

Planering av styrning för värmesystem

Emil Bäck

Examensarbete för ingenjörsexamen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2020



EXAMENSARBETE

Författare: Emil Bäck

Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa

Inriktningsalternativ: Automationsteknik

Handledare: Matts Nickull

Titel: Planering av styrning för värmesystem

Datum 28.4.2020

Sidantal 29

Bilagor 2

Abstrakt

Detta examensarbete har gjorts i samarbete med Heliostorage som är ett företag som utvecklar och tillverkar ett miljövänligt värmesystem för fastigheter.

Värmesystemets huvudsakliga funktion baserar sig på att lagra outnyttjade värmekällor och solenergi genom egentillverkade vattenburna solfångare. Dessa energikällor värmer upp marken med hjälp av nerbörade värmestavar som bildar en underjordisk energilagringsplats. Under kallare perioder returneras den lagrade värmeenergin från energilagringsplatsen med hjälp av samma cirkulationspump som använts vid värmelagringen.

Heliostorage hade tidigare använt sig av separata styrenheter för att styra processen som hade orsakat problem pga. att enheterna inte kunde dela med sig information till varandra. Man ville därför utveckla en egen styrning för att kunna styra hela processen och därmed slippa behovet av flera olika styrenheter.

Uppgiften var att planera och designa ett kretskort som kommer att ersätta det gamla styrsystemet utifrån de behov som företaget ställer.

Resultatet blev en färdigplanerad krets, implementerad i en kretskortslayout som uppfyller de uppställda kraven som företaget ställde.

Språk: svenska

Nyckelord: styrenhet, värmesystem, solfångare, energilagring

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Emil Bäck

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka

Ohjaaja: Matts Nickull

Nimike: Ohjauskortin suunnittelu lämmitysjärjestelmään

Päivämäärä 28.4.2020

Sivumäärä 29

Liitteet 2

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Heliostoragen kanssa. Heliostorage on yritys, joka kehittää ja valmistaa ympäristöystävällistä lämmitysjärjestelmää kiinteistöille.

Lämmitysjärjestelmän päätoiminto perustuu käyttämättömiin lämmönlähteisiin sekä aurinkoenergian hyödyntämiseen omien kehitettyjen aurinkokeräimien avulla, joiden sisällä kiertää neste. Lämmin neste ohjataan porausreikiin ja siellä lämpö välittyy maaperään, jonka seurauksena maaperä lämpenee. Kylmempinä aikoina lämpöä voidaan palauttaa maaperästä käyttämällä samaa kiertovesipumppua kuin ajettaessa lämpöä maahan.

Heliostorage oli aikaisemmin käyttänyt erillisiä ohjaimia ohjamaan prosessia, mikä oli johtanut ongelmiin tiedonjaossa ohjaimien välillä. Siksi yritys halusi kehittää oman ohjausyksikön.

Tehtävänä on suunnitella ohjauskortti vanhan järjestelmän korvaamiseksi yrityksen asettamien vaatimusten perusteella.

Tuloksena oli valmis suunniteltu piiri, joka myös toteutettiin piirilevyn muodossa. Ohjauskortti täyttää yrityksen asettamat vaatimukset.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: ohjausyksikkö, lämmitysjärjestelmä, aurinkokeräin

BACHELOR'S THESIS

Author: Emil Bäck

Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialization: Automation

Supervisor: Matts Nickull

Title: Control Unit Design for Heating System

Date April 28, 2020

Number of pages 29

Appendices 2

Abstract

This thesis is made in collaboration with Heliostorage, a company that develops and manufactures an environmentally friendly heating system for buildings.

The main function of the heating system is based on utilizing unused heat sources as well as solar energy through own developed water-borne solar collectors and heating up the bedrock by pumping the heated fluid into borehole collectors, to be able to return the heat energy during colder periods.

Heliostorage had previously used separate controllers to control the process that had caused problems, because every component needed to cooperate with each other. That was the main reason they wanted to develop their own control unit to be able to control the whole process.

The task was to develop and design a control unit to replace the old system based on the requirements set by the company.

The result of this project became a planned circuit implemented in a circuit board layout that meets the requirements set by the company.

Language: Swedish

Key words: control unit, heating system, solar collectors

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Uppgiftsbeskrivning.....	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Teori	2
2.1	Heliostorage	3
2.1.1	Företagets solfångare.....	3
2.1.2	Värmelagring.....	5
2.2	Kretskortsteknik.....	6
2.3	Eagle	7
2.4	Kommunikationskomponenter.....	7
2.4.1	ATmega 2560	8
2.4.2	ENC28J60.....	9
2.4.3	MAX485	9
2.5	Kommunikationssätt.....	10
2.6	Kommunikationsprotokoll	12
2.6.1	I2C.....	12
2.6.2	SPI.....	13
2.6.3	1-wiresystem.....	14
2.6.4	Modbus	15
2.7	EMC - Elektromagnetisk kompatibilitet.....	16
3	Planering.....	19
3.1	Planering av kretsen	20
3.2	Planering av layout.....	20
3.3	Uträkning av kretskortsbanor	21
4	Hårdvarulösningar.....	22
4.1	Spänningsregulator	22
4.2	Pull-up / Pull-down motstånd.....	23
4.3	Ventilstyrning	24
4.4	Cirkulationspumpstyrning	26
5	Resultat	27
6	Diskussion.....	28
7	Källförteckning.....	29

Bilageförteckning

Bilaga 1 IPC-2221A

Bilaga 2 IPC-2221A

1 Inledning

Detta examensarbete handlar om utveckling och planering av ett kretskort som kommer att styra en värmeanläggning. Arbetet innehåller information om anläggningen och hur systemet byggs upp i form av ett kretskort. Målet med arbetet var att få en fungerande styrenhet för att kunna ersätta det gamla systemet.

1.1 Bakgrund

Heliostorage är ett företag som utvecklar och tillverkar ett värmesystem för fastigheter som nära på kan räknas som utsläppsfritt.

Företagets system baserar sig på att lagra outnyttjade värmekällor och solenergi genom egentillverkade vattenburna solfångare som värmer upp marken med hjälp av värmestavar som blivit nedsänkta i borrhål. Detta bidrar till att marken runt borrhålen blir till en stor energilagringsplats.

För att kunna kontrollera vätskeflödet till borrhålen, och att göra systemet så effektivt som möjligt och returnera värmen under kalla perioder av året, krävs det ett system som styr och övervakar processen.

Företaget har två kundprojekt som byggs för tillfället och företaget siktar på en serieproduktion inom en snar framtid. Framtiden för Heliostorage ser lovande ut eftersom företaget kan marknadsföra sin produkt som ett närapå utsläppsfritt värmealternativ som i dagens läge inte finns på marknaden.

Heliostorage söker samarbetspartners över hela världen och redan från tidigare har ett finskt energibolag vid namn St1 gått in för att samarbeta med Heliostorage. (Heliostorage)

Processens styrning har utvecklats i samma takt som nya projekt blivit aktuella, vilket lett till att största delen av utvecklingsarbetet har prioriterat sig på att få ett system som fungerar. Detta har lett till att systemets styrning har blivit relativt dyrt och opraktiskt att installera när styrsystemets storlek utvidgats.

1.2 Uppgiftsbeskrivning

Arbetet handlar om att utveckla och planera ett eget styrsystem åt företaget som kommer att ersätta det system som företaget använder i nuläget. I dagsläget använder man sig av många parallella I/O-moduler med olika styrenheter.

Styrsystemet uppbyggs på en kretskortlayout som implementeras i installationens huvudenhet. Processen som styrsystemet kommer att styra innehåller ventiler, temperaturgivare och en cirkulationspump. Systemet kommer också att innehålla en pekskärm och ha internetanslutning för att övervaka processen.

Processens yttre komponenter har redan blivit utvalda eftersom utvecklingsprocessen av systemet redan varit under utveckling i flera år. Detta innebär att systemets yttre komponenter kommer att användas också i fortsättningen, för att undvika ytterligare uträkningar, tester och för att försäkra sig om att komponenter också fungerar praktiskt.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsades till planering av kretsen och kretskortslayouten för att hålla arbetet på en rimlig nivå och för att få ett styrsystem åt företaget som man kommer att fortsätta vidareutveckla i framtiden.

2 Teori

Vid utveckling av systemet är det viktigt att förstå sig på hur processen fungerar och hur styrningen av komponenterna skall ske. Därför förklaras det i teoridelen om hur systemet är uppbyggd och lite om funktionen på systemet.

Styrkortets uppbyggnad kommer att byggas upp i form av ett kretskort och därför kommer det att tas upp varifrån kretskorten fått sitt ursprung och hur man bygger upp ett styrsystem och implementerar det i en kretskortslayout. I kapitlet kommer det också att framkomma vilka kommunikationstyper som använts till projektet för att få en önskad funktion. En viktig del är också EMC-krav som bör uppfyllas för att få marknadsföra produkten ute i världen.

2.1 Heliostorage

Heliostorage är ett start-up företag som grundades 2016 och har som mål att bidra till en renare miljö genom att ersätta fossila värmelösningar för fastigheter med ett hållbart, utsläppsfritt energialternativ. Företaget är stationerat i Karleby, Finland och har sju anställda.

Heliostorage utvecklar ett system som tar till vara värmeenergi genom vattenburna solfångare och andra outnyttjade värmekällor. Värmeenergin lagras i marken under varma perioder varifrån den returneras till byggnaden under kalla perioder av året.

Systemet skiljer sig från sina konkurrenter genom att inte använda sig av någon värmepump, som används i jordvärmesystem och bergvärmesystem. Detta bidrar till att systemet endast behöver ha en gemensam cirkulationspump. Samma pump lagrar energin i marken och returnerar värmeenergin när det behövs.

2.1.1 Företagets solfångare

Företaget tillverkar egna solfångare som har utvecklats av företaget ända sedan företaget fick sin start 2016.

Företagets solfångare är unika på många olika sätt men den största skillnaden som gör att Heliostorages solfångare skiljer sig från andra konkurrenter är uppbyggnaden av solfångarna. Solfångarnas uppbyggnad gör att byggnadens traditionella tak kan ersättas helt eftersom solfångarna är vattentäta och kan motstå vindar och andra krafter som naturen medför. Panelernas utseende liknar ett traditionellt tak eftersom taket har en specialanpassad form.

Solfångarna tillverkas i 10 cm breda aluminiumprofiler som har en vattenkanal implementerad i mitten. Konstruktionen på solfångaren har en uppbyggnad som gör att flera aluminiumprofiler kan sammansättas och kan därav uppbyggas till ett helt tak.

Aluminiumprofilerna är skyddade med ett specialanpassat plexiglas som hindrar vinden från att kyla ner solfångarna. Plexiglasets funktion är också att binda taket till en helhet eftersom det inte är möjligt att konstruera taket runt alla takkonstruktioner med aluminiumprofilerna.

Solfångarna byggs ihop redan före installation till en önskad bredd och med en längd som kan variera beroende på hur fastighetens takkonstruktion ser ut. Solfångarnas vätskekanal byggs ihop med hjälp av ett specialanpassat rostfritt rör som gör att man förenar vätskekanalerna på hela taket. (Heliostorage)



Figur 1. Bild på taket färdigt installerat. (Heliostorage)

2.1.2 Värmelagring

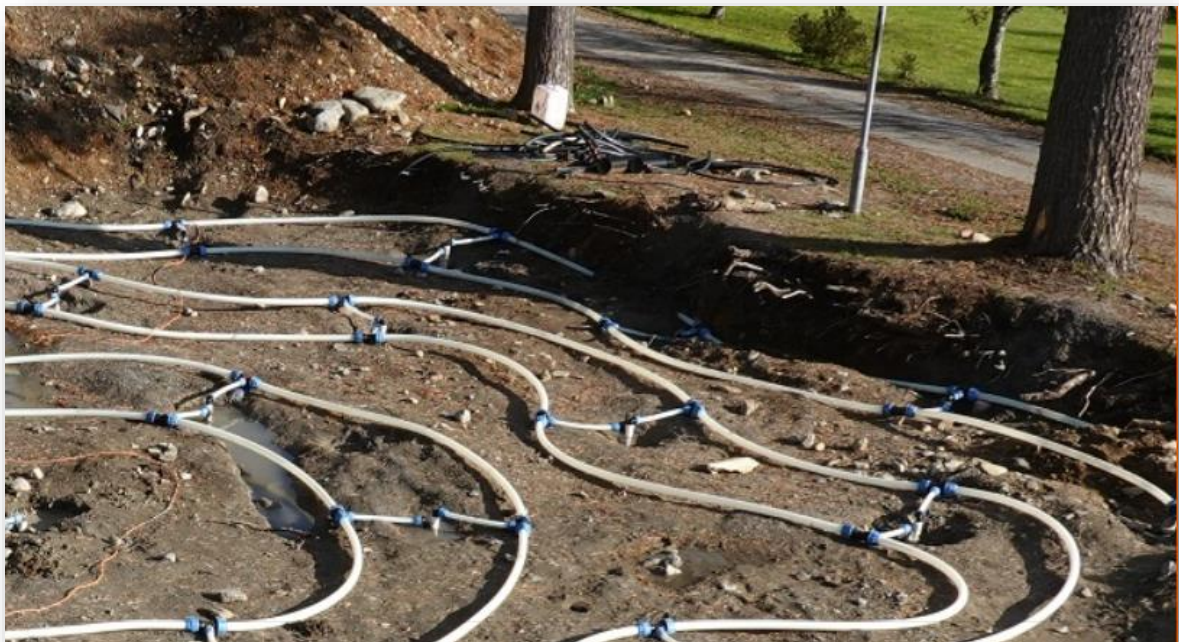
Lagringen av värmeenergin som solfångarna producerar sker under marken. Borrhålen placeras alltid ut som ett cirkulärt mönster för att få den bästa lagringseffekten av värmeenergin.

Borrhålens djup och mängd är dimensionerad enligt byggnadens energiförbrukning. Borrhålens djup är beroende på jordmaterialet runt borrhålen och kan variera mellan 25 – 45 m.

Vätskan som värmer upp borrhålen är en form av glykol som värms upp med hjälp av outnyttjade värmeenergikällor eller av solfångarnas värmeproduktion som sedan överförs till borrhålen med hjälp av en cirkulationspump.

Flödet som skickas ner i borrhålen regleras med ventiler för att åstadkomma en önskad värmelagringsprocess.

Borrhålen värms upp till 70 grader och vid kallare årstider pumpas värmen upp från borrhålen till fastigheten där fastighetens värmesystem värms upp med hjälp av en värmeväxlare. (Heliostorage)



Figur 2. Bild på borrhålen. (Heliostorage)

2.2 Kretskortsteknik

I början på 1900-talet togs olika idéer fram på hur uppbyggnaden av elektriska kretsar kunde se ut. En av uppfinnarna som tog fram en idé var Thomas Edison. Hans idé var en bräda där man placerade komponenter som kopplades ihop med hjälp av ledningar. Denna idé blev dock inte så populär eftersom tillverkningsprocessen blev långsam.

År 1936 uppfanns kretskorten som hade ett ledande mönster och hål som var anpassade för att fästa komponenter. Metoden blev en stor framgång inom kretskortens historia.

Metod kallades för hålmontering och var ett dominerande sätt att tillverka kretskort i många årtionden.

Till en början när man tillverkade hålmonterade kretskort använde man sig bara av ett lager mönster eftersom det var svårt att tillverka ett mönster på baksidan som inte krockade med hålen som man behövde på kortets framsida. När tekniken blev bättre började man tillverka kretskort med flera lager.

Många såg kretskort som något man kunde använda sig av. En av dem var amerikanska armén som använde sig av den nya metoden under andra världskriget.

Efter kriget frisläpptes patenten för metoden och kretskortet fick sitt genombrott i hemelektroniken.

På 60-talet togs det fram en ny revolutionerande metod på marknaden. Kretskorten kallades för ytmonterade kretskort. Ytmontering eliminerade problemen med hålen som den tidigare modellen hade eftersom alla komponenter på kortet var ytmonterade.

Ytmonterade kretskort hade många fördelar. Den största fördelen med ytmonterade kretskort var storleken som kunde minskas på kretskortet eftersom komponenterna kunde placeras på en mindre yta och man kunde använda sig av flera lager på kortet eftersom hålen hade försvunnit.

I dagsläget är den vanligaste modellen ytmonterade kretskort men hålmontering förekommer också fortfarande på marknaden. (Flodaforslego, 2020)

2.3 Eagle

Kretskortet i examensarbetet planerades i Eagle som är ett ritprogram tillverkad av CadSoft.

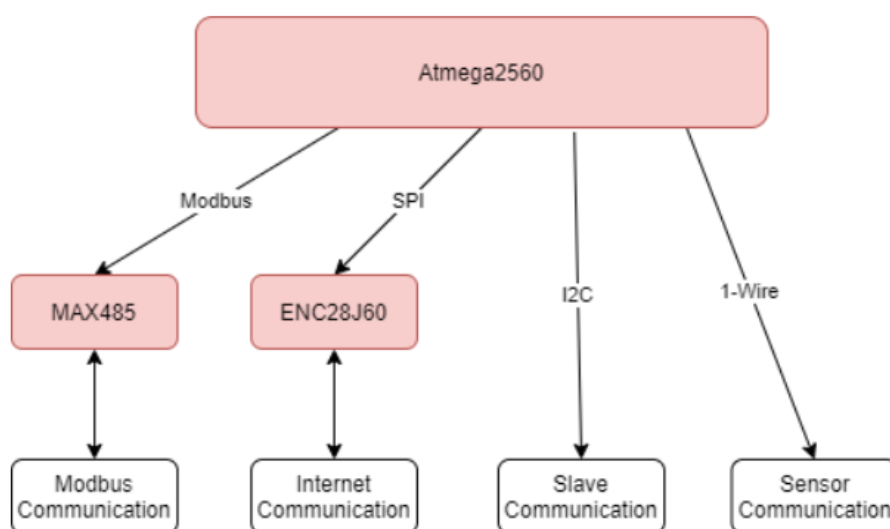
Namnet Eagle är en förkortning av Easly Applicable Graphical Layout Editor och är ett avgiftsbelagt program. Programmet finns också som en gratisversion.

Gratisversionen av Eagle har samma funktioner som den avgiftsbelagda men kretskorts storleken på gratisversionen är begränsad. I programmet börjar man med att rita upp schema på kretsen och implementera alla komponenter som kretsen skall innehålla.

När kretsschemat är klart överför man schemat till layoutprogrammet och placerar ut komponenterna enligt valfri position. Positionen har dock stor betydelse i EMC syfte eftersom känsligheten för störningar varierar för komponenterna.

2.4 Kommunikationskomponenter

Komponentvalet baserar sig på att få ett fungerande styrsystem som hanterar processen och informationen som systemet och användare ställer. Data som systemet hanterar kommunicerar på olika kommunikationsspråk. Detta medför att olika komponenter måste installeras i kretsen för att kunna hantera kommunikationen.



Figur 3. Kommunikationskomponenter.

2.4.1 ATmega 2560

ATmega2560 är en processor som är tillverkad av Atmel och är känd inom mikrokontrollervärlden. ATmega2560 fick sin stora framgång i samband med att Arduino familjens Arduino Mega fick sin uppgradering från att byta processor från ATmega1280 till ATmega2560.

ATmega2560 har en låg energiförbrukning och väldigt bra balans på instruktionerna pga. att processorn endast använder sig av en klockcykel. Processorn har mycket EEPROM-kapacitet som medför att den lämpar sig bra i samband med system som behöver memorera funktioner vid till exempel strömavbrott. ATmega2560 finns endast som TQFP-format. (Atmel)



Figur 4. ATmega2560 i TQFP-format. (Atmel)

ATmega2560 teknisk information:

- 8-Bits processor
- 16 MHz klockfrekvens
- 4,5 V – 5,5 V matningsspänning
- 256 kB minne
- 8 kB SRAM
- 4 kB EEPROM
- 54 digital I/O (15 PWM-kapabla utgångar)
- 16 analoga ingångar

2.4.2 ENC28J60

ENC28J60 är en självförsörjande Ethernetenhet som används för att kommunicera med internet. Ethernetenheten stöder SPI-kommunikation som gör det möjligt att kommunicera med dom flesta mikroprocessorer.

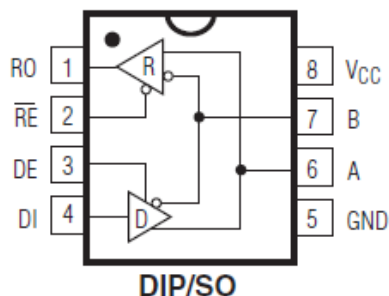
Enheten stöder klockfrekvenser upp till 20 MHz. Ethernet har en spänningsmatning på 3,3 VDC men stöder ingångsspänningar upp till 5 VDC. ENC28J60 möter alla IEEE 802.3 specifikationer. (Microchip)

2.4.3 MAX485

MAX485 är en komponent som omvandlar TTL-signal till RS485-signal. TTL är förkortningen av transistor-transistor logic, vilket innebär att insignalerna endast består av en signal som har två lägen, hög eller låg. En hög signal är 2 V – 5 V och en låg signal är under 0,8 V i jämförelse med systemets jord. RS485 är en seriell dataöverföringsstandard som ofta används i industriella sammanhang. Modbusprotokollet används vanligtvis vid implementering av RS485-kommunikation.

MAX485-enheten kan skicka och ta emot RS485-signaler på en sträcka upp till 1200 m och stöder upp till 32 enheter på samma bus. Enheten används när man vill åstadkomma en kommunikation mellan en RS485 signal och en mikroprocessor.

RS485-signaler tas ut från pinnarna A och B (se figur 5) med en partvinnad kabel för att undvika störningar. Matningsspänningen till enheten är 5 VDC. (MAXIM)



Figur 5. MAX485 pin-konfiguration. (MAXIM)

MAX485 har fyra olika TTL-ingångar som ofta kopplas till en mikroprocessor:

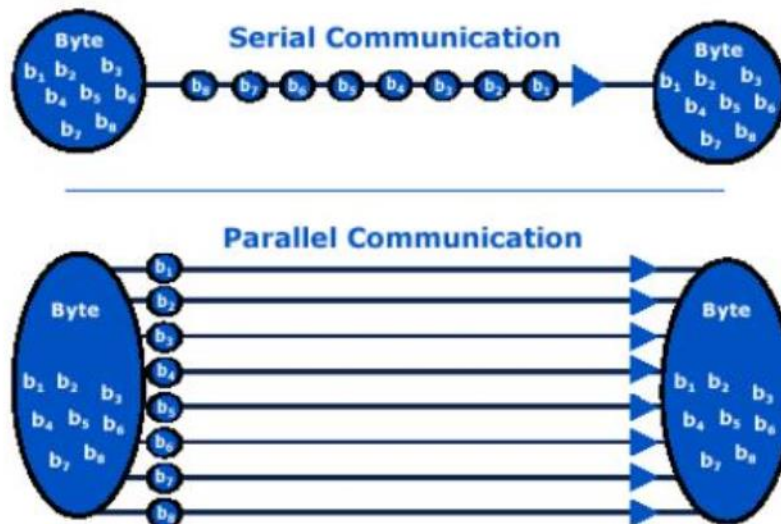
- RO = Receiver Output.
- RE = Receiver Enable.
- DE = Driver Enable.
- DI = Driver Input.

2.5 Kommunikationssätt

För att skapa en fungerande kommunikation mellan två enheter behövs en sändare och en mottagare som klarar av att hantera kommunikationsspråket.

När man har kommit fram till ett kommunikationssätt som både sändaren och mottagaren klarar av måste man också kunna hantera informationen som man skickar och tar emot.

Man kan dela in kommunikation i två olika metoder: serie och parallell kommunikation. Den största skillnaden på serie- och parallell kommunikation är att signalerna skickas i en rad när man använder sig av seriekommunikationen och vid parallellkommunikation skickas bitar på bredden. (Blom)



Figur 6 Serie- och parallell kommunikation (Sandqvist, u.d.)

Seriekommunikation används när man vill minimera ledare och spara in på kablar. Seriekommunikation bidrar också till att man sparar in på kostnader och är populärare i dagsläget eftersom dagliga apparaturer som telefoner, datorer och liknande komponenter använder sig av kommunikationssättet.

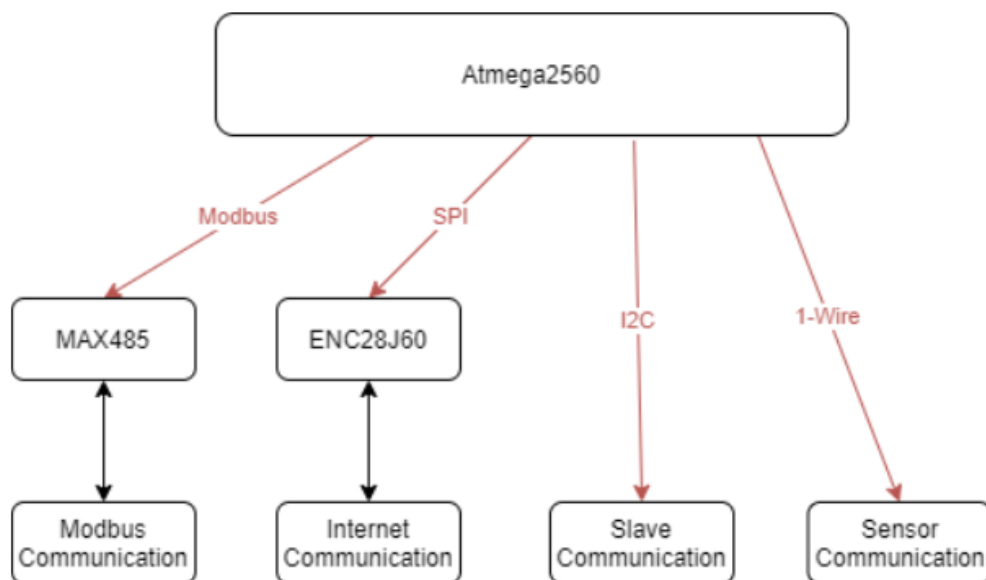
Seriekommunikation kan indelas i två olika huvudgrupper, synkront och asynkront gränssnitt. Vid användning av asynkront gränssnitt använder man sig inte av en klocksignal vilket gör gränssnittet mindre pålitlig. Data som överförs asynkront kan tappas bort och förvrängas på vägen. Detta problem kan man undvika genom att använda sig av seriekommunikation som är synkront.

Seriekommunikationer som är synkrona är pålitligare eftersom signalen använder sig av en klock-bit som klockar in signalen vid rätt tillfälle. (Blom)

Parallell kommunikation används när man vill överföra mycket data på en kort tid. Parallell kommunikation har flera olika databitar som överförs och en klock-bit som bestämmer när man läser av signalen.

2.6 Kommunikationsprotokoll

Kommunikationsprotokollen som styrkortet hanterar tas upp i detta kapitel. Dessa Protokoll används för att få en fungerande kommunikation mellan komponenterna.

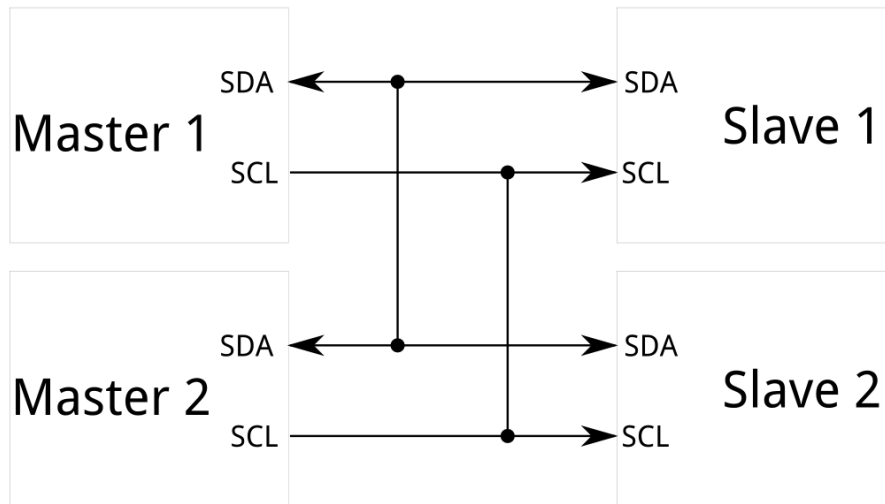


Figur 7. Externa kommunikationsprotokoll.

2.6.1 I2C

Kommunikationstypen I2C är en förkortning av Inter-integrated Circuit och är ett gränssnitt som tillåter flera olika mottagare och sändare. I2C är en vanlig kommunikationstyp inom kretskortsteknik eftersom den är anpassad för kortare sträckor.

I2C är en asynkron seriell kommunikation som inte använder sig av någon klocksignal. Detta medför att enheterna redan i förväg måste ha en datahastighet som överensstämmer med varandra för att inte tappa bort information på vägen. För att inte tappa bort information krävs det också att man har noggranna mottagare och sändare som tar vara på informationen. I2C använder sig av två signalledningar men kan hantera upp till 1008 mottagare. (Sparkfun)



Figur 8. Kopplingsschema för ett I2C-nätverk. (Sparkfun)

2.6.2 SPI

Kommunikationstypen SPI är en förkortning av Serial Peripheral Interface som är ett gränssnitt som ofta används som kommunikationstyp med mikroprocessorer och dataöverföring mellan sensorer och SD-kort. SPI använder sig av en separat klocksignal och två datasignaler tillsammans med en fjärde signal som väljer vilken enhet som skall få information eller skicka information.

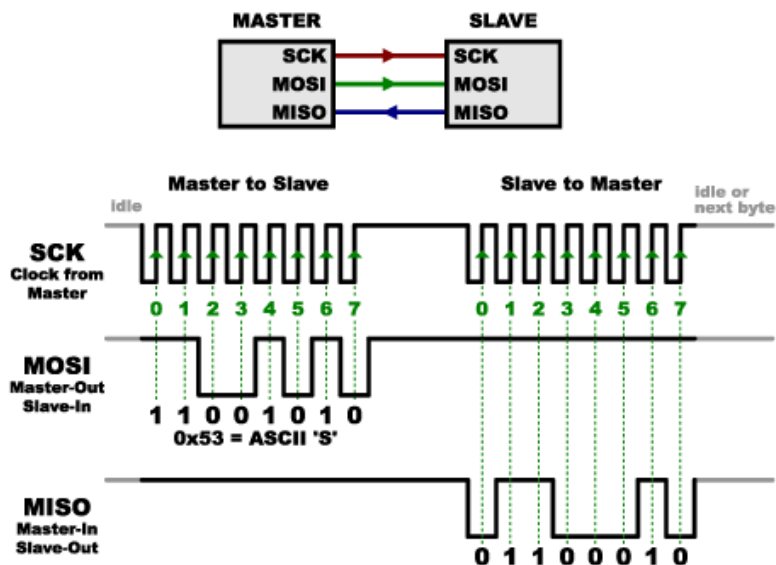
Kommunikationstypen SPI påminner i hög grad om I2C men skillnaden är att SPI inte stöder tvåvägskommunikation vilket gör att SPI inte kan användas av flera sändare. (Sparkfun)

SPI kommunikation är en synkron dataöverföring eftersom den har en separat klocksignal som synkroniserar datasignalen. Klocksignalen är en oscillerande signal som meddelar mottagaren när den skall sampla datasignalen.

När data sänds tillbaka till sändaren blir det hela lite mera komplicerat eftersom data som skickas inte är synkront. Detta betyder att data som skickas inte har en specifik längd, men eftersom SPI-system ofta bygger på sensor signaler och liknande signaler, vet man för det mesta hur många bitar som slaven svarar med. Det här gör att man kan synkronisera informationen till sändaren redan i förväg.

När man vill sända data från sändaren till mottagaren använder man sig av MOSI-signalen som står för Master Out / Slave In. Om slaven svarar med något sänds det via MISO-signalen som står för Master In / Slave Out.

När flera olika slavar används kan man implementera en signal vid namn SS, som hindra alla slavar att få informationen. SS är en förkortning av Select Slave som har som uppgift att väcka till liv den slav som sändaren vill kommunicera med. Oftast sker aktiveringen av slaven med en låg signal. När man använder flera slavar måste man också ha flera SS-signaler eftersom varje slav behöver ha en separat SS-signal. (Grusin)



Figur 9. SPI-kommunikation. (Grusin)

2.6.3 1-wiresystem

1-Wire system är en kommunikationstyp som bara använder en signalkabel och en potentiell nollreferens för att fungera.

Funktionsprincipen för 1-wiresystem innebär att man använder sig av ett pull-up motstånd som kopplas till matningsspänningen som drar upp signaltråden till 3,3 V eller 5 V, vilket är standard. Kommunikationen sker när slaverna eller sändaren drar ner signalen med hjälp av en FET-transistor, som leder till att signalen når mottagaren.

1-Wire system kan också användas med en skild matningsspänning när behovet av längre signalsträckor förekommer. Detta för att undvika att spänningsfall mellan olika enheter.

Vid användning av temperaturgivare i anläggningar där det krävs många givare som kopplas till samma mottagare, är 1-Wire ett bra och billigt alternativ att använda. (Integrated, 2008)

2.6.4 Modbus

Modbus fick sin start 1979 när den introducerades till marknaden av ett företag vid namn Modicon. Till en början skapades Modbus som ett kommunikationsprotokoll för Modicons egna logiker, men i ett senare skede bestämde man sig för att göra protokollet öppet för andra att använda.

På grund av öppenheten började andra leverantörer använda sig av Modbus, vilket ledde till att Modbus i dagsläget är en av det mest använda protokollet. Modbus har utvecklats enormt genom åren vartefter att kraven ökat. Modbus har utvecklats och blivit ett betydligt mer avancerat protokoll än vad den var 1979.

Modbus är ett seriekommunikationsbaserat protokoll och har en tvåvägskommunikation. För att få systemet att fungera måste det finnas en sändare och en mottagare. Modbus kan också använda flera olika mottagare eftersom systemet använder sig av id-igenkänning.

På en slinga kan det finnas 247 slavar om man använder sig av en bitgrupp. Vill man undvika begränsningen kan man använda sig av två bitgrupper och därmed öka antalet slavar teoretiskt till 65535. För att ha möjlighet att använda två bitgrupps slavar förutsätter det att alla slavar är konfigurerade att använda två bitgruppsprotokollet. En bitgruppsprotokollet är standard för Modbus.

Kommunikationen med Modbus börjar alltid med att sändaren skickar en förfrågan, som är riktad till alla slavar eller till en specifik slav. Om förfrågan är riktad till alla slavar är det frågan om en broadcast-kommunikation. Om sändaren vill åstadkomma broadcast kommunikation skickar den informationen med Id-adressen 0. När den här typen av kommunikation används har slavarna ingen möjlighet att svara.

När Modbus använder sig av sändare/mottagare-kommunikation kallas det unicast. Vid användning av unicast svarar mottagaren alltid med samma kommando som sändaren har skickat till mottagaren. Därefter utför mottagaren kommandot.

Unicast är den typ som används mest inom Modbus. (Organization, Modbus, 2006)

2.7 EMC - Elektromagnetisk kompbilitet

Alla elektriska komponenter som säljs på marknaden bör, med några undantag, genomgå ett så kallat EMC test som försäkrar sig om att enheten inte orsakar elektromagnetiska störningar eller störs av andra apparaturer.

EMC-direktivets tillämpningsområde innefattar inte:

- Apparaturer som har minimal påverkan på elektromagnetisk kompbilitet.
- Bedömningsverktyg som används av fackmän i forskning.
- Radioapparater som används av radioamatörer.
- Produkter inom luftfart.
- Radioapparater.

En EMC-störning anser man inte som något som man kan ha nytta av, utan som en elektromagnetisk störning som man vill minimera. EMC-störningar har blivit allt vanligare när storleken på kretskorten minskat och överföringshastigheterna ökat.

EMC störningar är en av de viktigaste iakttagelser som måste ske redan vid planeringsskedet av ett kretskort, eftersom det inte går att minimera störningarna med hjälp av någon yttre komponent när kretskorten redan blivit tillverkade.

För att åstadkomma ett kretskort som hanterar in och utgångar finns det några åtgärder som gör att elektromagnetiska störningar minskar. (Tukes)

Åtgärder som kan vidtas vid layoutdesign för att minska på EMC-störningar:

- Separera analoga och digitala kretsar.
- Användning av ytmonterade komponenter.
- Användning av rutnätsdragning av matningssignaler.
- Användning av mjuka böjningar på ledare.
- Användning av skilda lager för olika typer av signaler.
- Placera monteringshål i hörnen.
- Placera störande komponenter på kretskortets yttre kant och placera känsliga komponenter längre in på kortet.
- Använda sig av processhastigheter som inte är snabbare än processen kräver.
- Använda sig av så korta signal- och returledare som möjligt.

(Cadence, 2018)

Elapparater som placeras på en bestämd fast installation kräver ingen bedömning av apparatens överensbestämmelse med kraven enligt EMC-direktivet.

Därmed behöver inte tillverkaren upprätta någon EU-försäkran om att EMC-kraven uppfylls för apparaten och inte heller få en CE-märkning för apparaten. Apparaten får dock inte försäkra EMC-egenskaper för den fasta installationen.

I Finland är det Kommunikationssäkerhets- och Kemikalieverket (Tukes) som har huvudansvaret för förhandlingar och problemsituationer som EMC-störningar orsakar, men det är tillverkaren som ansvarar för att apparaturen som tillverkats uppfyller EMC-kraven. (Tukes)

Certifieringen av enhetens EMC-funktioner kräver ett standardtest som innehåller:

- Radiofrekvensstörningar 30 MHz – 2,0 GHz.
- Störningar från apparaturen 9 kHz – 30 MHz.
- Test mot radiofrekvenser 80 MHz – 3 GHz med en mast styrka på 10 V/m
EN 61000 – 4 – 3.
- Motstånd mot RF- strålning 150 kHz – 80 MHz (230 MHz)
EN61000 – 4 – 6.
- Statisk urladdningsmotståndstest (ESD) EN61000 - 4 – 2.
- Snabba transientövergångar (EFT, BURST) EN61000 – 4 – 4.
- Överspanningstest (SURGE) EN61000 – 4 – 5.
- Test av Magnetfältstolerans EN61000 – 4 – 8, -9.

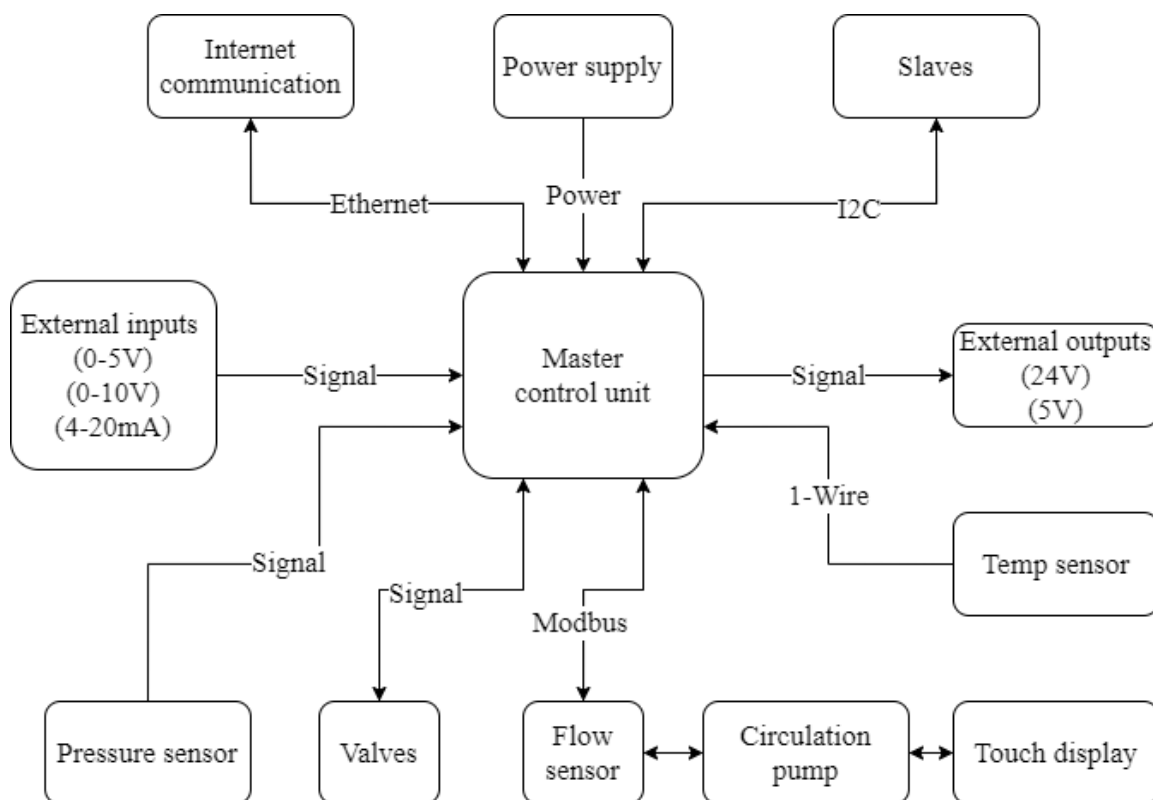


Figur 10. Bild på ett EMC-testutrymme. (PUV)

3 Planering

Huvudkomponenterna som systemet kommer att styra var redan som tidigare nämnt utvalda, så uppgiften blev att skapa en hårdvara som styr komponenterna.

Komponenterna som gör att systemet fungerar består av ventiler, temperaturgivare och en cirkulationspump. För att modernisera processen används också en pekskärm och internetanslutning för att följa med processen under en längre tid. Pekskrmen kommer också att fungera som manöverdon för att justera värmesystemet.



Figur 11. Blockschemat på systemuppbyggnaden.

3.1 Planering av kretsen

Systemet som företaget använder sig av består av många mikrokontrollrar och I/O-moduler. Ifall detta system används framöver skulle systemets uppbyggnad bli dyrt att tillverka, svårt att felsöka och systemets fysiska storlek skulle växa eftersom alla enheter i systemet använder sig av en egen inkapsling.

I ett tidigt skede blev det klart att styrsystemet skulle uppbyggas på ett eget styrkort i form av en kretskortslayout. Systemet hade också varit möjligt att bygga med PLC-teknik men för att kunna få alla funktioner som företaget krävde hade användningen av många olika tilläggsmoduler eskalerat i höga priser och den fysiska storleksgränsen hade överskridits rejält.

Systemets uppgift är att styra vattenflödet. Det styrs med hjälp av ventiler som är motorstyrda. Med det befintliga systemet använder man sig av ventiler som har en styrspänning på 230 VAC, vilket innebär att en behörig installatör endast får utföra installationsarbetet. Det nya systemet kommer att ha ventiler som är styrda med 24 V för att undvika att ha godkända elinstallationsrättigheter och för att göra styrningen lättare med mikrokontroller.

3.2 Planering av layout

Kretskortet kommer att ha fyra olika lagernivåer för att ha möjlighet till att hålla spänningsnivåerna på kretskortet på skilda lager. Anledningen till att kretskortet får en fyr-lagrig design beror på att kretskort med jämna spänningsnivåer är bättre skyddade mot störningar och orsakar mindre brus.

För att underlätta installationen och för att göra installationsarbetet smidigare för systemet kommer skruvlösa kopplingsplintar att användas för externa komponenter. Spänningsmatning och internetanslutning för kretskortet kommer att ha standardkopplingsdon för att åstadkomma inkopplingsmöjligheter runt om i världen.

Värmesystemet kommer att ha en huvudenhet i form av ett skåp. I huvudenheten placeras alla komponenter som styrsystemet kommer att reglera.

Kretskortet för systemet kommer att installeras i en kopplingslåda av märke Fibox som placeras ut i huvudenheten. Kretskortets design kommer också att anpassas med fastsättningsmöjligheter i alla hörn och en fastsättningspunkt i mitten på kortet för att minimera risken att kretskortet skadas vid inkoppling.

3.3 Uträkning av kretskortsbanor

Kretskortsplanering innebär också uträkningar av bredden på kortets strömbanor. Kretskortet har olika komponenter med olika strömbehov som gör att bredden på banorna varierar.

Strömförbrukningen i banorna räknas ut med hjälp av komponenternas strömförbrukning, som framkommer i komponenternas datablad. När man har ett strömvärde som kommer att flyta i banorna, räknar man ut bredden på banorna med hjälp av en formel. Formeln har olika konstanter beroende på om banan befinner sig i ett internt lager eller i ett externt lager på kretskortet. Med ett internt lager syftar man på ett lager som befinner sig inne i kretskortet, och när det handlar om ett externt syftar man på ett ytlager. Konstanterna kommer från standarden IPC-2221.

Banbredden beräknas med följande formel:

Interna lager:

$$k = 0.021$$

$$b = 0.44$$

$$c = 0.725$$

Externa lager:

$$k = 0.048$$

$$b = 0.44$$

$$c = 0.725$$

$$Area = \frac{Current}{(k \times Temperature^b)^{1/c}}$$

$$Width(mils) = \frac{Area}{Thickness \times 1.378}$$

$$Width(mm) = \frac{Width(mils) \times 2.54}{100}$$

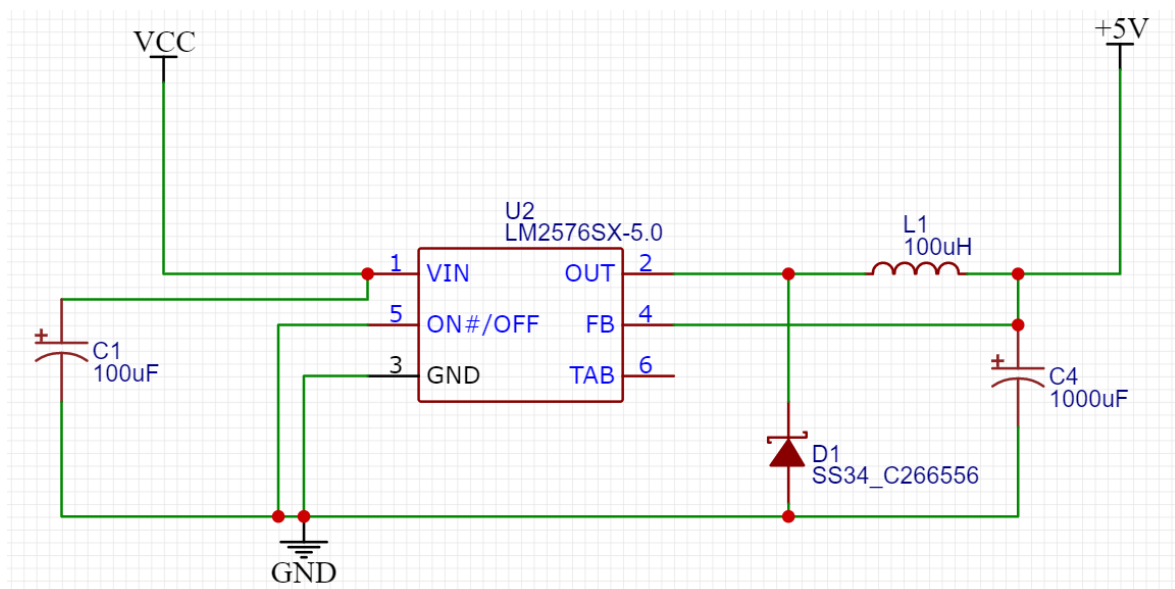
4 Hårdvarulösningar

Hårdvarulösningarna i projektet är simulerade i Lt-spice, som är ett simuleringsprogram för elektriska kretsar och valet av komponenterna är baserade på att få en fungerande funktion för att kunna tillverka kretskortet med komponentmontering.

4.1 Spänningsregulator

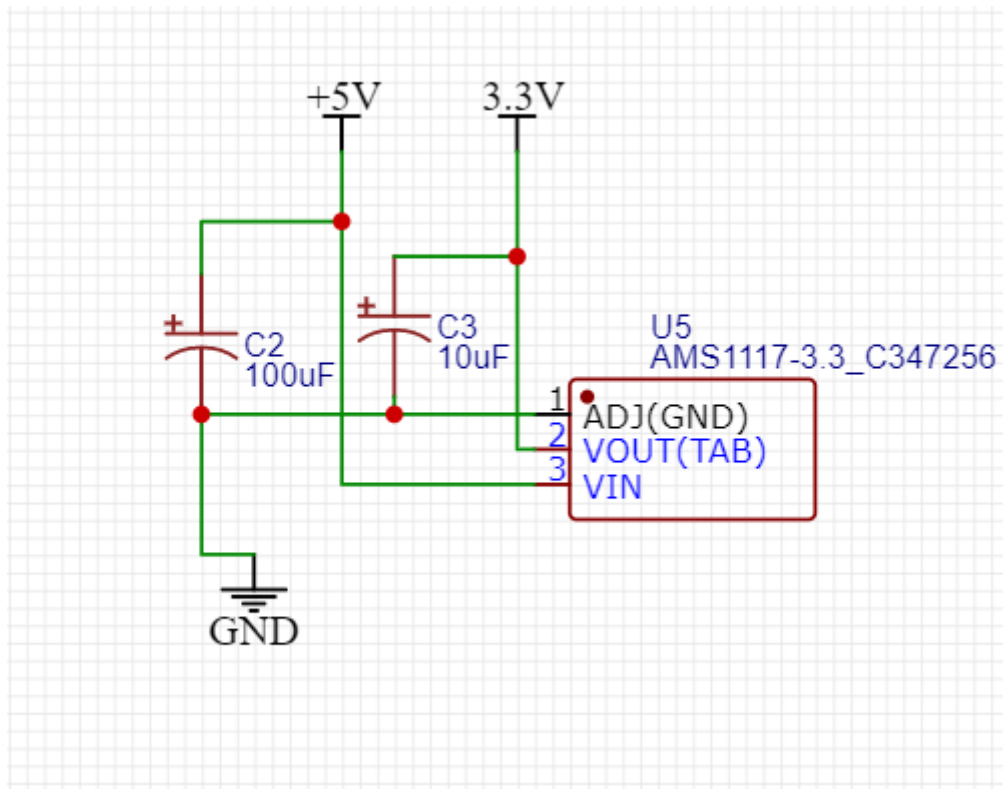
Spänningsmatningen till kretskortet kommer att skötas med en extern spänningsomvandlare på 24 VDC. Detta medför att kretskortet inte bör anpassas för högspänning, vilket leder till att kretskortets säkerhetskrav minskar, eftersom 24 VDC inte överskrider klenspänningsnivån.

Kretskortet kommer att ha en intern spänningsomvandlare som kommer att försörja processorn och andra komponenter som kräver 5 VDC med spänning. Spänningsomvandlandet från 24 VDC till 5 VDC kommer att utföras med en stegspänningsomvandlare som har en verkningsgrad på ca 95 %.



Figur 12. Schema på spänningsomvandlaren från 24 VDC – 5 VDC.

Styrkortets internethantering kommer att ske med en självförsörjande Ethernetmodul. Spänningsmatningen för Ethernetmodulen är 3,3 VDC. Detta medför en till spänningsomvandling från 5 VDC till 3,3 VDC som kommer att skötas med ytterligare en stegspänningsomvandlare.



Figur 13. Kretsschema på spänningsomvandlaren från 5 VDC – 3,3 VDC.

4.2 Pull-up / Pull-down motstånd

När en ingång styrs hög eller låg på en mikroprocessor kan det uppstå ett fenomen på ingången som gör att ingången i kretsen börjar flyta. Detta fenomen uppstår när det inte används någon referenspunkt när ingången inte är aktiverad. Problemet med flytande ingångar och utgångar kan elimineras med hjälp av ett motstånd. Motståndet kan inkopplas på två olika sätt, beroende på hur kretsen är uppbyggd.

Om ingången aktiveras med en positiv insignal, skall man koppla in motståndet från ingången till den negativa referensen. När spänningen från ingången bryts kommer ingången att urladdas genom motståndet och dras ner till en låg nivå. Med denna metod har man åstadkommit en motsståndskrets vid namn Pull-down.

Om man vill aktivera en låg insignal på ingången kräver det att man använder sig av det motsatta alternativet pull-up. Motståndet kopplas in på samma sätt som Pull-down men skillnaden är att motståndet kopplas till den höga referensnivån.

Storleken på motståndsvärdet varierar beroende på hur systemet är uppbyggt, men ett standardvärde på motståndet för mikroprocessorer brukar ligga mellan 10–30 k Ω , detta för att undvika stora strömmar.

Styrsystemet kommer endast att använda sig av pull-down motstånd eftersom ATmega2560 har inbyggd Pull-up motstånd som vid behov kan aktiveras med hjälp av mjukvaran.

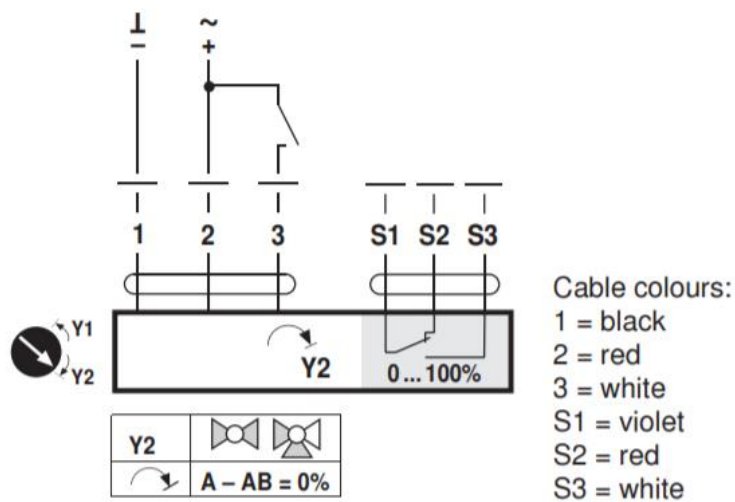
4.3 Ventilstyrning

Det ursprungliga systemet använde sig av Belimo NR230A som är motorstyrda kulventiler och har en styrspänning på 230 VAC och en effektförbrukning på 3 W under drift.

Det nya systemet kommer att använda sig av Belimo NR24A-S som fungerar på samma sätt som Belimo NR230A men har en styrspänning på 24 VDC vilket medför många fördelar vid installation och styrning.

Ventilen Belimo NR24A var det första ventilalternativet, men för att göra systemet säkrare används ventilen NR24A-S, som möjliggör kontrolleringen av ventilernas läge genom en extern kontakt på ventilen.

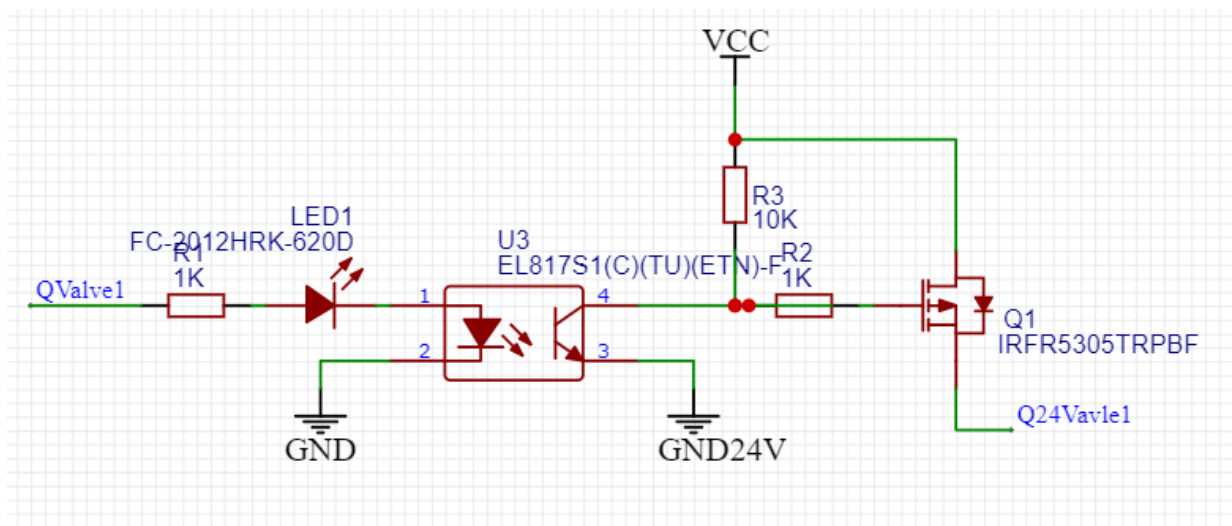
AC/DC 24 V, open-close



Figur 14. Kopplingschema för ventilerna. (Belimo, 2014)

Mjukvaran i processorn kommer att styra en utgång till hög nivå när ventilens läge skall ändras. Utgången styr en optokopplare till hög nivå. Detta medför att ström börjar flyta i 24 V kretsen. Som resultat av den flytande strömmen kommer P-kanals mosfeten att gå hög och en 24 V signal kommer att generas till ventilen.

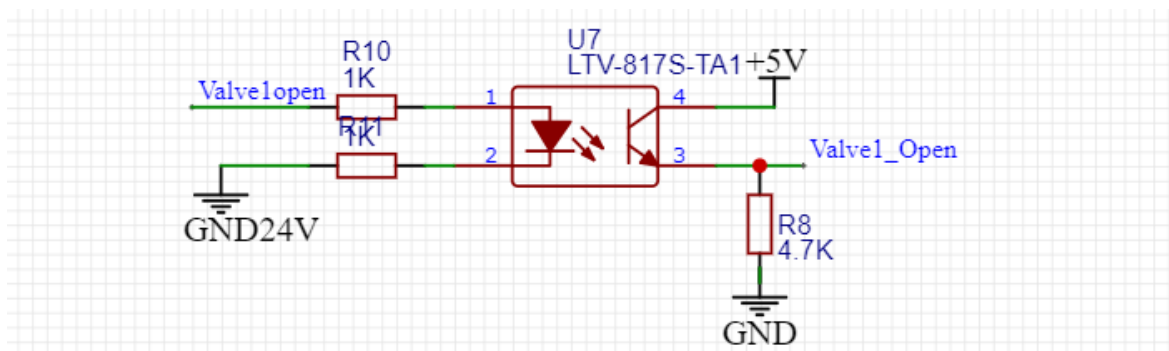
För att åstadkomma en isolering mellan ventilernas 24 V krets och processorns matningskrets används en optokopplare i ventilstyrningskretsen.



Figur 15. Schema på styrningen av ventilerna.

Eftersom ventilernas position kan variera beroende på installation kommer återkopplingskretsen att ha en styrspänning på 24 VDC för att undvika störningar. Spänningen som kommer att styras tillbaka från återkopplingen kommer därför också att vara 24 VDC. Signalen kommer därför att omvandlas till processorns matningsspänning på 5 VDC.

Ventilernas återkopplingssignal omvandlas till processorns matningsspänning genom en optokopplare för att åstadkomma en isolering mellan spänningsnivåerna.



Figur 16. Krettschema på återkopplingen från ventilerna.

4.4 Cirkulationspumpstyrning

Systemet använder sig endast av en cirkulationspump som styr vätskeflödet till önskad position. Cirkulationspumpen som används i processen är av märke Wilo och har en intern styrmöjlighet. Eftersom hela processen kommer att styras med hjälp av det nya kretskortet kommer också cirkulationspumpen att styras från samma kort. Det här utförs med hjälp av en tilläggsmodul till cirkulationspumpen.

Tilläggsmodulen som kommer att användas är Wilo If-Modul Stratos Modbus RTU. Med hjälp av enheten kommer pumpens av och på-läge samt hastighet att kunna regleras steglöst från styrkortet.

Med hjälp av tilläggsmodulen kommer också eventuella varningar att kunna överföras till styrkortet, för att meddela användaren om eventuella problem som uppkommit vid användning.

5 Resultat

Planering av kretsen utfördes med hjälp av simuleringsprogrammet Lt-spice och den slutliga kretsen ritades i kretskortsdesignprogrammet Eagle. Under kretskortsdesignen togs det i beaktande alla standarder och EMC-förordningar som kretsen krävde. Planeringen av styrkretsarna utfördes med hjälp av datablad för att uppfylla komponenternas strömbehov och andra kriterier.

Anledningen till att processorvalet blev Atmega2560 berodde på att prestandan som processorn hade lämpade sig på ett bra sätt både med klockfrekvensen och kapaciteten. Valet av en snabbare processor planerades också men eftersom behovet av en snabb process inte var nödvändig, togs beslutet att hålla sig till Atmega2560. Valet visade sig också vara till en fördel för att hålla EMC-störningarna nere.

Alla ventilkretsar valdes att styras med hjälp av en optokopplare för att åstadkomma en optoisolerande effekt på ingångarna och utgångarna.

Styrsystemets storlek diskuterades mångfaldigt men den slutliga lösningen blev att anpassa systemet till ett växande system d.v.s. att anpassa systemet att stöda ihopkoppling av flera styrkort för att åstadkomma flera styrmöjligheter. Kretskorten kopplades ihop med hjälp av I2C-kommunikation.

Resultatet av examensarbetet blev ett färdigt planerat kretsschema implementerad i en kretskortslayout som uppfyller funktionsspecifikationerna som gavs i arbetets början.

Styrkortet blev en prototyp som kommer att vidare utvecklas i fortsättningen i samma takt som systemet utvecklas.

6 Diskussion

Detta examensarbete har varit intressant och lärorikt på många olika sätt. Jag har lärt mig mera om hur man skall gå tillväga när man börjar planera ett kretskort för att ta hänsyn till EMC-krav som ställs på produkter som man säljer världen över.

Jag hade till en början som avsikt att planera ett kretskort och utföra EMC-tester för den men eftersom tiden endast räckte till att planera kortet kommer EMC-tester att utföras i ett senare skede.

Planeringsarbetet inleddes efter att jag blev erbjuden ett examensarbete för företaget och blev inbjuden till ett första möte med företagets utvecklingsansvariga. I ett tidigt skede insåg jag att arbetet kommer att uppta mycket tid och därför började jag planeringsarbetet i ett tidigt skede.

Kretskortet planerades i Eagle och komponenter som valdes togs från LCSC som är ett företag som samarbetar med kretskortsleverantören JLCPCB. Anledningen till valet av kretskortsleverantören berodde på tidigare erfarenheter av företaget. Det visade sig i ett senare skede att JLCPCB inte hade möjlighet att montera alla önskade komponenter, men eftersom komponenterna som inte kunde monteras av maskin var väldigt få, beslöt man att hålla sig vid leverantören och montera de sista komponenterna för hand.

När prototypen är färdigutvecklad kommer företaget att söka reda på en leverantör med möjligheter att montera alla komponenter på kretskortet.

Kretsschemat som planerades innehöll många kretsar som jag tidigare hade använt mig av i andra projekt, men eftersom behovet av implementering av Internet, pekskärm och olika kommunikationstyper blev det också mycket nytt.

Det nya, egna styrsystemet möjliggör företaget Heliostorage att få en billigare och bättre lösning i fortsättningen eftersom de inte behöver använda andra tillverkares styrenheter. Heliostorage kommer också att få en mindre strömförbrukning på systemet eftersom man kan reglera processen med data från alla sensorer och givare.

7 Källförteckning

- Atmel. (u.d.). https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf.
- Belimo. (2014). [https://www.belimo.eu/pdf/bvg/NR24A\(-S\)_en.pdf](https://www.belimo.eu/pdf/bvg/NR24A(-S)_en.pdf).
- Blom, J. (u.d.). <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. Hämtat från Sparkfun.
- Cadence. (2018). <https://resources.pcb.cadence.com/blog/techniques-to-reduce-emi-in-your-pcb-designs-2>.
- Eagle. (2020). <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>.
- Electronicstutorials. (u.d.). <https://www.electronics-tutorials.ws/logic/pull-up-resistor.html>.
- Flodaforslego. (2020). <http://flodaforslego.se/kretskortets-historia/>.
- Grusin, M. (u.d.). <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all>.
- Heliostorage. (u.d.). <https://heliostorage.com/>.
- Integrated. (2008). <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/148.html>.
- Intergrated Maxim. (u.d.). <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>.
- MAXIM. (u.d.). <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/73463/MAXIM/MAX485.html>.
- Microchip. (u.d.). <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662e.pdf>.
- Organization, Modbus. (2006). http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf.
- Protocol, M. A. (2006). http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf.
- PUV. (u.d.). http://www.puv.fi/en/com/technobothnian_tekniset_yrityspalvelut/emc-testauspalvelut/.
- Rejås, M. (2011). *Datakommunikation*. Rejås datakonsult AB.
- Sandqvist, W. (u.d.). <https://www.slideserve.com/ornice/kommunikation>. Hämtat 2020
- Shintron. (2011). <http://www.shintron.com.tw/proimages/b8-1/LM2576-R1.0.pdf>.
- Sparkfun. (u.d.). <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>. Hämtat från Sparkfun.
- Tukes. (u.d.). <https://tukes.fi/sv/produkter-och-tjanster/elektriska-produkter/elektromagnetisk-kompatibilitet-emc>.

- Keep heat-sensitive and heat-radiating components as far apart as possible (incorporate heatsinks whenever necessary).

6.1.3.1 Digital Circuits Digital circuits are composed of electronic components that can provide state information (1 or 0), as a function of the performance of the overall circuit. Normally, logic integrated circuits are used to perform this function; however, discrete components may also be used sometimes to provide digital responses.

Integrated circuit devices use a variety of logic families. Each family has its own parameters regarding the speed of the digital transmission, as well as the temperature rise characteristics necessary to provide the performance. In general, a single board usually uses the same logic family in order to facilitate a single set of design rules for conductor length for signal driving restrictions. Some of the more common logic families are:

TTL	– Transistor Transistor Logic
MOS	– Metal Oxide Semiconductor Logic
CMOS	– Complimentary Metal Oxide Semiconductor Logic
ECL	– Emitter Coupled Logic
GaAs	– Gallium Arsenide Logic

In certain high-speed applications, specific conductor routing rules may apply. A typical example is serial routing between signal source, loads and terminators. Rating branches (stubs) may also have specified criteria.

Digital signals can be roughly placed in four classes of criticality. These classes are:

1. *Noncritical Signals* – are not sensitive to coupling between them. Examples are between the lines of a data bus or between the lines of an address bus where they are sampled long after they are settled.
2. *Semi-Critical Signals* – are those where coupling must be kept low enough to avoid false triggering, such as reset lines and level triggering strobe lines.
3. *Critical Signals* – have waveforms that must be monotonic through the voltage thresholds of the receiving device. These are normally clocking signals and any glitch while the wave form is in transition may cause a double clocking of the circuit. A noncritical signal has a waveform that need not be monotonous and may even make multiple transitions between the voltage thresholds before it settles. Obviously it must settle before the receiving device acts upon the data, e.g., the data input to a flip-flop may be a noncritical but the clock signal is most probably a critical signal. Asynchronous signals, although they may (or may not) be noncritical signals, should not be mixed with critical signals since there is a real possibility of the asynchronous signals inducing noise on the critical signals during the clock transitions. Clock signals that do not have a common master fre-

quency should also not be routed together for similar reasons.

4. *Super-Critical Signals* – are those in applications such as clocks or strobes for A/D and D/A converters, signals in Phase Locked Loops, etc. In these types of applications phase lock jitters and crosstalk, causing errors, noise and timing jitters, will show up in the application's output performance. It is only a question of the amount of disturbance within the required performance specification. This class of signal is essentially the same as an analog coupling situation. In other words, it is completely linear (the total noise is the sum of the individual noise elements; no averaging or canceling out can be assumed).

6.1.3.2 Analog Circuits Analog circuits are usually made from integrated circuits and discrete devices. Standard discrete components (resistors, capacitors, diodes, transistors, etc.), as well as power transformers, relays, coils and chokes, are usually the types of discrete devices used for analog circuits.

6.2 Conductive Material Requirements The minimum width and thickness of conductors on the finished board **shall** be determined primarily on the basis of the current-carrying capacity required, and the maximum permissible conductor temperature rise. The minimum conductor width and thickness **shall** be in accordance with Figure 6-4 for conductors on external and internal layers of the printed board.

$$I = k\Delta T^{0.44}A^{0.725}$$

Where I = current in amperes, A = cross section in sq. mils, and ΔT = temperature rise in °C and k is a constant such that:

- k = 0.048 for outer layers
- k = 0.024 for inner layers

The conductor's permissible temperature rise is defined as the difference between the maximum safe operating temperature of the printed board laminate material and maximum temperature of the thermal environment to which the printed board will be subjected. For convection-cooled printed board assemblies, the thermal environment is the maximum ambient temperature where the printed board will be used. For conduction-cooled printed board assemblies in a convection environment, the temperature rise is caused by the dissipated power of the conduction-cooled parts and the temperature rise through the printed board and/or heatsink to the cold plate should also be considered. For conduction-cooled printed board assemblies in a vacuum environment, the thermal environment is the temperature rise caused by the dissipated power of the parts and the temperature rise through the printed board and/or heatsink to the cold plate. In a vacuum environment, the

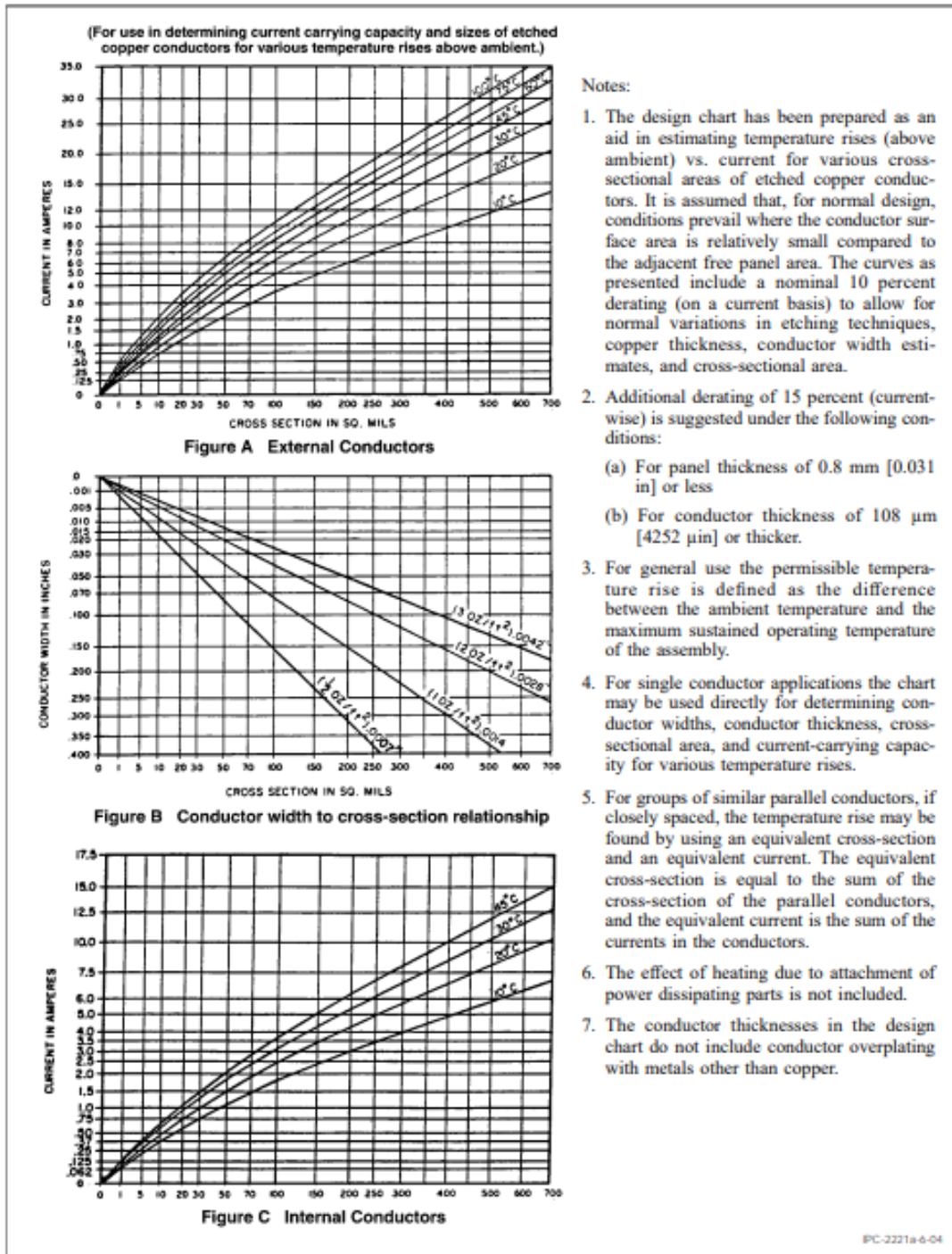


Figure 6-4 Conductor Thickness and Width for Internal and External Layers