_note.pdf (Acc 2020-09-24)

[16] 555 Circuits Part 1, ElectronicsTutorials, 2020-06, [Online] Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555-circuits-part-1.html> (Acc 2020-11-11)

[17] 60 Hz Sine Wave Generator Using 555 Timer & LC Tank Oscillator, The Organic Chemistry Tutor, 2020-05 [Online] Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rmkzmHQfR20> (Acc 2020-09-12)

[18] Simulate Speaker with Equivalent RLC Circuit, Circuit Digest, 2018-11[Online] Available: <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/simulate-speaker-with-equivalent-rlc-circuit> (Acc 2020-10-15)