

CHALMERS



Värmereglerande induktionsplatta för konstant temperaturhållning

Elkraft EENX15

Grupp 28:

Albijon Blakqori

Benjamin Coric

David Emanuelsson

Marcus Göransson

Viktor Strandberg

Hjalmar Strömfeldt

Handledare:

Robert Karlsson

2022-05-12

Abstract

Coffee is a beverage that is consumed daily by large parts of Sweden's population. Coffee is often recommended to drink at a temperature of 60 ± 5 °C which leads to problems when the coffee cools down by time. In the following report, a product is developed which, with the help of induction and temperature measurement, is to keep a constant temperature of coffee within the correct range. The result was achieved through gatherings of information, inter alia on induction and temperature measurement. With the help of the information found, components could be purchased to then start various tests. The result was an IR-sensor that regularly measures the temperature of a cup. Then via a microcontroller card, the sensor forwards information to an inverter that starts the induction process. The induction process, which consists of a coil and ferrite, heats a piece of metal inside the cup via a created magnetic field. When the coffee has reached the maximum temperature, the inverter switches off the induction and waits for the minimum temperature and then restarts the process. The product produced at its current stage can not preserve coffee at a constant temperature, which is due to an overcurrent protection in the inverter. But with further development, the product should be able to work. The report also includes discussions of further development with more functions that facilitate the use of the product.

Sammandrag

Kaffe är en produkt som dagligen konsumeras av stora delar av Sveriges befolkning. Kaffet bör drickas vid en rekommenderad temperatur på 60 ± 5 °C vilket leder till problem när kaffet svalnar under tiden. I följande rapport utvecklas en produkt som med hjälp av induktion och temperaturmätning ska hålla en konstant temperatur på kaffe inom korrekt intervall. Resultatet nåddes genom inhämtningar av information från flera källor, bland annat om induktion och temperaturmätning. Med hjälp av den funna informationen kunde komponenter sedan köpas in för att därefter sätta igång olika tester. Resultatet blev en IR-sensor som regelbundet mäter temperaturen på en kopp. Sedan via ett mikrokontrollerkort skickar sensorn vidare information till en växelriktare som startar induktionsprocessen. Induktionsprocessen, som består av en spole och ferrit, värmer upp en metallbit innanför koppen via ett skapat magnetfält. När kaffet nått maximal temperatur slår växelriktaren av induktionen och inväntar minimal temperatur för att sedan starta om processen. Den framtagna produkten kan i sitt nuvarande skede inte bevara kaffe på en konstant temperatur, vilket beror på ett överströmsskydd i växelriktaren. Men med vidareutveckling ska produkten kunna fungera. Rapporten inkluderar även diskussion om vidareutveckling med fler funktioner som underlättar användandet av produkten.

Tack

Gruppmedlemmarna i detta projekt vill ägna ett särskilt tack åt:

- Robert Karlsson för mycket god handledning
- Jimmy Ehnberg för halvtidsåterkoppling
- Föreningen CASE-labbet som lät oss låna och använda utrustning
- Anna Norrström och Andreas Eriksson från Chalmers bibliotek för handledning i rapportskrivning

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Avgränsningar	1
1.3	Specifikationer	1
2	Teori	3
2.1	Induktion	3
2.1.1	Ferritmaterial som kärna	3
2.2	Växelriktare	4
2.2.1	Drivkrets IR2166	4
2.3	Mätinstrument	7
2.4	Arduino	8
2.5	Värmeenergi	8
3	Metod	9
3.1	Design	9
3.1.1	Induktor	9
3.1.2	Växelriktare	11
3.1.3	Mätinstrument	12
3.1.4	Mätinstrument och kontrollkort	13
3.1.5	MOSFET och kontrollkort	14
3.1.6	Fodral	16
3.1.7	Lock	16
3.2	Beräkning av effektbehov	17
4	Resultat	19
4.1	Induktor	19
4.2	Växelriktare	19
4.3	Mätinstrument och kontrollkort	21
4.4	Effekt	22
4.5	Fodral	22
4.5.1	Bobin	23
4.5.2	Kopphållare	24
4.5.3	Bakdel	25
4.5.4	Baklock	26
4.5.5	Bottenplatta	27
5	Diskussion	29
5.1	Förbättringar	29
5.1.1	Strömbrytare	29
5.1.2	Display med reglage	29

5.1.3	Detektion av kopp	29
5.1.4	Strömkälla för kontrollkort	30
5.2	Vidareutveckling	30
5.2.1	Överströmskydd	30
5.2.2	Induktiva störningar i växelriktare	31
5.2.3	Effekt	31
5.3	Etiska aspekter	31
6	Slutsats	32
A	Arduino Kod	34

1 Inledning

Kaffe är en av världens mest konsumerade drycker och enbart i Sverige konsumeras i snitt 7,6 kg kaffe per person per år [1]. Ett stort problem med kaffe är att det svalnar fort. Den rekommenderade temperaturen på kaffe är 60 °C [2] eftersom det har en koppling till smak och doft, därav önskas det att kunna uppehålla värmen på kaffet.

Nedkylningen är det problem som ska lösas i detta projekt. Resultat från projektet begränsar sig inte endast till kaffe, utan kommer att kunna vara applicerbar på andra vätskor som eftertraktar en specifik temperatur. Dessa skulle exempelvis kunna vara: Mjölk, välling, choklad, vatten och så vidare. Vätskan ska inte enbart värmas upp utan därefter hålla en konstant temperatur inom ett intervall på ± 5 °C.

Produkten kommer att använda sig utav induktion för att värma upp vätskan. Detta är en vanlig teknik för uppvärmningsprocess och används i många olika slags industriprocesser [3] samt i vardagliga produkter som moderna spisar (induktionshäll) [4]. Det är även en energieffektiv uppvärmningsprocess jämfört med andra uppvärmningsprocesser [5].

Det här är ett problem som tidigare försökts lösa av företag tex SevenPrin [6] och EasyAcc [7]. Dessa använder sig dock utav klassisk uppvärmning där plattan värms upp för att sedan värma koppen för att därefter värma kaffet. Det som sticker ut med produkten i denna rapport är att den använder sig utav induktion och temperatursmätning. Temperatursmätningen återkopplas till induktionen som reglerar kaffets temperatur till det önskvärda.

1.1 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla en produkt som med hjälp av induktion och temperatursmätning ska hålla en konstant önskvärd temperatur på vätska i en kopp inom ett intervall på ± 5 °C.

1.2 Avgränsningar

Projektet kommer att inriktas på uppvärmning med hjälp av induktion och inga andra uppvärmningsmetoder kommer att undersökas. De principer som ligger till grund för projektet är matematiskt omfattande och komplexa. För att begränsa det tidsomfång detta leder till kommer resultat i projektet vara till större del baserade på fysiska tester och mätningar.

1.3 Specifikationer

Produkten ska klara följande krav

- Användare ska kunna ställa in önskad temperatur.
- Produkten ska mäta temperaturen och sedan reglera effekten för att hålla vätskan inom ± 5 °C av önskad temperatur.

- Produkten ska konsumera likström.
- All elektronik ska täckas av fodral för att skydda användare.
- Produkten ska vara enkel att använda.

2 Teori

Produkten innehåller fyra centrala komponenter: induktor, växelrikare, mätinstrument och fodral. I detta kapitel beskrivs de teoretiska delarna bakom induktorn, växelriktaren och mätinstrumentet, samt ett underavsnitt om värmeförluster.

2.1 Induktion

Faradays lag om induktion säger att en spänning och elektromotorisk kraft induceras i en ledare som befinner sig i ett tidsvarierande magnetfält [8]. Appliceras detta på en spole med N stycken lindningsvarv med samma magnetiska flöde Φ i varje lindning induceras det en elektromotorisk kraft ε enligt

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\Phi_b}{dt}. \quad (1)$$

Induktion ger upphov till små loopar av elektriska strömmar vinkelrätt mot magnetfältet inuti ledaren som kallas virvelströmmar. Virvelströmmarna som induceras i materialet kommer att ge upphov till effektförluster P enligt

$$P = i^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (2)$$

där ρ är materialets resistivitet, l längden, A tvärsnittsarean och i strömmen. Effektförlusterna ger värmeutveckling i ledaren, vilket är principen som används vid en induktionshäll. Effektförlusten beror kvadratisk på strömmen, se ekvation 2. Det innebär att höga strömmar är att eftersträva för att effektivt få värmeutveckling i ledaren. För att få hög ström i en RLC-krets (krets bestående av motstånd, induktor och kondensator) eftersträvas att den kapacitiva och induktiva reaktansen upphäver varandra, så att kretsen blir rent resistiv [9]. Då detta uppstår har resonans uppnåtts och kretsens förluster sker endast hos kretsens resistanser. Resonans i en krets kan endast uppnås vid en specifik frekvens, kretsens så kallade egenfrekvens. Resonansfrekvensen f beräknas enligt

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (3)$$

där L är induktansen och C kapacitansen. Kapacitanser lagrar energi i elektriskt fält, medan induktorer lagrar energi i magnetiskt fält. Vid resonans oscillerar energin mellan induktorns magnetfält och kapacitansens elektriska fält. Resonanta kretsar kan generera betydligt högre spänningar och strömmar än vad de matas med [10].

2.1.1 Ferritmaterial som kärna

Ferrit är ett material som har vissa egenskaper vilket gör det idealt för användning av induktion. Det utnyttjas som kärna på grund av dess höga magnetiska permeabilitet, dess

låga elektriska ledning samt dess låga förluster vid höga frekvenser. Materialet ferrit är en keramisk förening av övergångsmetaller med syre vilket innebär att det är ferritmagnetiska men icke-ledande [11]. De ferriter som används som elektromagnetiska kärnor skiljer sig åt och kallas för ”mjuka ferriter” då de har en låg koercitivitet jämfört med ”hårda ferriter” som i stället har hög koercitivitet. Koercitivitet är ett mått på förmågan hos ett ferromagnetiskt material att motstå ett yttre magnetfält utan att själv bli avmagniserat. Det som gör att de skiljer sig åt är att mjuka ferriter innehåller järnoxider i kombination med zink-, nickel- och/eller manganföreningar. Anledningen till att mjuka ferriter är bättre som kärnor är att de kan bära magnetism mer effektivt med låga förluster.

Ferritens egenskaper spelar en stor roll i effektiviteten av induktionen. Dess höga elektriska resistivitet innebär att låga virvelströmmar induceras och förloras i kärnan. På grund av dess låga effektförluster i kärnan induceras en större spänning i sin sekundärspole.

Magnetisk permeabilitet beräknas enligt

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4)$$

där B är magnetisk flödestäthet etablerad i materialet av ett magnetiserande fält och H är magnetfältets styrka i magnetiseringsfältet. Magnetisk flödestäthet är ett mått på det faktiska magnetfältet i ett material som betraktas som en koncentration av magnetfältlinjer, eller flöde, per tvärsnittsareaenhet. Magnetfältstyrka är ett mått på magnetiseringsfältet som produceras av elektriskt strömflöde i en trådspole. Magnetisk permeabilitet är därmed en relativ ökning eller minskning av det resulterande magnetfältet inuti ett material jämfört med magnetiseringsfältet i vilket det givna materialet befinner sig i [12]. Att ferriter har hög magnetisk permeabilitet innebär att det blir en ökning av de magnetfält som induceras av spolen i ferriten och eftersom induktion fungerar bättre ju starkare magnetfält som används, kan denna egenskap hos ferriten uppskattas vid induktion.

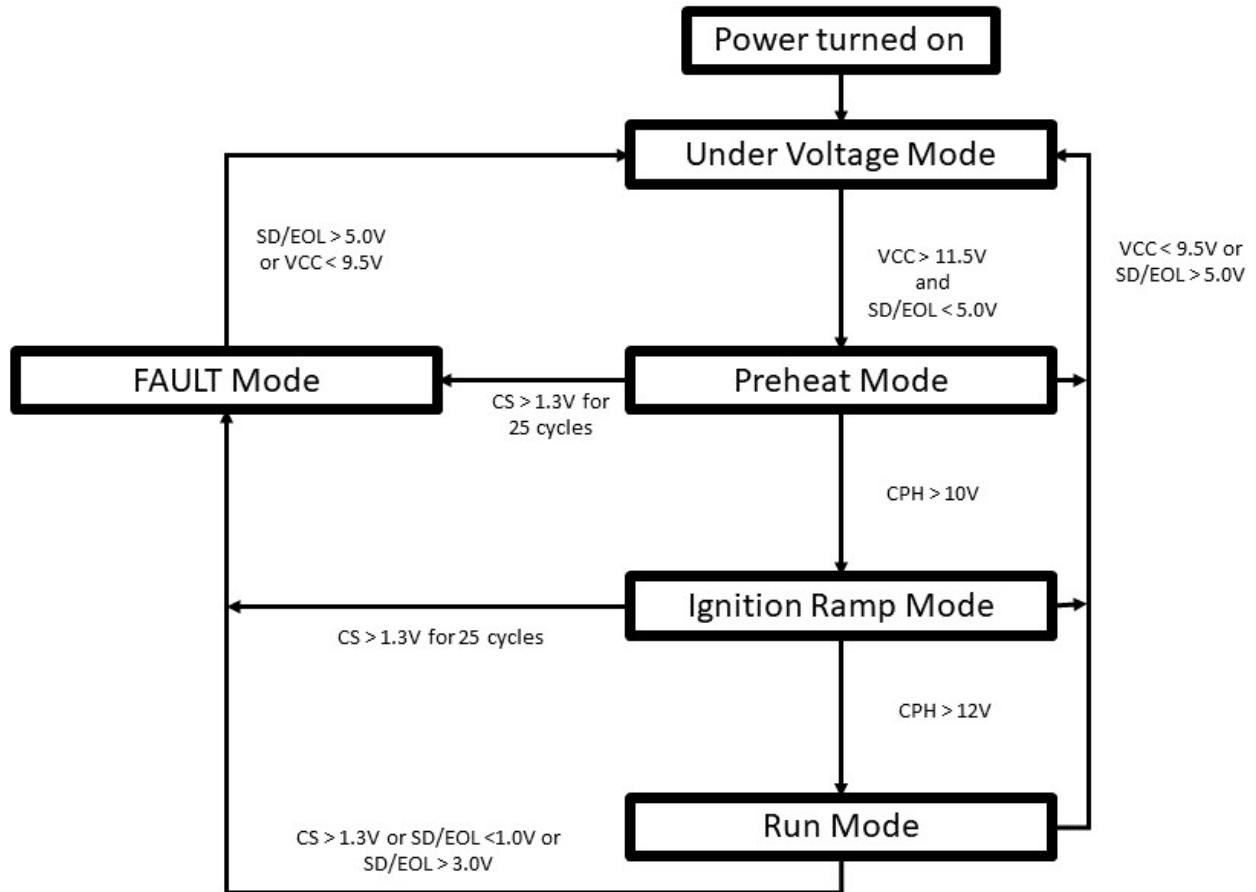
2.2 Växelriktare

Växelriktare är en elektrisk omriktare som överför effekt från en likspänningskälla till ett växelspänningssystem. En växelriktare kan mata ut effekt med exakt den frekvens och spänning som behövs (spänningens amplitud begränsas av likspänningskällan). I drivsystem där växelströmsmaskiner ska drivas med variabelt varvtal är växelriktare vanliga. Det finns olika sätt att bygga växelriktare. Ett sätt är med transistorer. Transistorerna styrs av styr signaler. Vxelspänningens vågform, frekvens och amplitud beror på styrningen av transistorerna. Styrningen sker lämpligen med hjälp av oscillatorer [13].

2.2.1 Drivkrets IR2166

IR2166 är en drivkrets som utvecklats för att driva lysrör. Drivkretsen innehåller bland annat en inbyggd halvbrugga och oscillator som kan utnyttjas för att bygga en växelriktare.

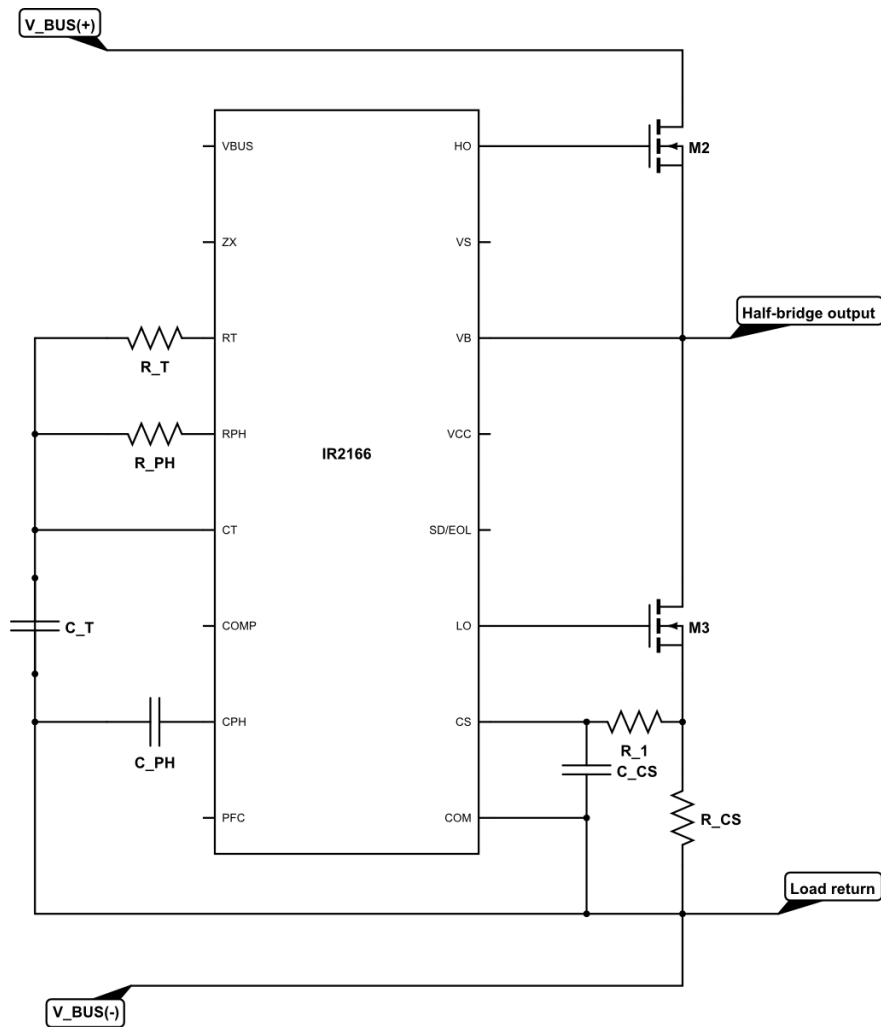
Drivkretsen innehåller dessutom en på-/avstängningsfunktion som med en styrsignal kan utnyttjas för att stänga av och starta kretsen som önskat. När drivkretsen matas med spänning kan fem olika lägen uppstå, se Figur 1.



Figur 1: Lägesschema för drivkretsen IR2166.

Första läget som drivkretsen går in i är Under-Voltage Lock-Out mode. I detta läge är halv-bryggan och oscillatorn avstängda. Detta läge uppstår vid uppstart eller då inspänning på ingången V_{CC} är under gränsvärdet 9,5 V eller om ingången på nedstängningsfunktionen Shut Down/ End Of Life (SD/EOL) är över 5,0 V [14]. Vidare går drivkretsen in i Preheat Mode när $V_{CC} > 11,5$ V och $SD/EOL < 5,0$ V. I detta läge startar halvbyggoscillationen med 50% arbetscykel mellan utgångarna High Output (HO) och Low Output (LO). Dötiden bestäms av den externt kopplade kondensatorn C_T , se Figur 2, och en intern resistor R_{DT} . Frekvensen under Preheat Mode bestäms av storleken på resistorerna R_T och R_{PH} , samt kondensatorn C_T . Under Preheat Mode laddas den på ingång CPH externt kopplade kondensatorn C_{PH} upp av en intern ström. När C_{PH} laddats till 10 V går drivkretsen in i nästa läge. Under Preheat Mode aktiveras också ett högströmsskydd och en felräknare i drivkretsen. Anled-

ningen är att tändningsströmmen får inte överstiga en viss nivå. Fel registreras i felräknaren om spänningen på ingång CS överstiger 1,3 V. Om antalet felaktiga cykler överstiger 25 går drivkretsen in i FAULT Mode och halvbyggen stängs av (både LO och HO går låga). Förutsatt att inga fel uppstår, går drivkretsen in i nästa läge som heter Ignition Ramp Mode. Under Ignition Ramp Mode kopplas R_{PH} bort från R_T , vilket får oscillationen att inta växelriktarens avsedda frekvens. Drivkretsen går sedan in i Run Mode, vilket är det tillstånd där produkten matas med en given effekt. I Run Mode definieras frekvensen av R_T och C_T . Kretsen är stabil i Run Mode så länge SD/EOL hålls mellan 1 V och 3 V, V_{CC} hålls över 9,5 V och CS inte överstiger 1,3 V.

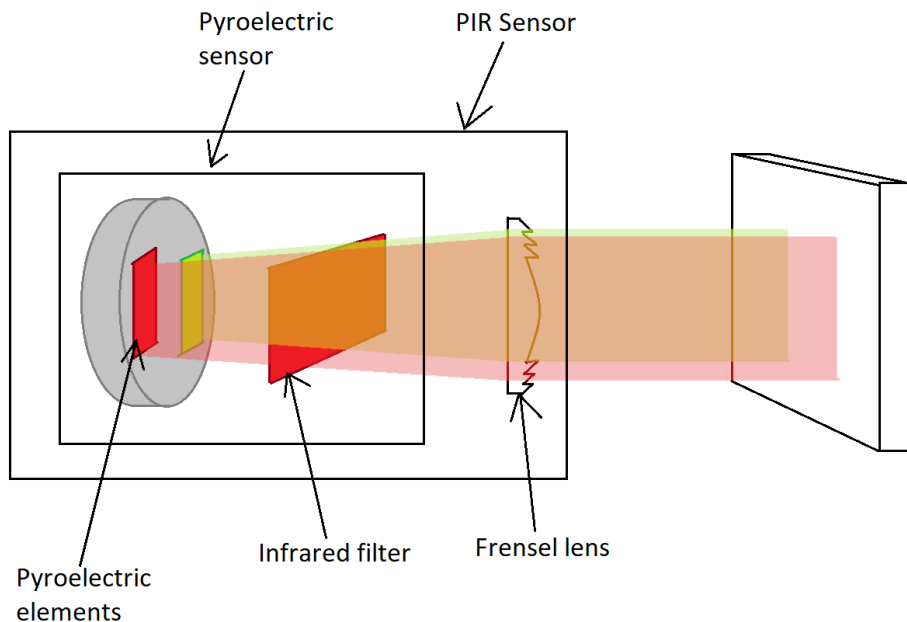


Figur 2: Kretsen visar vilka externa komponenter som är inkluderade i uppstart av drivkretsen.

2.3 Mätinstrument

En infraröd (IR) sensor är ett effektivt mätinstrument som kan upptäcka och mäta infraröd strålning (även kallat termisk-/värmestrålning) på en yta helt kontaktfritt. Konceptet bygger på Stefan-Boltzmanns lag, vilken innebär att alla objekt eller levande varelser som avger värme (all materia med en temperatur över fem Kelvin) även ger ifrån sig infraröd strålning. Det finns två typer av IR-sensorer för att mäta infraröd strålning: aktiva och passiva. Där en aktiv infraröd sensor mäter IR-strålning genom att först emittera ljus från en LED-diod för att sedan mäta den strålning som objektet avger. En passiv infraröd (PIR) sensor fungerar utan en LED-diod och upptäcker IR-strålningen direkt från ytan på objektet som mäts [15]. Se Figur 3 för en överblick över en PIR-sensor och dess komponenter.

En IR-sensor vars funktion är att mäta temperatur motsvarar en IR-termometer och är uppbyggd av en pyroelektrisk sensor, en termistor, ett IR-filter, en frensel-lins och ett hus för att skydda de interna komponenterna mot miljövariabler, som luftfuktighet [15]. Frensel-linsen används för att minimera mängden material, öka den optiska öppningen och minska brännvidden. Sensorn består av en tunn film av polyvinylidenfluorid, ett pyroelektriskt material. Konceptet av en IR-termometer är att IR-strålning färdas genom linsen, vidare via IR-filtret som separerar bort övrigt ljus. Slutligen når strålningen filmen, vilket ändrar dess temperatur. Temperaturändringen orsakar en elektrisk polarisation som i sin tur genererar en elektrisk laddning. Termistorn, en resistor vars resistans är beroende av temperaturen, behöver befinna sig i termisk jämvikt med sensorn och används i sin tur för att bestämma omgivningstemperaturen [16].



Figur 3: PIR-sensor och dess interna komponenter.

IR-termometern fångar upp och mäter den genomsnittliga värmestrålningen inom dess synfält. Med hjälp av thermopileteknik konverterar sensorn strålningen till ett elektriskt flöde som därefter översätts till grader Celsius. Därför är det viktigt att mätobjektet täcker termometerns hela synfält [16].

IR-strålningen beräknas med hjälp av Stefan-Boltzmanns ekvation genom att utnyttja differensen mellan den omgivande temperaturen och den uppmätta yt-temperaturen enligt

$$\Phi_p = A \cdot \sigma \cdot \epsilon_p \cdot \epsilon_s \cdot (T_p^4 - T_s^4) \quad (5)$$

där Φ motsvarar det infraröda flödet, A den optiska konstanten, σ Stefan-Boltzmanns konstant, ϵ emissivitet och T temperatur. Indexet p representerar mätytans egenskaper och s motsvarar sensorns egenskaper. Emissivitetfaktorn är ett mått på hur mycket värme ett material utstrålar jämfört med en ideal kropp. Yt-temperaturen bryts därefter ut enligt

$$T_p = \sqrt[4]{T_s^4 + \frac{\Phi_p}{A \cdot \sigma \cdot \epsilon_p \cdot \epsilon_s}} \quad (6)$$

[16].

2.4 Arduino

Arduino LLC är ett företag som utvecklar programmerbara produkter. Produkterna består av mikrokontroller som sitter på ett kort, tillsammans kallat mikrokontrollerkort. Koden skrivs via en dator som därefter går att överföra till mikrokontrollerkortet för att kunna köra trådlöst utan en dator inkopplad. Koden till Arduinon skrivs i deras egna program "Arduino Software (IDE)" på deras egna språk "Arduino programming language (APL)". Fördelarna med Arduino är den enkla och tillgängliga användarupplevelsen. Deras program Arduino IDE är gratis och deras språk APL är baserat på språken C/C++ [17, 18]. En av dessa produkter är Arduino Nano, som är en av deras mindre kontrollerkort [19].

2.5 Värmeenergi

En kropps värmeenergi ges av ekvationen

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (7)$$

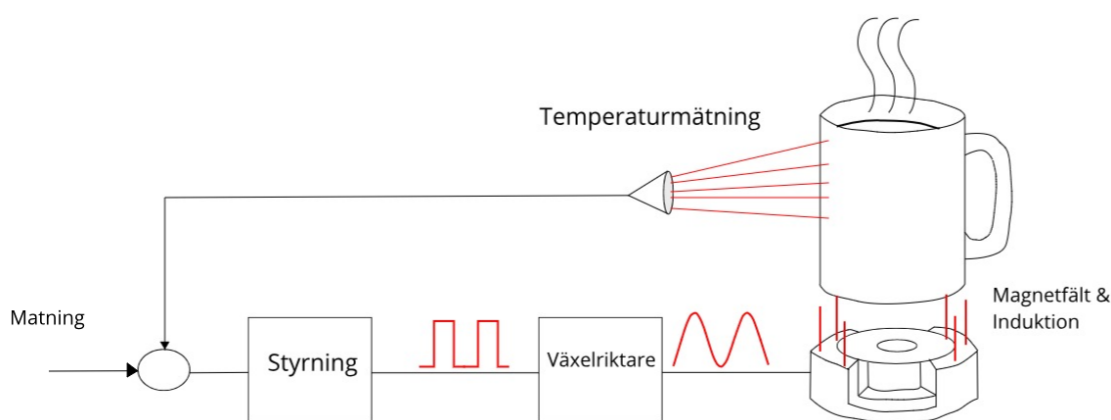
där c är specifik värmekapaciteten för kroppen, m är dess massa och ΔT är kroppens temperaturskillnad mellan två tidpunkter.

3 Metod

Detta kapitel beskriver hur produkten fungerar, samt hur dess delkomponenter har konstruerats. Vidare motiveras val av material, värden och tillvägagångssätt.

3.1 Design

För att designa produkten effektivt delades produkten in i fyra olika delar: induktor, växelriktare, mätinstrument och fodral. Dessa fyra delar skulle sedan kopplas ihop till den slutgiltiga produkten, se blockschema i Figur 4. Nedan följer en beskrivning över designprocessen bakom respektive del.



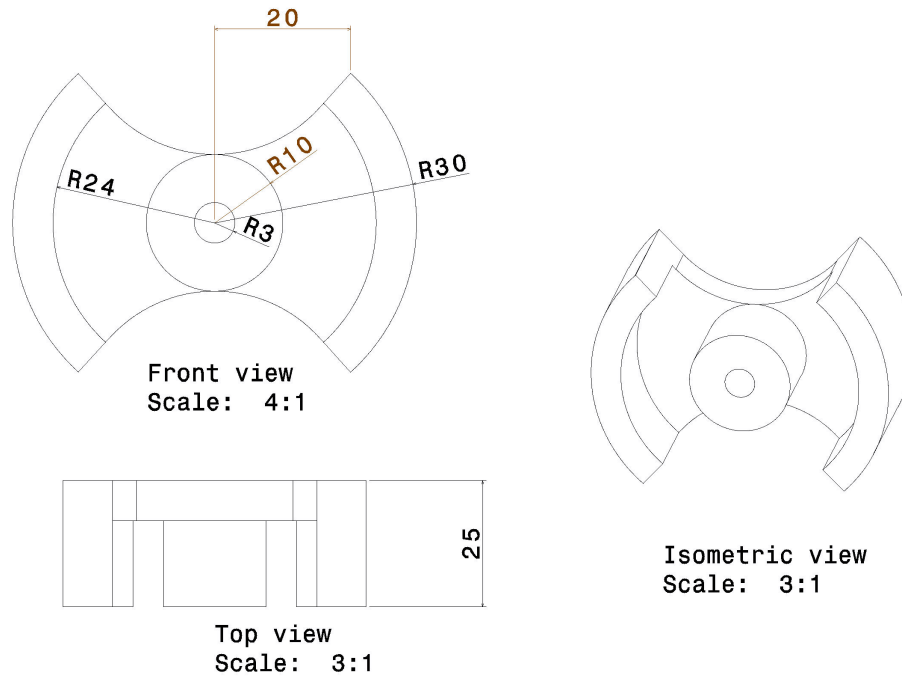
Figur 4: Blockschema över produkten.

3.1.1 Induktor

Induktorn är den primära komponenten för att få induktionen att fungera. Som kärna i induktorn valdes materialet ferrit då dess egenskaper, se avsnitt 2.1.1 gjorde den optimal till användning som en kärna. Vid valet av ferrittyp krävdes det att ferriten uppfyllde vissa krav. Dessa krav var:

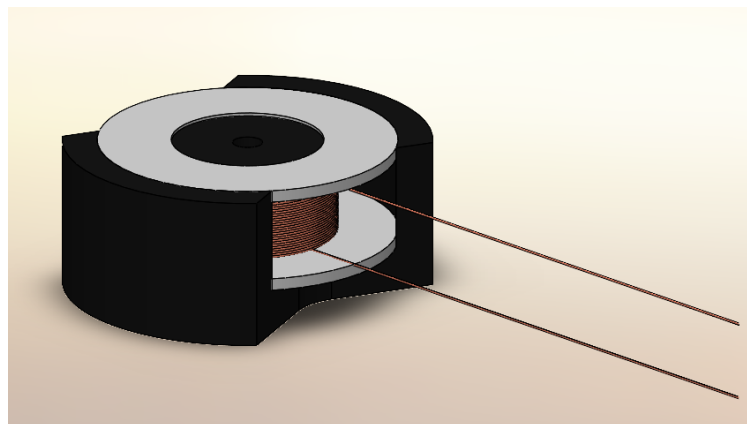
- Möjlighet till placering av bobin
- Fanns tillgänglig i en storlek vars diameter var snarlik koppens

Det ferritmaterialet som användes för kärnan var N27 eftersom det uppfyllde kraven. Ferritkärnan som valdes var av typen POT-Core med en ytterdiameter på 60 mm, se Figur 5.



Figur 5: Ferritkärnan.

Efter att kärnan valts bestämdes de andra komponenterna i induktorn, vilka var koppartråden och bobinen. Den valda koppartråden hade diametern 0,35 mm. Bobinen tillverkades med hjälp av 3D-utskrivning och materialet valdes till plasten polyaktid(PLA), vilket är bra lämpad för prototyp tillverkning [20]. En principiell skiss över induktorn visas i Figur 6.



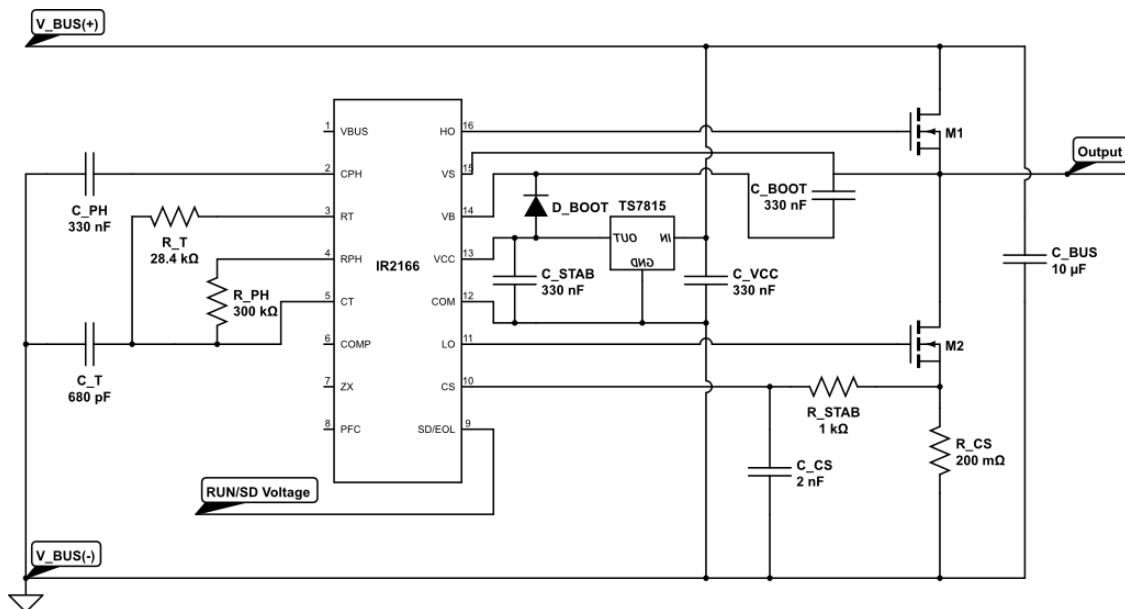
Figur 6: Induktorn.

För att induktorn ska kunna värma med induktion behövs ett material som induktorn värmer upp, vilket i det här fallet valdes till metallen magnetisk rostfri stål. Denna metallplatta ska

placeras i koppen som sedan i sin tur placeras ovanpå induktorn. Detta leder till att metallen kommer värmas upp i koppen vilket i sin tur värmer upp kaffet.

3.1.2 Växelriktare

Växelriktarens uppgift är att omvandla likströmmen som produkten kommer att konsumera till växelström som behövs för att induktorn ska kunna skapa ett varierande magnetfält, se avsnitt 2.1. Drivkretsen IR2166 utnyttjades som komponent i växelriktaren på grund av dess inbyggda komponenter och funktioner, se avsnitt 2.2.1. Till drivkretsen kopplades andra komponenter som tillsammans utgör växelriktaren, se Figur 7 som visar ett kretsschema över växelriktaren. Frekvensen på växelströmmen önskades hamna utanför människans hörbara frekvensområde, dvs över 20 kHz [21], för att undvika oljud när produkten är igång. Frekvensen valdes initialt till 50 kHz för att räkna ut värden på övriga komponenter enligt ekvation 8-12. En potentiometer kopplades till R_T för möjligheten att justera frekvensen, se avsnitt 2.2.1. Frekvensen justerades för att hitta kretsens resonansfrekvens. Detta gjordes genom att ställa in potentiometern tills att spänningen över spolen uppvisar en tydlig sinuskurva och när en spänningstopp. Resonans uppmättes vid 41 kHz.



Figur 7: IR2166 med extra komponenter, $V_{BUS}(+)$ är matad spänning medan $V_{BUS}(-)$ är jordat.

Värdet på dessa komponenter togs fram genom olika metoder. C_T , R_T , R_{PH} , C_{PH} och R_{CS} togs fram genom följande ekvationer

$$C_T = \frac{t_{DT}}{1475} [Farads] \quad (8)$$

där t_{DT} är dödtid för inre resistorn R_{DT} med värdet $1 \mu s$.

$$R_T = \frac{1}{1,02 \cdot C_T \cdot f_{RUN}} - 2892 \text{ [Ohms]} \quad (9)$$

där f_{RUN} är den uppmätta frekvensen 41 kHz .

$$R_{PH} = \frac{\left(\frac{1}{1,02 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 2892\right) \cdot R_T}{R_T - \left(\frac{1}{1,02 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 2892\right)} \text{ [Ohms]} \quad (10)$$

där f_{PH} är Preheat-frekvensen med värdet 50 kHz .

$$C_{PH} = t_{PH} \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ [Farads]} \quad (11)$$

där t_{PH} är tiden det tar för kapacitansen C_{PH} att ladda upp till 10 V , och därav valdes till $1 s$.

$$R_{CS} = \frac{1,3}{I_{IGN}} \text{ [Ohms]} \quad (12)$$

där I_{IGN} är max startström, som valdes att vara $6,5 \text{ A}$ [14]. Andra komponenter som C_{STAB} , C_{VCC} och spänningsstabilisatorn TS7815 bestämdes genom databladet för TS7815 [22]. R_{STAB} och C_{CS} är ett lågpasfilter (LP-filter) där $R_{STAB} = 1 \text{ k}\Omega$ och $C_{CS} = 2 \text{ nF}$ gav en gränshfrekvens på 80 kHz [23]. Komponenter som C_{BUS} , C_{BOOT} och D_{BOOT} valdes genom rekommendationer från databladet för IR2166 [14]. För transistorerna M_1 och M_2 valdes 30N06 då dessa är n-kanal MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) med max spänningvärde mellan drain och source på 60 V [24]. Värden på alla komponenter har summerats i Tabell 1.

Tabell 1: Komponenter & värde.

Komponent	Värde
R_T	$28,4 \text{ k}\Omega$
R_{PH}	$300 \text{ k}\Omega$
R_{STAB}	$1 \text{ k}\Omega$
R_{CS}	$200 \text{ m}\Omega$
C_T	680 pF
C_{PH}	330 nF
C_{STAB}	330 nF
C_{CS}	2 nF
C_{VCC}	330 nF
C_{BOOT}	330 nF
C_{BUS}	$10 \mu F$

3.1.3 Mätinstrument

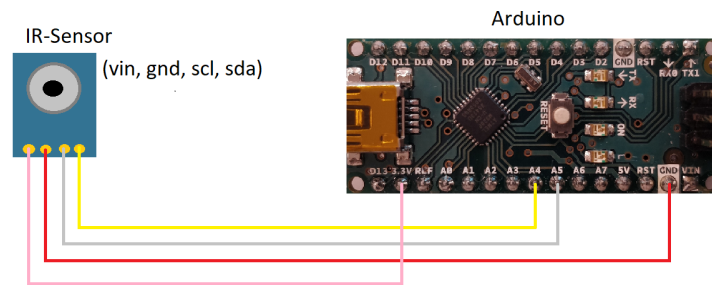
Med trådlös mätning undveks problem som skulle uppenbara sig genom användning av mätsticka, exempelvis oregelbundna mätningar beroende på vart mätstickan befinner sig i

koppen. En IR-sensor valdes på grund av dess effektivitet och möjlighet att mäta på en yta hel kontaktfritt, se avsnitt 2.3.

Den valda IR-sensorn var en "MLX90614ESF-BAA-00-TU-ND" (MLX90614). Denna sensor valdes i hänsyn till dess pris samt dess användarvänlighet i kombination med ett kontrollerkort.

3.1.4 Mätinstrument och kontrollerkort

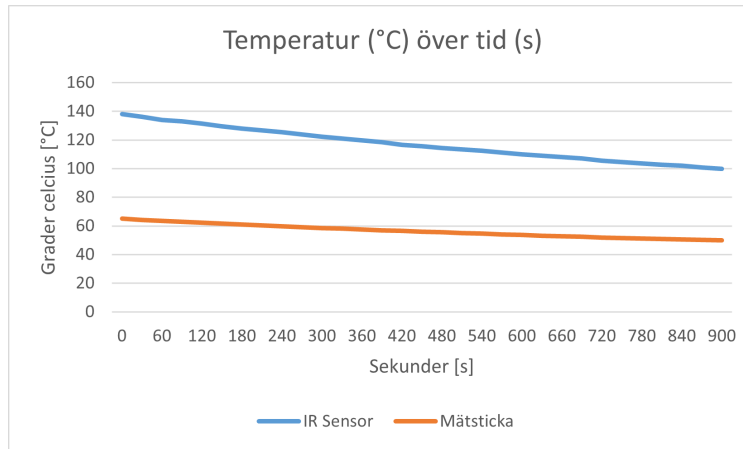
Kontrollerkortet valdes till ett mikrokontrollerkort vid namn Arduino Nano på grund av dess kompatibilitet med den valda IR-sensorn. Detta kort var relativt litet till storleken samt enkelt att operera. Koppling mellan IR-sensorn och kontrollerkortet skedde enligt Figur 8 [25].



Figur 8: Koppling IR-Sensor med mikrokontrollerkort.

IR-sensorn hade ett konstruktionsfel som innebar att fel temperatur blev uppmätt, vilket resulterade i en första felmarginal. Ytterligare en felmarginal var att mätning skedde på nedre sidan av koppen vilket ej motsvarar temperaturen på kaffet. Anledningen till varför mätning skedde på sidan var för att det uppstod komplikationer vid mätning både underifrån och ovanifrån. Att mäta underifrån blev en omöjlighet då magnetfältet från induktorn skulle störa mätningarna. Att mäta mellan hålet i mitten på ferriten var ett alternativ som utforskades, men hålet var för litet för sensorn och att borra ett större hål var ej möjligt då ferriten var för skör. Mätning ovanifrån skulle vara fördelaktigt då mätning sker direkt på kaffet, men det önskvärda är att mäta nära där uppvärmning sker vilket är i botten på koppen. Dessutom finns risken att sensorn immar igen då den är placerad ovanför varmt kaffe, vilket skulle medföra dåliga resultat.

För att utvinna en korrekt temperaturmätning ur sensorn utfördes ett test där IR-sensorns uppmätta temperatur jämfördes mot en mätsticka i koppen. Resultatet från detta visas i Figur 9.



Figur 9: Temperaturmätning med IR-sensor samt mätsticka.

Utifrån mätningarna från IR-sensorn samt mätstickan var det tydligt att de kunde linjäriseras. Detta innebar att det gick att upprätta en korrelation mellan de båda mätningarna. IR-sensorn kunde därmed linjäriseras för att få den verkliga temperaturen genom

$$Temp_{IRL} = Temp_{IRSensor} \cdot 2,523 - 26,007 \quad (13)$$

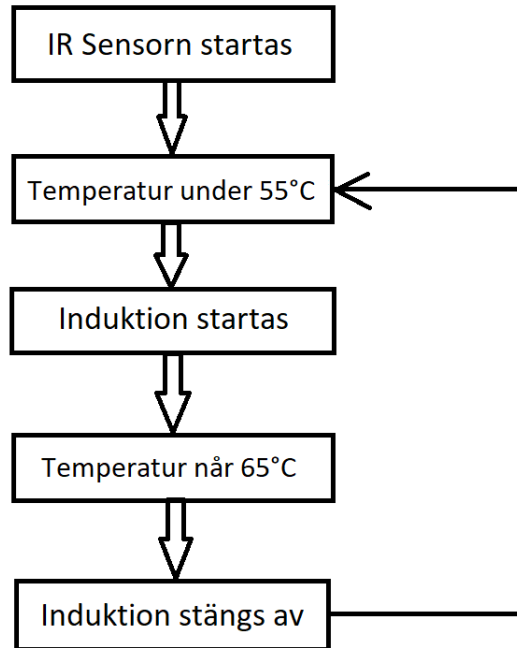
där $Temp_{IRL}$ motsvarar uppmätt temperatur av mätstickan och $Temp_{IRSensor}$ motsvarar den uppmätta temperaturen av IR-sensorn.

Genom att implementera ekvation 13 i koden till kontrollkortet kunde rätt temperatur utläsas av IR-sensorn samt presenteras i programmet Arduino IDE.

3.1.5 MOSFET och kontrollkort

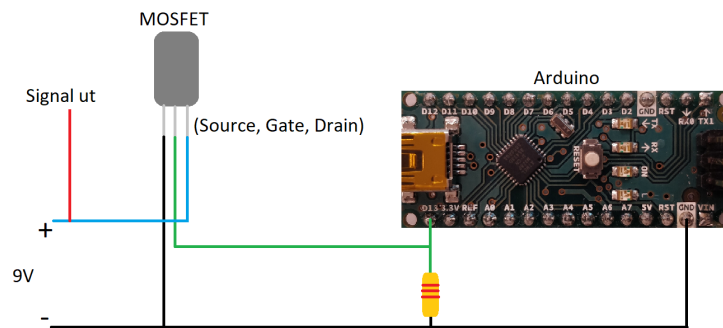
En kod skrevs till kontrollkortet för att reglera vilken spänning som skickas till växelriktaren. De olika spänningar som skickas ut bestämmer ifall produkten ska tillföra effekt till induktorn eller ej enligt Figur 1.

Mätningen av temperaturen sammanfogades med ett återkopplat system som höll temperaturen inom ett intervall på ± 5 °C enligt specifikationerna. IR-sensorn skickar information om koppens temperatur varje 500 ms i enlighet med koden. När temperaturen föll till 55 °C skickades en signal till huvudkretsen som i sin tur startade tillföra effekt till induktorn. Induktorn var igång tills temperaturen nådde 65 °C och stängdes sedan av. Koden bifogas som Bilaga A och visualiseras i Figur 10.



Figur 10: Visualisering av kod.

Växeriktaren krävde en insignal större än 5 V för att stänga av kretsen, vilket kontrollkortet inte kunde leverera då dess maximala utspänning var 5 V. För att uppnå en högre utsignal användes en MOSFET i kombination med en extern spänningskälla på 9 V. Den MOSFET som valdes var "2N7000" eftersom den möter kravet på minst 9 V. Sammankoppling med kontrollkortet skedde enligt Figur 11[26].



Figur 11: Koppling av MOSFET och mikrokontrollerkort.

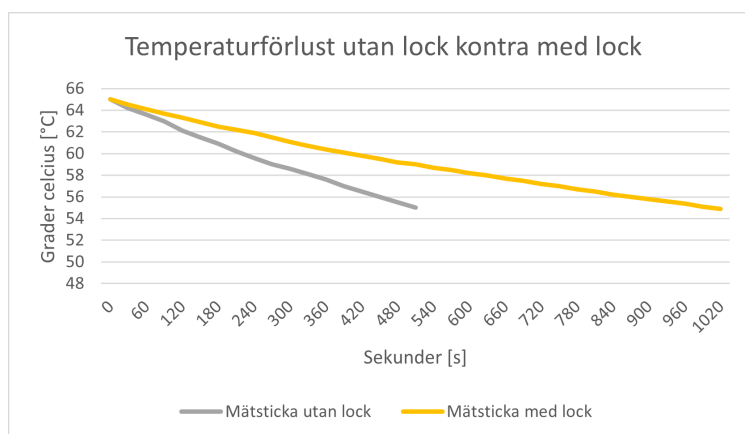
3.1.6 Fodral

Induktor och övrig krets behövde vara inkapslade i ett fodral för att skydda elektronik och användare. Fodralet designades och tillverkades med hjälp av CAD och 3D-utskrivning. Materialet som användes var polyaktid (PLA), vilket är en plast som ofta används som filament i 3D-utskrivning och har goda egenskaper i prototyp tillverknings syfte [20]. Fodralets krav var följande:

- Möjlighet till inkapsling av elektronik
- Kort avstånd mellan ferrit och kopp
- Monterbar och möjlighet att placera IR-sensorn för lämplig mätning av koppens ytemperatur.

3.1.7 Lock

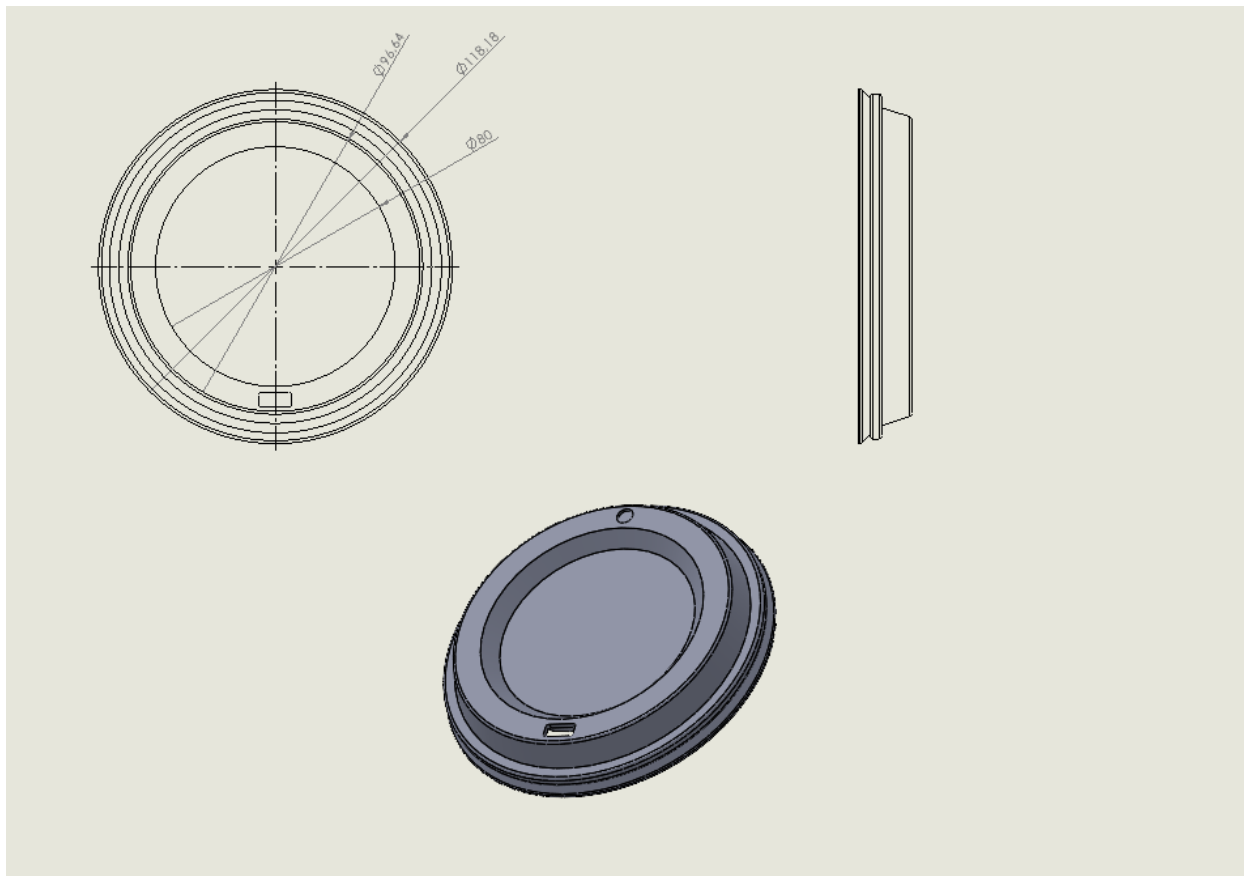
För att minska värmeförlusten och därmed minska effektbehovet från induktorn introducerades ett lock till produkten. Ett lock bidrar till en ökad isolering utav kaffet vilket innebär att mindre värme går förlorad jämfört med fallet utan lock. En följd av mindre värmeförluster är att en mindre effekt krävs för att värma upp kaffet. För att styrka detta utfördes ett test där en jämförelse mellan en kopp kaffe med lock och en utan lock gjordes. Resultatet av testet visualiseras i Figur 12.



Figur 12: Temperaturförlust utan lock kontra med lock.

Med lock tog det dubbelt så lång tid att gå från 65 °C till 55 °C, vilket innebar en halvering av den förlorade effekten ur koppen.

Konstruktionen av locket baserades på de kommersiella engångsartiklar som finns på marknaden, med en diameter som justerades efter koppen som användes i projektet. Locket konstruerades med hjälp av 3D-utskrivning för att kunna få den önskvärda diametern och materialet som användes var PLA. I Figur 13 presenteras en skiss över locket som används i projektet.



Figur 13: Kaffelock.

3.2 Beräkning av effektbehov

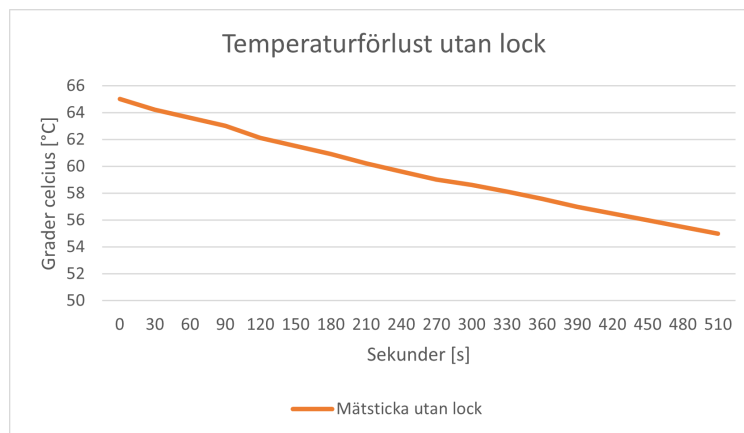
För att veta vilken effekt som krävdes för att värma upp kaffet utfördes ett test där temperaturen på en kopp kaffe mättes inom det intervall listat under avsnitt 1.3. Mätningarna gjordes med regelbundet intervall och resultatet för en av iterationerna illustreras i Figur 14. Därefter togs effekten som förlorats fram genom att beräkna den värmeenergi som lämnat koppen dividerat med den tid det tog för energin att lämna koppen. Värmeenergin beräknades enligt ekvation 7 där värmekapaciteten för vatten användes ($c = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ [27]), vätskans massa var 270 gram och temperaturskillnaden var $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Det gjordes flera försök för att säkerställa att ett korrekt resultat uppmättes då det kan ta olika tid för kaffet att svalna, vilket visas i Tabell 2.

Tabell 2: Värden för effektberäkning.

Iteration	Tid (s)	Effekt (W)
1	660	-17,1
2	510	-22,1
3	610	-18,5
4	570	-19,8
5	630	-17,9

Det medelvärde som gavs var att cirka 19 W lämnade koppen för en temperatur sänkning från 65 °C till 55 °C. För att en ökning av temperatur ska ske behövdes det tillföras en större effekt än den som gick förlorad. Utifrån detta bestämdes det att induktorn ska generera en effekt på cirka 20 W för att kunna värma kaffet snabbt och utan att kräva ett stort energibehov. Dessutom ligger andra liknande produkter på en effekt mellan 18 - 20 W [7][6] vilket stärker intrycket av att 20 W är ett rimligt värde.



Figur 14: Data från effekt beräkning.

4 Resultat

Nedan följer resultat för induktor, växelriktare, mätinstrument och kontrollkort, effekt samt fodral.

4.1 Induktor

Bobinen lindas upp med cirka 50 varv av koppartråd. Detta resulterar i induktans och resistans presenterade i Tabell 3.

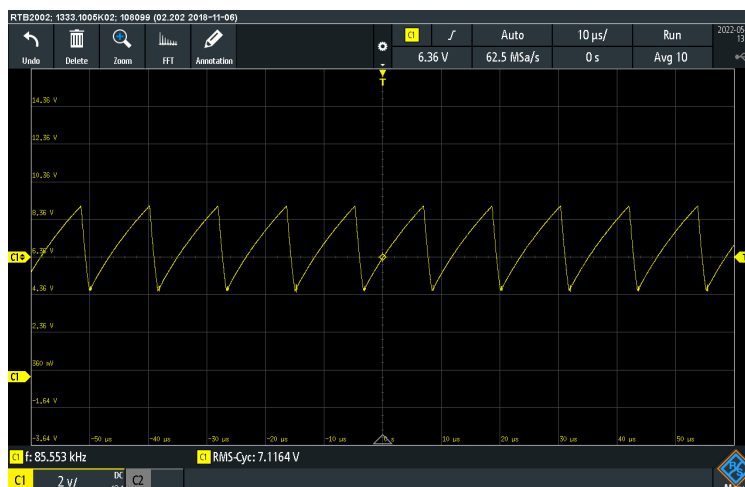
Tabell 3: Värden av induktorn.

	Utan ferritkärna	Med ferritkärna
L	$88 \mu H$	$350 \mu H$
R	$900 m\Omega$	$900 m\Omega$

Induktorn seriekopplas med två seriekopplade kondensatorer där båda har en kapacitans på 68 nF, vilket resulterar i en kapacitans på 34 nF. Denna seriekoppling resulterar i en resonansfrekvens vid cirka 46 kHz. Metallplåten ökar den totala induktansen i lasten på grund av dess magnetiska egenskaper. Med induktor, metallplåt och Koppställaren blir lastens induktans omkring $440 \mu H$, vilket resulterar i en resonansfrekvens vid 41 kHz.

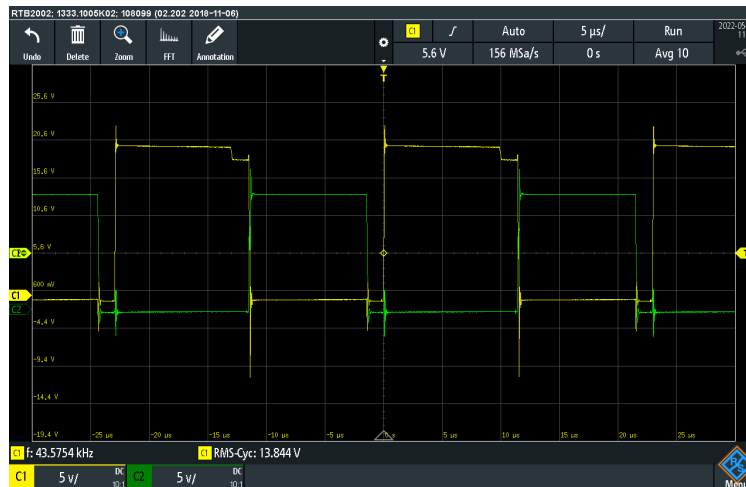
4.2 Växelriktare

Signalmätningar med hjälp av oscilloskop på växelriktarens komponenter kontrollerar växelriktarens funktion. Figur 15 visar en sågtandsvåg över C_T med frekvensen 85 kHz.



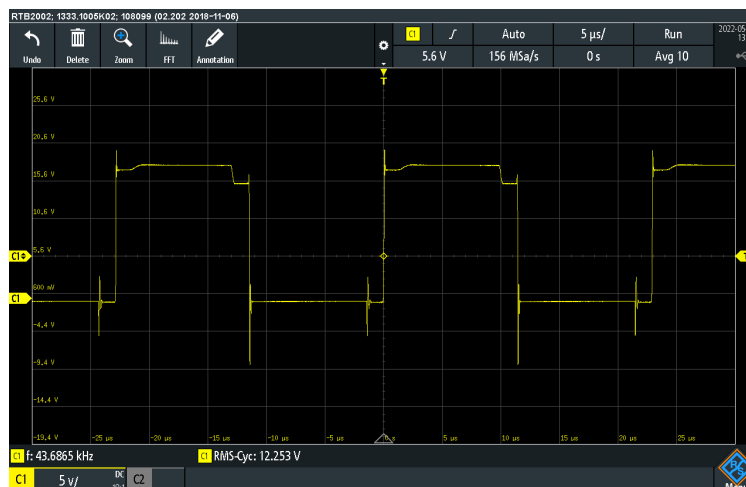
Figur 15: Signal över komponent C_T .

Figur 16 visar två fyrkantsvågor över gate på transistorerna M_1 och M_2 med 50% arbetscykel när växelriktaren är olastad.



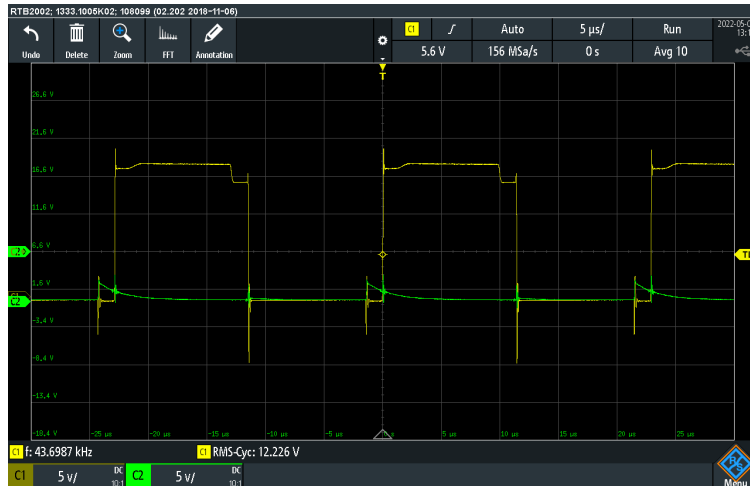
Figur 16: Signal över gate på transistorerna M_1 (gul) och M_2 (grön).

Figur 17 visar växelriktarens utsignal när den är olastad. Utsignalen uppvisar en tydlig fyrkantsvåg med frekvensen 43,7 kHz.



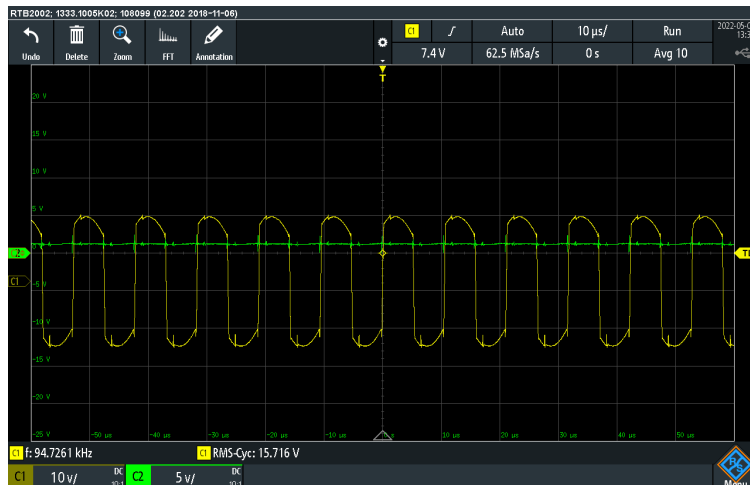
Figur 17: Utsignalen från växelriktaren utan tillsatt last.

Figur 18 visar växelriktarens utsignal tillsammans med spänningen på drivkretsens ingång CS. Funktionen av CS ingången beskrivs i avsnitt 2.2.1.



Figur 18: Utsignalen från växelriktaren utan tillsatt last (gul) och spänningen till CS ingången (grön).

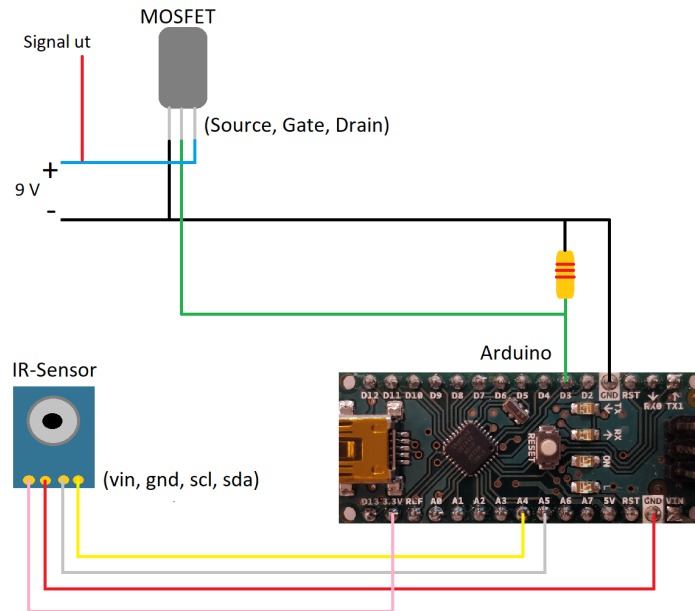
När lasten som beskrivs i avsnitt 4.1 tillsfördes kunde en sinusvåg mätas över induktorn, se Figur 19. Figur 19 visar även att sinusvågen närmar sig en fyrkantsvåg när frekvensen förs längre ifrån resonansfrekvensen.



Figur 19: Spänning över induktorn när frekvensen är större än resonansfrekvensen.

4.3 Mätinstrument och kontrollkort

Resultatet av mätinstrument och kontrollkortet presenteras i Figur 20.



Figur 20: IR-sensor-, kontrollkort- och MOSFET-koppling.

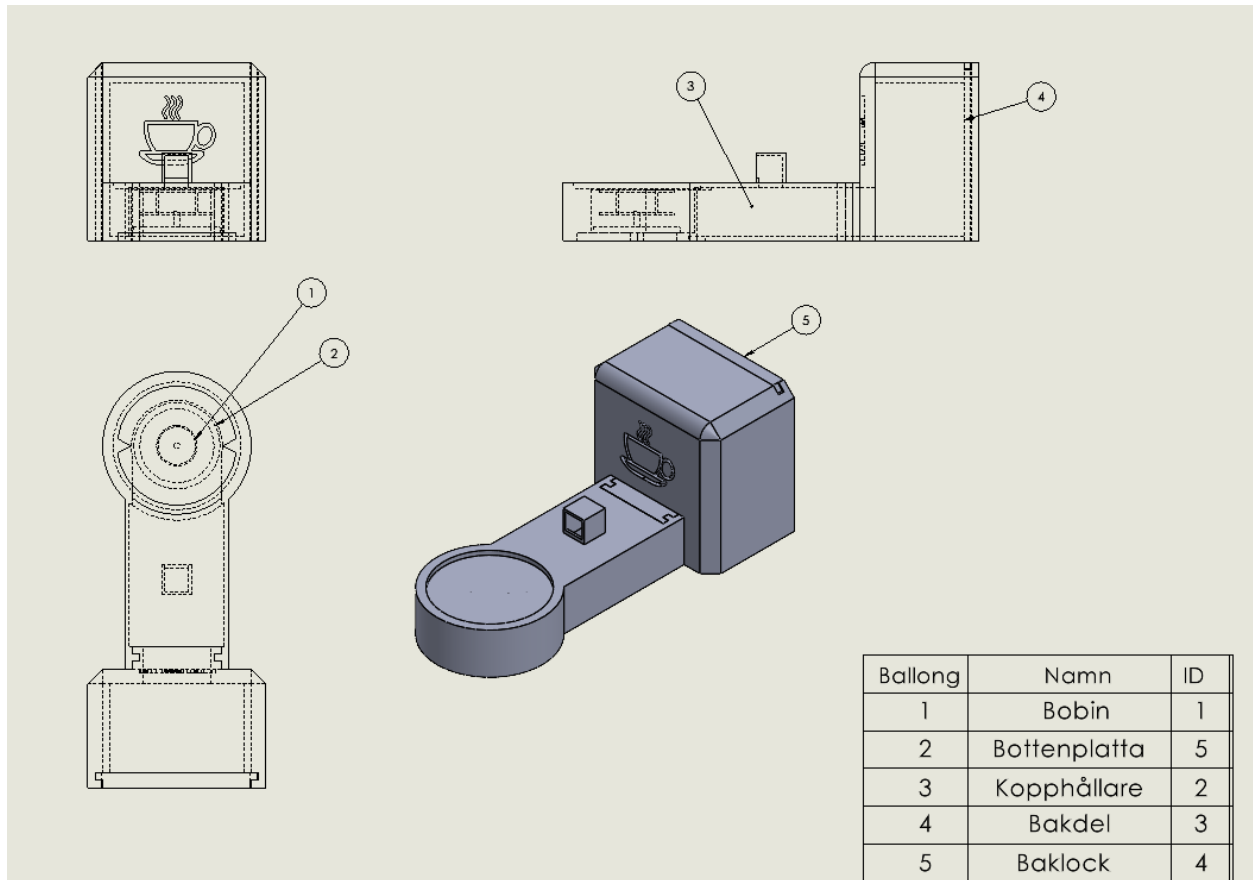
Spänningarna som ska reglera växelriktaren, se avsnitt 3.1.5, bestäms till 2,5 V då produkten ska värma och 9 V då produkten ska stängas av.

4.4 Effekt

För att hitta resonansfrekvens används ett oscilloskop för att visuellt se vid vilken frekvens resonans finns. En potentiometer i kretsen möjliggör för reglering av frekvens ut till lasten. Vid resonans växer spänningen mellan induktorn och kondensatorerna till > 100 V. Effekten som går ut i lasten ligger på ett spann mellan $1 < P < 11$ W beroende på frekvens.

4.5 Fodral

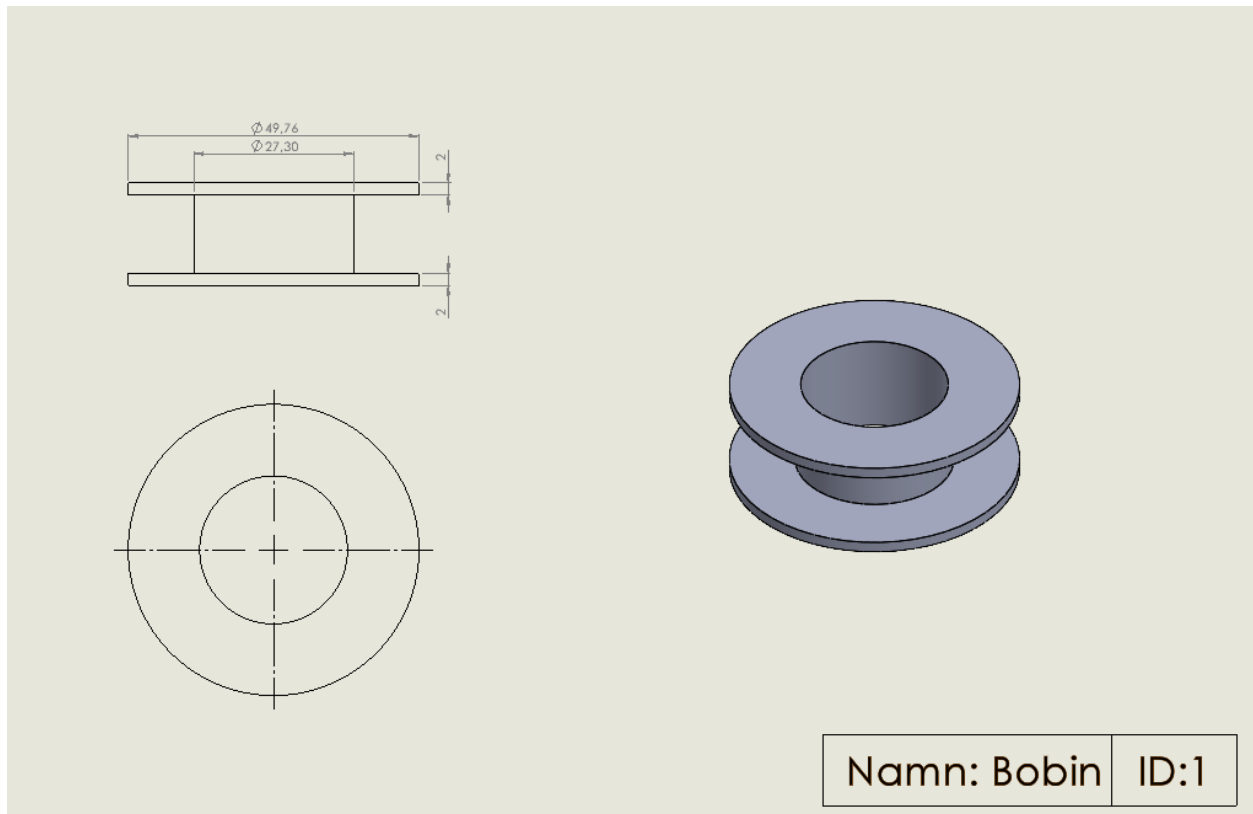
Nedan presenteras fodralets fem komponenter, vilka är: Bobin, Bottenplatta, Kopphållare, Bakdel och Baklock. Samtliga detaljer är utskrivna i materialet PLA. Se Figur 21 för en fullständig sammanställning av fodralet.



Figur 21: Sammanställning av samtliga detaljer.

4.5.1 Bobin

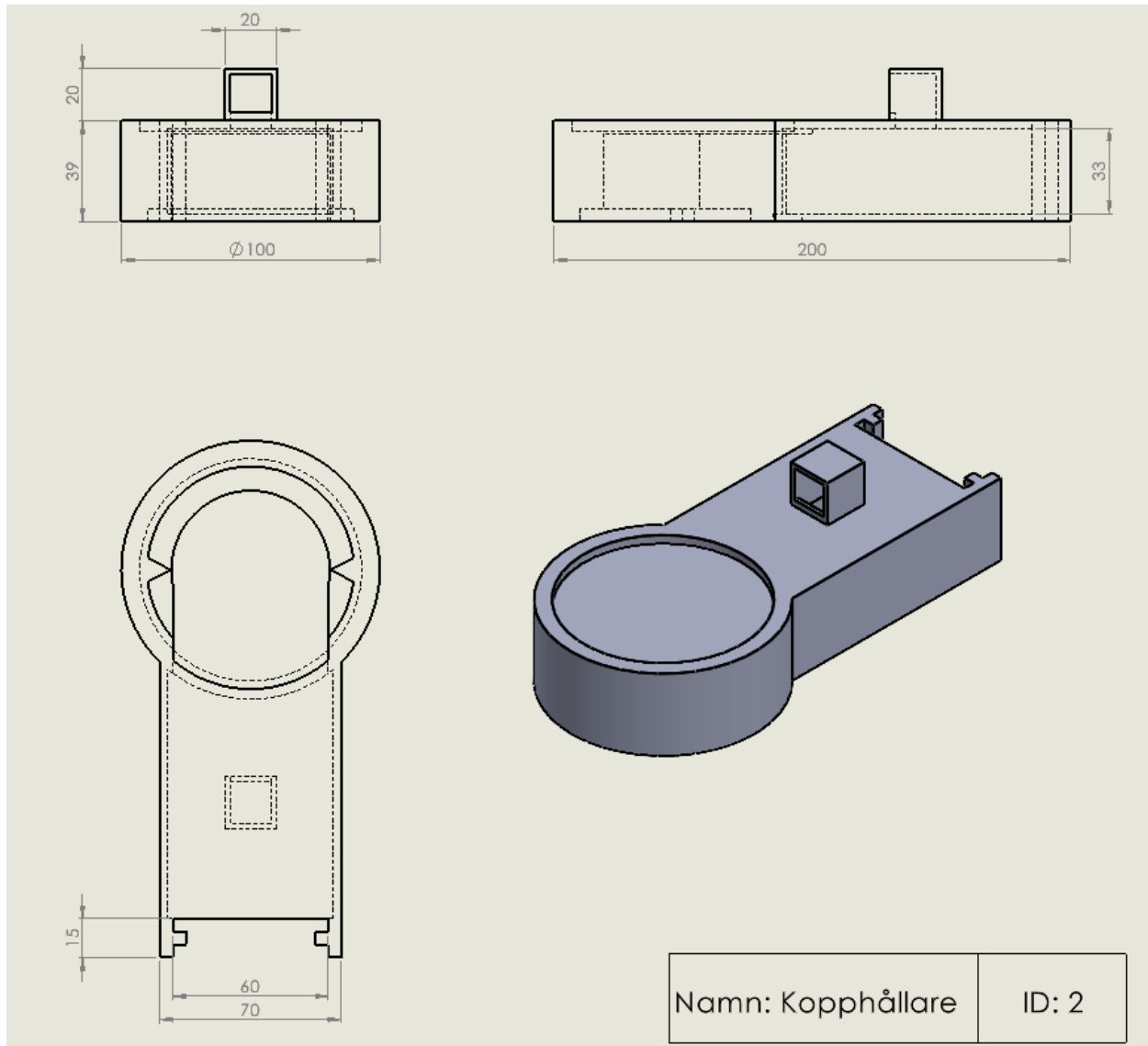
Istället för att direkt linda koppartråd på ferriten användes en bobin. Koppartråden lindas runt bobinen och därefter placeras bobinen i ferritkärnan, se Figur 6. Bobinen visas i Figur 22.



Figur 22: Bobin.

4.5.2 Kopphållare

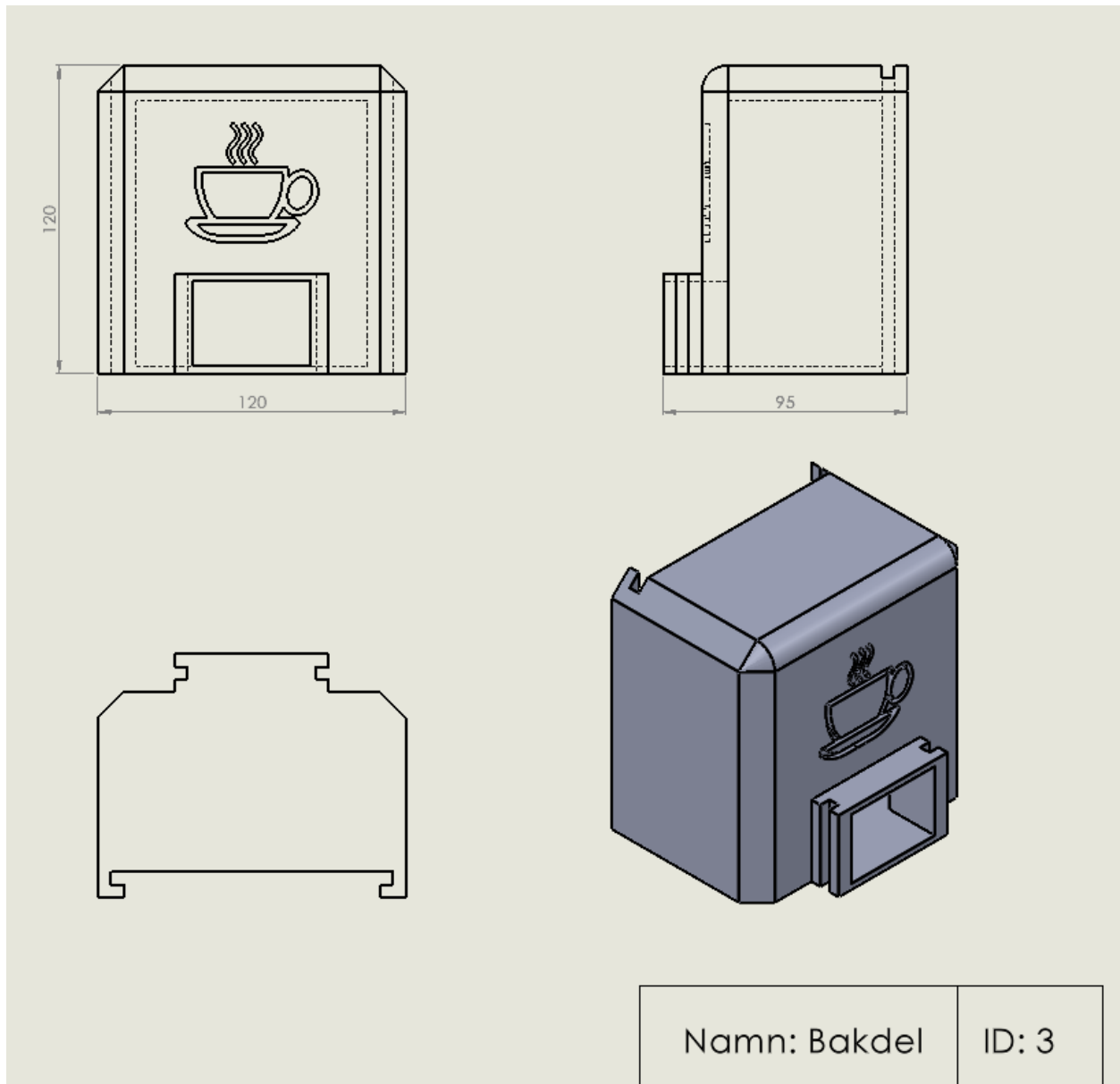
Koppen placeras på den cirkulära delen av detaljen. På undersidan placeras bobinen, vilket resulterar i att induktorn hamnar direkt under koppen med 1 mm mellanrum av PLA-material. I mitten av kopphållaren finns en 20 x 20 mm öppning. Här placeras IR-sensorn för att smidigt mäta temperatur. I Figur 23 visas en skiss över kopphållaren.



Figur 23: Kopphållare.

4.5.3 Bakdel

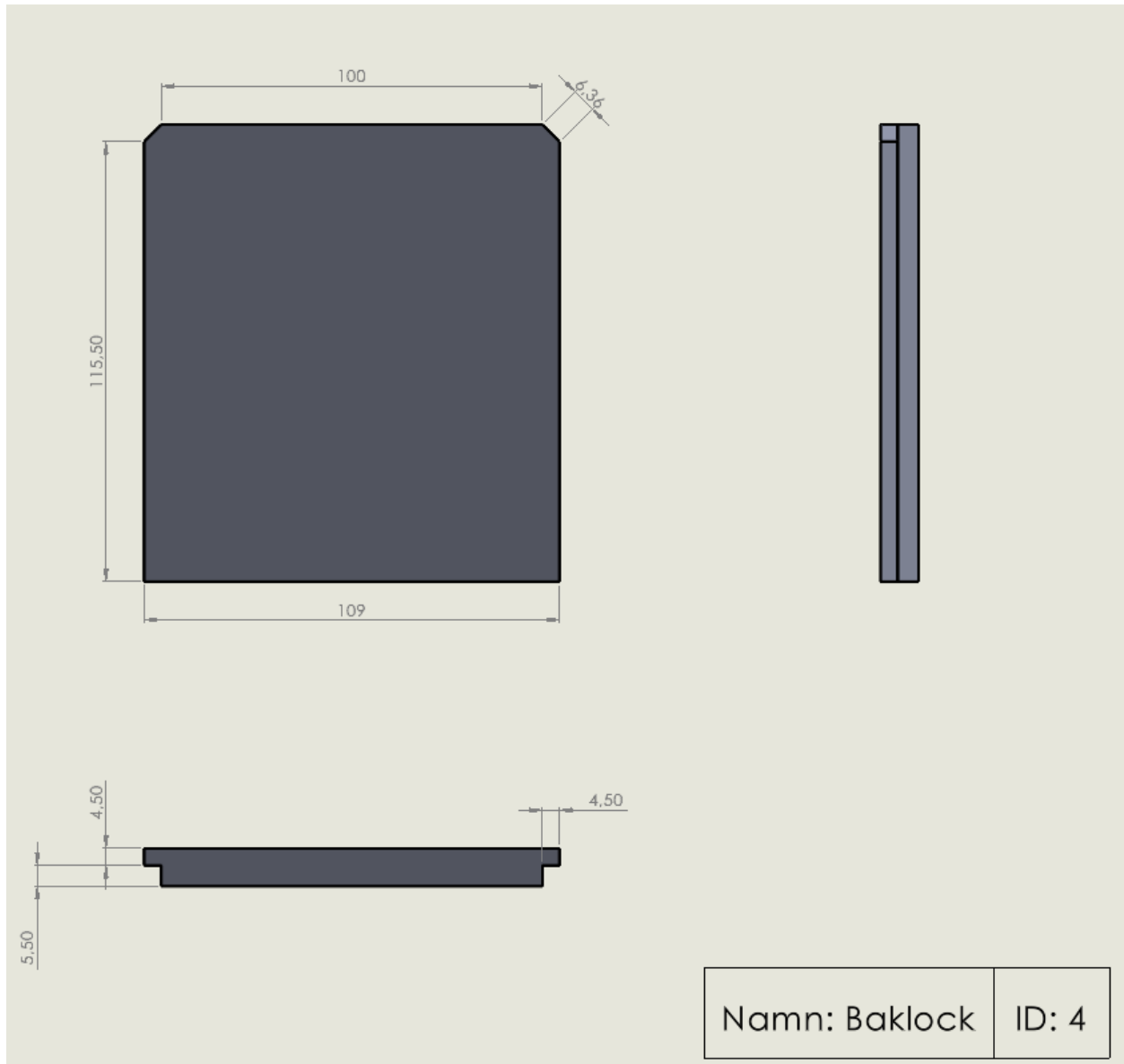
Syftet med bakdelen är att ge extra utrymme för de elektroniska komponenter i produkten. Hakarna på framsidan har i syfte att fästa i bakdelen av kopphållaren. En skiss över bakdelen visas i Figur 24.



Figur 24: Bakdel.

4.5.4 Baklock

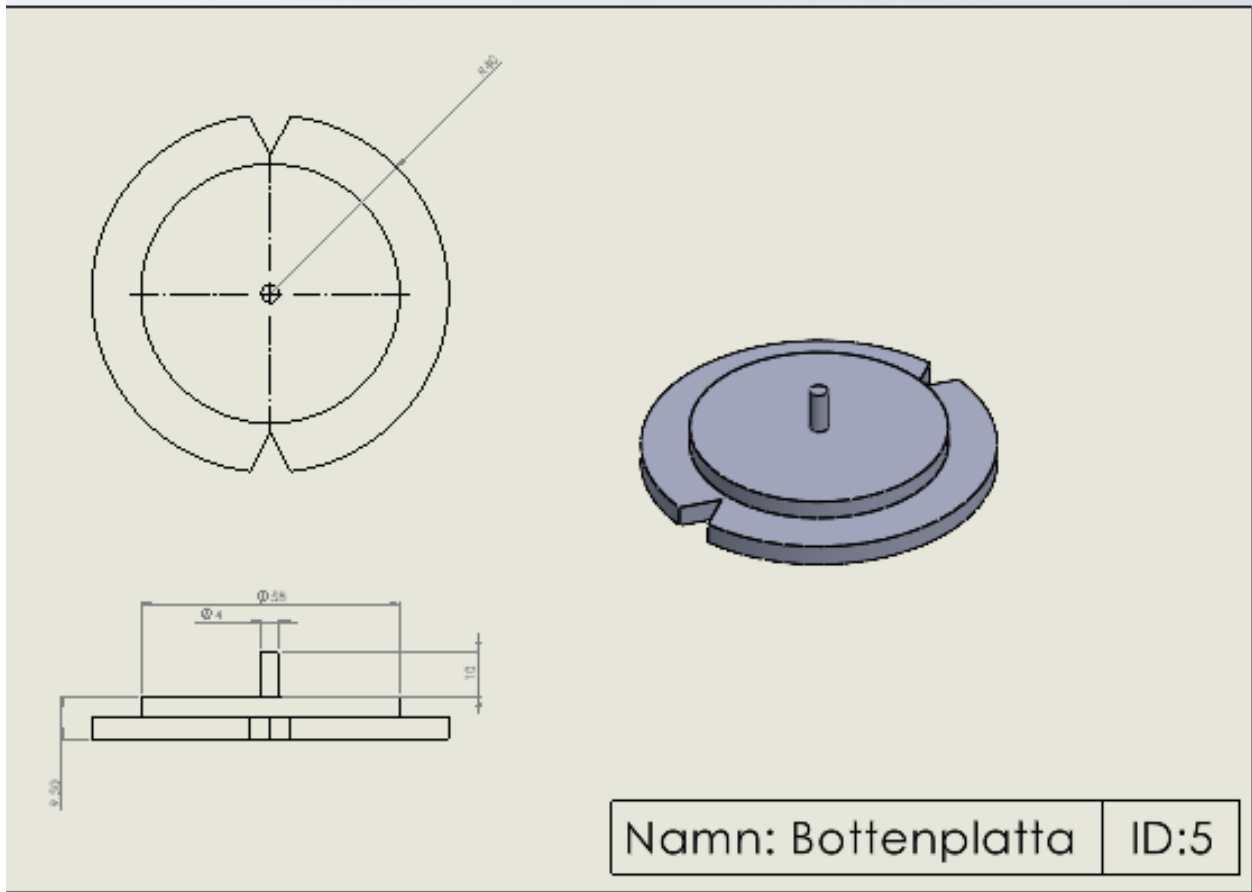
För att kapsla in elektroniken används ett baklock som placeras på baksidan av bakdelen. Baklocket visas i Figur 25.



Figur 25: Baklock.

4.5.5 Bottenplatta

Bottenplattans uppgift är att stänga in induktorn i kopphållaren. Bottenplattan har en cylinder som trycks in i ferritens innerdiameter och sedan fästs i kopphållaren. I Figur 26 visas en skiss över bottenplattan.



Figur 26: Bottenplatta.

5 Diskussion

Produkten fungerar inte i sin helhet eftersom delkomponenter inte fungerar. I följande kapitel diskuteras resultaten från kapitel 4 samt vad som saknas och vad som skulle krävas för att få en fungerande produkt. Vidare diskuteras även förbättringsmöjligheter beträffande användarfunktioner och energieffektivisering samt etiska aspekter.

5.1 Förbättringar

Det finns ett antal olika förbättringar och utvecklingar som går att göra vilket kommer att tas upp under detta avsnitt.

5.1.1 Strömbrytare

I dagsläget kopplas produkten in i strömkällan för att sedan alltid dra ström, oavsett om induktorn är igång eller inte. Alltså går onödig energi till spillo när produkten sitter inkopplad men oanvänd. Det man behöver göra idag är att koppla bort strömkällan för att slå av produktens strömförsörjning. Ifall produkten vidareutvecklas till internt batteridrift kan användaren inte överhuvudtaget koppla bort strömkällan.

För att bespara energi är en strömbrytare till fördel då man kan stänga av produkten helt. Denna funktion gör att man slipper koppla bort strömkällan när man inte använder produkten. Som jämförelse kan man ta en lampa, där det går att dra ut sladden i väggen men för bekvämlighetens skull ändå har en strömbrytare. Detta blir även ett krav ifall produkten sedan övergår till att drivas av ett internt batteri.

5.1.2 Display med reglage

För att användaren av produkten ska kunna läsa av aktuell temperatur på kaffet behöver man idag ha tillgång till en dator med programmet Arduino IDE installerat. Det finns dessutom ingen möjlighet att justera temperaturen på kaffet utan programmet. Denna metod är således inte användarvänlig.

Med en, till kontrollkortet tillhörande, display och reglage medförs två funktioner som åtgärdar problemen som nämns ovan. Dessa komponenter kan enkelt kopplas ihop med den befintliga produkten eftersom kontrollkortet redan har de inbyggda funktionerna som krävs.

5.1.3 Detektion av kopp

Det upptäcktes att kretsen tillförs med effekt även när koppen inte är placerad på produkten. Detta är ett stort problem då onödig effekt går till spillo och för att induktansen ändras då koppen inte är över induktorn, vilket dessutom kan leda till ytterligare problem för kretsen. Exempelvis att produkten drar för hög effekt så att det inbyggda överströmskyddet stänger av växelriktaren och därmed kräver omstart.

Problemet har ett par olika lösningar, ett av dessa är att installera en trycksensor för att detektera vikt på produkten. Med denna sensor kan det då programmeras att produkten ska endast tillsätta effekt då trycksensorn detekterar en kopp placerad på produkten. Ett alternativ till trycksensor är en fotoelektrisk sensor som genom ljus kan detektera om en kopp är placerad på produkten eller inte och på så sätt åstadkomma samma resultat som en trycksensor.

5.1.4 Strömkälla för kontrollkort

Kontrollerkortet spänningmatas idag genom direktkoppling till USB-port ur en dator. Kontrollkortets utspänningen kopplas sedan till växelriktaren. Produkten kräver inte en dator för att vara funktionell, att den utnyttjar en dator idag är för att kunna säkerställa att produkten fungerar som den ska eftersom det med enkelhet går att se i programmeringskoden att kontrollkortet läser av de värden som önskas.

Som alternativ strömkälla kan datorn ersättas av en annan extern strömkälla som ett externt nätaggregat eller powerbank med en utsignal mellan 7-12 V eftersom detta är intervallet för kontrollkortets insignal. Det går dessutom att koppla ihop kontrollkortet till det redan befintliga nätaggregat som är kopplat till växelriktaren. Detta alternativ är det mest optimala eftersom det leder till mindre komponenter i produkten samt att den blir smidigare att hantera och därmed mer användarvänlig. För det sistnämnda alternativet skall fungera sänks spänningen från 24 V till 9 V genom en spänningsregulator till kontrollkortet.

5.2 Vidareutveckling

Produkten är inte komplett i alla avseenden. Induktor, fodral, mätning och återkoppling fungerar korrekt, men inte växelriktaren. Avsnitt 4.2 visar figurer på flera delmoment av växelriktaren som fungerar korrekt. Figur 15 visar en sågtandsvåg över kapacitansen, vilket är förväntat då kapacitansen fungerar genom att ladda upp spänning och under en kort tid skicka ut den uppladdade spänningen och därav förväntas en sågtandsvåg. Figur 16 visar att transistorerna M_1 och M_2 har en 50% arbetscykel i motsatt fas, vilket är förväntat för att få en bra sinusformad utsignal. Figur 18 indikerar överströmsskyddet inte utlöses om det inte finns last tillkopplat och Figur 19 tyder på att överströmsskyddet inte utlöses även med tillkopplad last om frekvensen är långt nog från resonansfrekvens. I detta avsnitt diskuteras dessa brister och hur dessa kan lösas.

5.2.1 Överströmsskydd

Växelriktaren har ett överströmsskydd i kretsen som har i uppgift att skydda komponenter genom att stänga av kretsen om strömmen överstiger 6,5 A. Det är främst vid resonansfrekvensen strömmen i växelriktaren kan överstiga 6,5 A. Ett vanligt fall är då induktansen ändras lite i värdet när kopian flyttas vilket påverkar strömmen drastiskt när växelriktaren arbetar nära resonansfrekvensen. Detta leder till att växelriktaren ibland går in i fault mode på grund av en spik i strömmen.

En lösning till detta problem är att justera LP-filtret till ett mer robust LP-filter. Detta sker genom att reglera komponenterna i LP-filtret, vilket resulterar i att filtret då lättare kan filtrera bort högfrekventa störningar.

5.2.2 Induktiva störningar i växelriktare

Under nästan hela projektet realiserades växelriktaren med hjälp av en breadboard. Användning av breadboard ledde till att ett flertal kablar användes för att koppla tillsammans komponenter. Flertalet kablar kan ses som induktiva komponenter som ger upphov till spikar i signalerna. Figur 17 visar tydliga spikar som orsakats av kablarna. Dessa spikar kan utlösa överströmsskyddet som stänger av växelriktaren.

För att lösa detta problem behövs flertalet kablar ersättas. Detta kan lösas genom att löda kretsen på ett kretskort med inbyggda ledningar mellan komponenter.

5.2.3 Effekt

Kretsen kan som högst leverera en verifierad effekt på omkring 11 W med en 24 V spänningsmatning. På grund av strömskyddet kan denna effekt endast tas ut under en mycket kort tid. Eftersom kretsen i sitt nuvarande skede inte kan köras vid resonans längre än några sekunder är det inte möjligt att säga vilken den definitiva effekt kretsen kan leverera är. Spänningsmatningen kan höjas om produkten behöver det, vilket resulterar i en högre effektutveckling i plåten. Tillsammans med locket kan produkten hypotetiskt leverera den efterfrågade effekten, men skulle endast kunna som mest leverera samma effekt in som går ut ur koppen. Detta resulterar i produkten skulle kunna hålla kaffet vid en konstant temperatur, men inte öka temperaturen.

5.3 Etiska aspekter

Produktionen av produkten har gjort möjlig genom beställning av material och komponenter. Beställning av material har hållt sig inom Sverige för att minska miljöpåverkan men beställningen av komponenter har inte kunnat följa samma koncept. Detta beror på de leverantörer som använts för komponenter inte håller samma krav som har lett till att majoriteten av komponenter har tillverkats i Kina eller Taiwan. Detta har en negativ miljöpåverkan men kan motverkas om produkten skulle masstillverkas genom att exempelvis sätta krav på att komponenter ska precis som material tillverkas i Sverige alternativt producera egna komponenter för att ersätta beställda.

Produkten har den positiva etiska aspekten att den motverkar onödig spill. Ofta när kaffet blir kallt håller man ut det som är kvar. Detta leder till att mer kaffe behöver bryggas än nödvändigt. Om kaffet konstant varmt undviker man detta onödiga spill.

6 Slutsats

Sammanfattningsvis fungerar inte produkten i sitt nuvarande stadie och kan inte bevara en konstant temperatur på kaffet. Växelriktaren består bland annat av ett överströmsskydd som utlöses då kretsen närmar sig sin resonansfrekvens. Detta beror på de induktiva störningar som användning av kablar medför. Genom att assemblera växelriktaren på ett kretskort blir störningarna från kablar försumbara. En effekt på minst 11 W kan genereras i kretsen vid resonans, vilket skulle vara en tillräckligt hög effekt för att hålla en kaffekopp tillsammans med ett lock vid en konstant temperatur givet att överströmsskyddet inte aktiveras.

Vidare har produkten ett mätinstrument och fodral som uppfyller de ställda kraven. Instrumentet mäter rätt temperatur och kan starta och stänga av växelriktaren vid rätt tillfälle. Ytterligare kan användaren ställa in en önskad temperatur. Fodralet stänger in befintlig krets och möjliggör mätning av kaffekoppens yttemperatur med hjälp av mätinstrumentet.

Bilagor

Bilagor till rapporten presenteras nedan.

A Arduino Kod

2022-05-11 15:44

Print Code

```
1 //Läser in IR-sensorns bibliotek
2 #include
3 #include
4 Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
5
6 void setup() {
7 //Uppstart av IR-sensorn
8 Serial.begin(9600);
9 Serial.println("Adafruit MLX90614 test");
10 mlx.begin();
11 }
12
13 void loop() {
14
15 // Den maximala och minimala temperaturen vi vill hålla
16 int tempMaxInput = 65;
17 int tempMinInput = 55;
18 // Omvandlar verklig temperatur till IR-sensorns uppmätta temperatur
19 int tempMax = tempMaxInput*2.523 - 26.007;
20 int tempMin = tempMinInput*2.523 - 26.007;
21
22 // Skriver ut den uppmätta temperaturen
23 int TempIRL = mlx.readObjectTempC()*0.396+10.307; // Omvandlar till verklig temperatur
24 Serial.print("Object = "); Serial.print(TempIRL); Serial.println("°C");
25
26 // När induktionen ska starta:
27 // Kontrollerar ifall temperaturen är under den undre gränsen
28 if (mlx.readObjectTempC() < tempMin){
29 // Så länge temperaturen är under den övre gränsen...
30 while (mlx.readObjectTempC() < tempMax){
31 // Skriver ut den avlästa temperaturen
32 int TempIRL = mlx.readObjectTempC()*0.396+10.307; // Omvandlar till verklig
temperatur
33 Serial.print("Object = "); Serial.print(TempIRL); Serial.println("°C");
34 Serial.println("Värmer"); // Skriver ut "Värmer"
35 analogWrite(3, 180); //Detta ger ut en spänning på 2.5 V från en 9 V strömkälla
36 delay(500);
37 }
38 }
39
40 // När induktionen ska slås av:
41 Serial.println("Avstängd"); // Skriver ut "Avstängd"
42 analogWrite(3, 1); //Detta ger en spänning på 9 V från en 9 V strömkälla
43 delay(500);
44 }
```

1/1

Källor

- [1] Fairtrade Sverige, “Kaffe,” 2022. [Online]. Available: [https://fairtrade.se/om-fairtrade/det-har-ar-fairtrade/ravaror-och-produkter/kaffe/#:~:text=I%20Sverige%20konsumerar%20vi%207,vi%20dricker%20%C3%A4r%20Fairtrade-m%C3%A4rkt](https://fairtrade.se/om-fairtrade/det-har-ar-fairtrade/ravaror-och-produkter/kaffe/#:~:text=I%20Sverige%20konsumerar%20vi%207,vi%20dricker%20%C3%A4r%20Fairtrade-m%C3%A4rkt.). [Accessed: 01/05/2022]
- [2] Kafferosteriet koppar, “Vid vilken temperatur smakar kaffet bäst?” 2022. [Online]. Available: <https://kafferosterietkoppar.se/info/vid-vilken-temperatur-smakar-kaffet-bast/> [Accessed: 10/05/2022]
- [3] EFD Induction, “Induction heating applications,” 2022. [Online]. Available: <https://www.efd-induction.com/en/induction-heating-applications> [Accessed: 21/04/2022]
- [4] Sweeney, Micah; Dols, Jeff; Fortenbery, Brian and Sharp, Frank, “Induction cooking technology design and assessment,” 2014. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20150910042618/http://aceee.org/files/proceedings/2014/data/papers/9-702.pdf> [Accessed: 21/04/2022]
- [5] Frogner, Kenneth; Andersson, Mats; Cedell, Tord; Siesing, Leif; Jeppsson, Peter; Ståhl, JanEric, “Industrial heating using energy efficient induction technology,” 2011. [Online]. Available: <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/6129860/2256575.pdf> [Accessed: 21/04/2022]
- [6] SevenPrin, “Elektrisk kaffemjöldryck kopp mugg varmare värmevärmare pad med timer inställning,” 2022. [Online]. Available: <https://www.fruugo.se/elektrisk-kaffemjoldryck-kopp-mugg-varmare-varmevarmare-pad-med-timer-installning/p-66945994-134380407?language=sv&ac=croud&gclid=CjwKCAiA6Y2QBhAtEiwAGHybPSGhwhPBwE> [Accessed: 17/04/2022]
- [7] EasyAcc, “Easyacc kaffekoppsvärmare, elektrisk bordsvärmare för kaffekoppar, 3 temperaturnivåer, lämplig för kaffe-te-mjolk varm choklad, led-skärm, fingeravtryckssensor, alla typer av koppar, keramik usb dryckesvärmare,” 2022. [Online]. Available: https://www.amazon.se/EasyAcc-kaffekoppsv%C3%A4rmare-temperaturniv%C3%A5er-kaffe-te-mj%C3%B6lk-fingeravtryckssensor/dp/B09H6M322Y/ref=asc_df_B09H6M322Y/?tag=shpngadsglede-21&linkCode=df0&hvadid=492406404869&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=3384511508795167427&hvpone=&hvptwo=&hvmnt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1012511&hvtargid=pla-1486951187678&th=1 [Accessed: 17/04/2022]
- [8] Lucas, Jim, “What is faraday’s law of induction?” 2022. [Online]. Available: <https://www.livescience.com/53509-faradays-law-induction.html> [Accessed: 01/05/2022]
- [9] tränaNO, “Resonans i växelströmskretsar.” [Online]. Available: <http://www.studera.com/tranano/fysik/Elektricitet/resonans.html> [Accessed: 09/05/2022]

- [10] Wikipedia, “Elektromagnetisk svängningskrets.” [Online]. Available: https://sv.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisk_sv%C3%A4ngningskrets [Accessed: 09/05/2022]
- [11] Magnetics, “Learn more about ferrite cores,” 2022-04-17. [Online]. Available: <https://www.mag-inc.com/Products/Ferrite-Cores/Learn-More-about-Ferrite-Cores> [Accessed: 17/04/2022]
- [12] Delhipages.live, “Magnetisk permeabilitet — definition och fakta,” 2020. [Online]. Available: <https://delhipages.live/sv/vetenskap/fysik/materie-energi/magnetic-permeability> [Accessed: 17/04/2022]
- [13] C. t. h. Institutionen för Energi och miljö, *ELTEKNIK*. Teknologtryck Chalmers, 2017.
- [14] Infineon, “Data sheet no. pd60198 ir2166 (pbf) revf,” 2006. [Online]. Available: <https://www.infineon.com/dgdl/ir2166.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c9049416c0> [Accessed: 03/04/2022]
- [15] Danny Jost, “What is an ir-sensor,” 2019. [Online]. Available: <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-ir-sensor> [Accessed: 25/02/2022]
- [16] Infrastructure Computer Vision, “Pyroelectric sensor,” 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pyroelectric-sensor> [Accessed: 02/03/2022]
- [17] Arduino, “What is arduino?” 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [Accessed: 10/05/2022]
- [18] KjellCompany, “Vad är arduino och genuino?” 2017. [Online]. Available: <https://www.kjell.com/se/kunskap/hur-funkar-det/arduino/introduktion/vad-ar-arduino-och-genuino> [Accessed: 10/05/2022]
- [19] Arduino, “Arduino nano,” 2021. [Online]. Available: https://store.arduino.cc/products/arduino-nano?_gl=1*1t0na9s*_ga*MTcwMDM0MzkxOC4xNjQzMTA1ODU3*_ga_NEXN8H46L5*MTY1MjI1NzA1Ny4xNy4xLjE2NTIyNTc0NTIuMjQ. [Accessed: 11/05/2022]
- [20] 3DGuide.se, “Vad är filament för 3d skrivare?” 2022. [Online]. Available: https://www.3dguide.se/vad_ar_filament [Accessed: 04/05/2022]
- [21] D’Ambrose, Christoper; Choudhary, Rizwan, “Frequency range of human hearing,” 2004. [Online]. Available: <https://hypertextbook.com/facts/2003/ChrisDAmbrose.shtml> [Accessed: 10/05/2022]
- [22] Taiwan Semiconductor, “Ts7815 datasheet,” 2003. [Online]. Available: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/TaiwanSemiconductorCompany/TS7815/pdf.php?id=675179> [Accessed: 11/04/2022]

- [23] Arnell, S.E; Andersson, I; Boman, J, “Laboration et16 aktiva filter,” 1992. [Online]. Available: <https://www.chalmers.se/sv/centrum/fysikcentrum/utbildning/fof/laborationer/Documents/ET-labbar/et16.pdf> [Accessed: 04/05/2022]
- [24] Taiwan Semiconductor, “30n06 datasheet,” 2013. [Online]. Available: <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/30N06.pdf> [Accessed: 11/04/2022]
- [25] miliohm, “Non contact temperature sensor mlx90614 with arduino tutorial,” 2018. [Online]. Available: <https://miliohm.com/non-contact-temperature-sensor-mlx90614-arduino-tutorial/> [Accessed: 10/05/2022]
- [26] Adam Meyer, “High-power control: Arduino + n-channel mosfet,” 2022. [Online]. Available: http://adam-meyer.com/arduino/N-Channel_MOSFET [Accessed: 10/05/2022]
- [27] Matthias Schmitz (ursp.), Max Biermann, Fredrik Normann, “Formel- och tabellsamling termodynamik med energiteknik,” 2020.