

Institutionen för Informationsteknologi

Examensarbete

Elektro- och datoringenjörsprogrammet

Kapacitivt tändsystem

Capacitive Discharge Ignition System

Erik Eriksson
Martin Gustafsson

Handledare:
Peter Røjder
Karlstads universitet
vt 2005

Kapacitivt tändsystem

Capacitive Discharge Ignition System

Erik Eriksson, Martin Gustafsson

Examensarbete

Degree Project

Elektro- och datoringenjörsprogrammet

vt 2005

Handledare:

Peter Røjder, Karlstads universitet

Denna rapport är skriven som en del av det arbete som krävs för att erhålla Elektro-och datoringenjörsexamen/Teknologie kandidatexamen. Allt material i denna rapport som inte är mitt eget, har blivit tydligt identifierat och inget material är inkluderat som tidigare använts för erhållande av annan examen.

Erik Eriksson

Martin Gustafsson

Rapporten godkänd,

datum Handledare: Peter Røjder

Examinator: Peter Røjder

Abstract

An ignition system is needed to control an engine. This ignition system has to be able to provide the right energy at the right time.

Due to the lack of efficiency in older mechanical and early electronic systems, we planned to design and construct a capacitive discharge ignition system. This system includes a microcontroller that will calculate the spark timing. The system controls the spark timing depending on the engine speed. The engine speed is measured using a sensor mounted near the engine flywheel.

The basic idea is to split the system into three subsystems, the charge subsystem, the ignition subsystem and the controller.

The first step was to design, simulate and construct each subsystem. The next step was to merge these subsystems into a working unit.

The result was a fully functional capacitive ignition system.

Sammanfattning

För att kunna styra en motor krävs bland annat ett tändsystem. Detta tändsystem måste klara av att ge rätt energimängd vid rätt tidpunkt.

Mekaniska och tidiga elektroniska tändsystem som konstruerats är inte tillräckligt effektiva. För att få möjlighet till enkel men bättre optimering av effektivitet konstruerades ett kapacitivt tändsystem. Detta system använder en mikrocontroller som beräknar tändfördröjningen. Systemet reglerar tändfördröjningen utifrån en nollpunkt och ett varvtal som detekteras med hjälp av en sensor vid motorns svänghjul.

Grundidén är att dela upp systemet i tre delar: laddkrets, tändkrets och styrkort.

I ett första steg designades, simulerades och konstruerades varje del för sig. Nästa steg var att sammanfoga dessa tre delar till ett fungerande tändsystem.

Resultatet blev ett väl fungerande kapacitivt tändsystem.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 MÅL	1
2 TEORI.....	2
2.1 FÖRBRÄNNINGSMOTORN	2
2.2 TÄNDVINKELN	2
2.3 TÄNDSYSTEMET	3
2.4 INDUKTIVA TÄNDSYSTEM	3
2.5 KAPACITIVA TÄNDSYSTEM	3
2.6 JÄMFÖRELSE MELLAN INDUKTIVT OCH KAPACITIVT TÄNDSYSTEM	4
3 UTVECKLING	4
3.1 GRUNDIDÉ	5
3.2 LADDKRETS	5
3.2.1 DRIVSTEG FÖR LADDKRETSEN	8
3.3 TÄNDKRETS	8
3.3.1 DRIVSTEG FÖR TÄNDKRETSEN	9
3.4 STYRKORT	10
3.5 SKYDDSKRETS	11
3.5.1 SKYDD MOT MULTIPEL UPPLADDNING	11
3.5.2 SKYDD MOT ÖVERLADDNING	12
3.6 VARVTALSSENSORN	13
3.7 TÄNDVINKEL	13
3.8 STYRKORT	13
3.8.1 HUVUDPROGRAMMETS STRUKTUR.....	15
3.8.2 HÅRDVARUINTERRUPT	15
3.8.3 TIMER1 - INTERRUPT.....	16
3.8.4 TIMER0 - INTERRUPT.....	17
4 VERIFIERING.....	18
4.1 EXPERIMENTELLT STYRKORT	18
4.2 LADDKRETS.....	19
4.3 TÄNDKRETS.....	20
4.4 STYRKORTET	20
4.5 HELA SYSTEMET	21
5 RESULTAT	21
6 SLUTORD	22
REFERENSER.....	23

APPENDIX A – SIMULERINGSRESULTAT LADDKRETS

APPENDIX B – SIMULERINGSRESULTAT TÄNDKRETS

APPENDIX C – SCHEMA ÖVER EXPERIMENTKORT INKLUSIVE LADD- OCH TÄNDKRETS MED DRIVSTEG

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Det som ligger till grund för detta examensarbete är ett genuint intresse för motorer och motorstyrningar. Ett motorsystem innehåller flera olika reglersystem och vi har valt att fokusera på tändsystemet. Vi vet att äldre tändsystem, mekaniska och tidiga elektroniska, har bristfällig reglering. Valet är delvis baserat på att man med relativt få givare kan konstruera ett tändsystem, som kan fungera oberoende av typ av bränslesystem. Vi ska konstruera ett tändsystem som kan anpassas till äldre motorer och förhoppningen är att detta system ska ge bättre styrning och effektivitet jämfört med originaltändsystemen.

Det finns olika varianter av tändsystem, induktiva och kapacitiva, där man med få givare kan realisera ett tändsystem. Den kapacitiva modellen medger ett högre varvtal samt en möjlighet att enklare implementera jonströmsmätning. Jonströmsmätningen kan dra nytta av den högre spänning som genereras i ett mellansteg i det kapacitiva tändsystemet. Vårt val är alltså ett kapacitivt tändsystem eftersom möjlighet till vidareutveckling med jonströmsmätning känns vettig.

1.2 Mål

Målsättningen är att designa, simulera och konstruera ett kapacitivt tändsystem. Systemet ska vara fristående från motorns övriga styrsystem. Tändvinkeln och energin i gnistan ska vara justerbar mjukvarumässigt. Tändsystemet ska kunna fungera vid motorvarv upp till 6000 varv/min. Ett normalt 12 V bil/mc-batteri ska användas som strömförsörjning. Detta system ska köras på en fyrtaktsmotor där man reglerar tändvinkeln utifrån varvtalet.

Möjlighet att vidareutveckla systemet skall också finnas för framtida projekt. Man skulle exempelvis kunna ta med fler parametrar vid justeringen av tändvinkeln.

2 Teori

För att kunna ge förståelse för hur tändsystemet fungerar ges här en kort genomgång av förbränningsförloppet hos en fyrtaktsmotor.

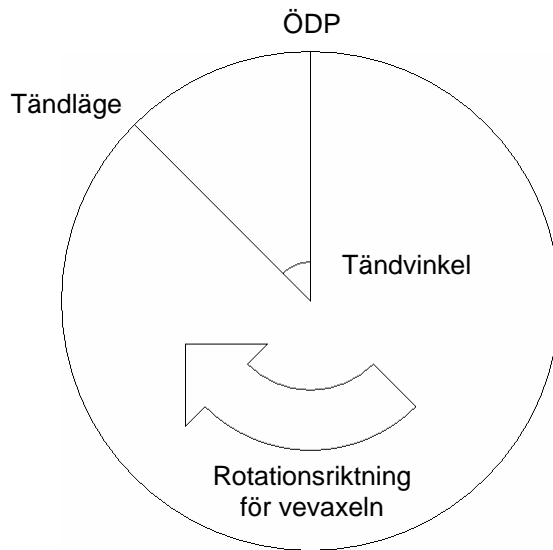
2.1 Förbränningsmotorn

Förbränningsförloppet för en fyrtaktsmotor kan förenklat delas in i 4 steg, därav namnet.

- | | |
|--------|---|
| Steg 1 | I första takten rör sig kolven neråt och insugsventilen är öppen. Bränsleblandningen sugas då ner i cylindern. |
| Steg 2 | Kolven har nu nått sin lägsta punkt och insugsventilen stängs. Nu befinner sig motorn i kompressionstakten och kolven rör sig uppåt. En kort stund innan kolven nått övre dödpunkt (ÖDP) ska en gnista från tändstiftet antända bränsleblandningen. |
| Steg 3 | Bränsleblandningen brinner och genererar ett övertryck som trycker kolven neråt. |
| Steg 4 | När kolven nått sin lägsta punkt påbörjas avgasfasen. Avgasventilen öppnas och kolven rör sig uppåt. När kolven återigen nått ÖDP stängs avgasventilen och förloppet repeteras från steg 1. |

2.2 Tändvinkeln

Oavsett varvtal tar det ungefär lika lång tid för bränsleblandningen att brinna och bilda ett tryck i cylindern. Vid ett högre varvtal innebär det att gnistan måste antända bränsleblandningen vid en större vinkel före ÖDP jämfört med lägre varvtal. Se Figur 1 som visar förhållandet mellan ÖDP och tändvinkel. Det finns fler parametrar än varvtal som avgör vid vilken vinkel gnistan ska antända bränsleblandningen. Normalt påverkar också belastning av motorn, gaspådrag och motortemperatur.



Figur 1. Illustration av tändvinkel i förhållande till ÖDP.

2.3 Tändsystemet

Tändsystemets uppgift i en motor är att leverera en gnista som antänder bränsleblandningen när vevaxeln har en sådan vinkel relativt ÖDP så att mesta möjliga energi i bränslet utnyttjas. I mekaniska och tidiga elektroniska system är denna justering av tändvinkeln bristfällig. Det krävs också en minsta energimängd för att gnistan ska kunna antända bränslet. Tändsystemet skall se till att denna energimängd finns tillgänglig när gnistan behövs.

2.4 Induktiva tändsystem

Ett induktivt tändsystem är baserat på en tändspole och en brytare. En ström leds genom tändspolens primärlindning och bygger då upp ett magnetfält i spolen. När strömmen sedan bryts kommer detta fält att generera en mycket högre spänning på tändspolens primärlindning, som transformeras upp ytterligare till tändspolens sekundärlindning som sedan är kopplad till tändstiftet.

2.5 Kapacitiva tändsystem

I ett kapacitivt tändsystem laddas en kondensator upp till en spänning mellan 300 och 500V. I nästa steg urladdas kondensatorn över tändspolens primärlindning och på

tändspolens sekundärlindning genereras då en mycket högre spänning. Tändstiftet är anslutet till tändspolens sekundärlindning.

2.6 Jämförelse mellan induktivt och kapacitivt tändsystem

Ett induktivt tändsystem är enkelt uppbyggt och innehåller få komponenter. Ett kapacitivt tändsystem är mer komplext i sin uppbyggnad och innehåller fler komponenter.

Det tar längre tid att ladda upp och ur energin i spolen i det induktiva systemet, jämfört med att ladda upp kondensatorn och sedan ladda ur denna via tändspolen i det kapacitiva systemet. På grund av den längre urladdningstiden i det induktiva systemet kommer gnistan att vara under en längre tid. Detta kan vara en fördel för att bränslet ska kunna antändas ordentligt. I det kapacitiva systemet kan man däremot hinna ladda upp en högre energi till varje gnista och även hinna med att generera flera gnistor till varje användning av bränslet. Eftersom det kapacitiva systemet är snabbare är det bättre lämpat för högre varvtal.

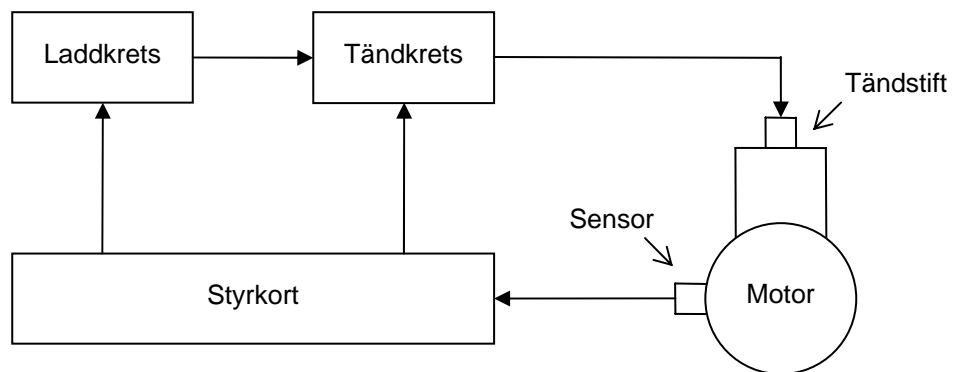
3 Utveckling

Vi kommer att basera tändvinkeln enbart på motorns varvtal.

Vi har utvecklat tändsystemet utifrån att det ska användas på en encylindrig motor av fyrtaktstyp. Vår laborationsmotor är en gräsklipparmotor av fabrikat Briggs&Stratton. För att få en bra gnista krävs en viss energimängd. Enligt produktinformation för ett existerande system vid namn "MSD 6A" som säljs av MSD Ignition [1] så ger detta 105-115 mJ i varje gnista. Då energin i MSD 6A är väl tilltagen så kommer vi att ha som utgångspunkt att vårt system ska kunna leverera 100 mJ i varje gnista. Den tid det tar för tändsystemet att generera en gnista påverkar vilket högsta varvtal motorn kan rotera. Tändsystemet kommer att få en puls från varvtalssensorn för varje varv som motorn roterar. En gnista behövs vartannat varv men det krävs fler givare för att skilja ett varv från ett annat. Eftersom man inte kan avgöra i vilken fas motorn befinner sig, är det enklast att låta tändsystemet skicka ut en gnista varje varv som motorn roterar. Denna metod där en extra gnista skickas ut på tändstiftet även att den inte behövs kallas allmänt för "waste spark". Den tid det tar att generera en gnista bör vara mindre än den periodtid som motsvaras av motorns maximala varvtal. Vi har ett mål att systemet ska klara av ett varvtal av 6000 varv/min vilket motsvaras av en tid på 10 ms.

3.1 Grundidé

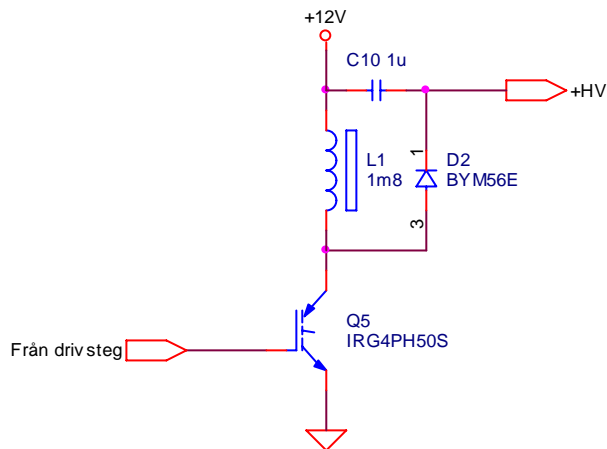
Då man i ett kapacitivt tändsystem laddar upp en kondensator i ett första steg för att sedan ladda ur denna i ett andra steg så känns det naturligt att dela upp systemet i en laddkrets och en tändkrets. Dessa delar behöver styras utifrån motorns varvtal. Denna styrning sker med hjälp av ett styrkort, som får information om motorns varvtal och vevaxelns vinkel via en sensor. Figur 2 visar systemets uppbyggnad utifrån ovanstående resonemang.



Figur 2. Blockschemat över tändsystemets delar.

3.2 Laddkrets

Laddkretsens funktion är att förse tändkretsen med en spänning på mellan 300 och 500 V. En grundkonstruktion av laddkretsen togs fram, se Figur 3. I denna konstruktion genereras högspänningen med liknande teknik som används i switchade nätdelar.



Figur 3. Tändsystemets laddkrets.

IGBT-transistorn Q5 kortsluter spolen L1 mot jord under en kort tid och under denna tid växer ett fält i spolen. När transistorn Q5 slutar leda kommer detta fält att fortsätta driva strömmen i samma riktning. Strömmen kommer då att ladda upp kondensatorn C10 via D2. Laddkretsen styrs via en laddpuls från drivsteget. Längden av denna puls bestämmer vilken spänning och energi som genereras.

Komponentvalet styrdes till viss del av att vi redan hade en spole (L1) som används i en liknande applikation. Denna spole mättes upp med resistans- och induktansmätare. Resultatet blev en induktans på 1,8 mH och en inre resistans på 0,15 Ω. Formeln nedan används för att beräkna energin i en induktor.

$$W = \frac{L \cdot I^2}{2} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{L}}$$

Med insatta värden, $W = 100 \text{ mJ}$ och $L = 1,8 \text{ mH}$, så ger detta strömmen $I = 10,54 \text{ A}$. Denna ström används sedan för att beräkna vilken tid det tar att ladda upp spolen.

Transistorn (Q5) bör med god marginal klara den ström som går genom spolen när denna laddas upp. Det är viktigt att det är så lågt spänningsfall som möjligt över transistorn när den leder. När sedan transistorn slutar att leda genererar spolen en mycket högre spänning. Transistorn måste tåla denna spänning. Då vi hade tillgång till en IGBT-transistor som klarar en spänning av 1200 V och en ström av 57 A så valde vi denna. Dessvärre har den transistorn en ganska hög kollektor-emitter spänning. Det typiska värdet på $V_{CE(ON)}$ är hela 1,47 V enligt tillverkaren.

Formeln nedan används för att beräkna vilken tid det tar att bygga upp en energi av 100 mJ i spolen.

$$i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \Rightarrow t = -\frac{L}{R} \cdot \ln \left(1 - \frac{i \cdot R}{U} \right)$$

Matningsspänningen är 12 V med avdrag för $V_{CE(ON)}$ i transistorn. Resultatet av uträkningen ger en laddtid på 1,95 ms. I praktiken kommer matningsspänningen inte att vara exakt 12 V och den kommer även att sjunka när fältet i spolen byggs upp men detta har försumrats här. Den beräknade laddtiden är klart mindre än de 10 ms (se tidigare i detta kapitel) vi har till förfogande vid systemets högsta varvtal.

Energien i spolen ska överföras till kondensatorn. Denna energiöverföring sker via en diod. De förluster som uppkommer i dioden och i spolen samt övriga förluster försummas. Vi gör en grov approximation genom att anta att all energi överförs från spolen till kondensatorn. Formeln nedan användas för att beräkna vilken kapacitans som krävs.

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2} \Rightarrow C = \frac{2 \cdot W}{U^2} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{C}}$$

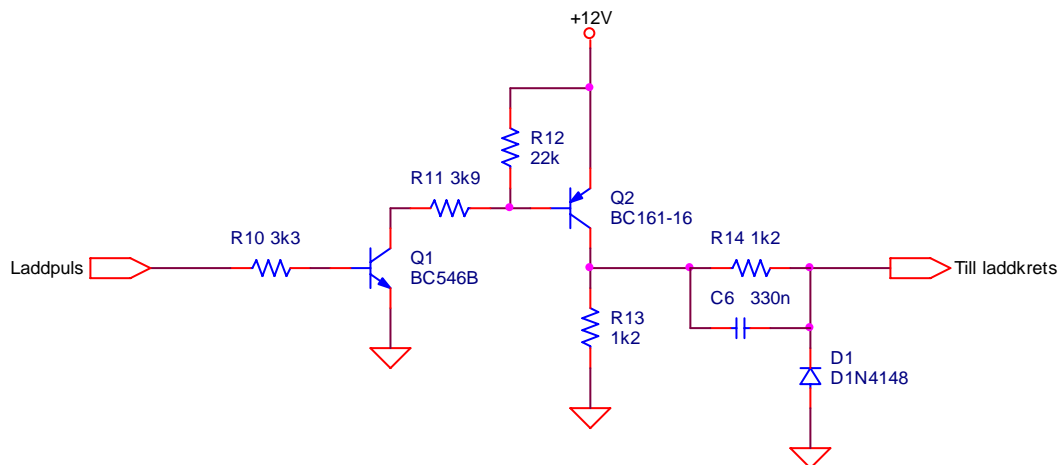
Spänningen U varierar från 300 till 500 V vilket ger att kapacitansen C antar värden mellan 0,8 till 2,2 μF . Då 1 μF är relativt lätt att få tag i, så valdes C10 till 1 μF . Om all energi i spolen överförs till kondensatorn kommer spänningen över kondensatorn att bli 447 V.

Dioden (D2) i laddkretsen måste klara en backspänning som är högre än den spänning kondensatorn laddas upp till. Dioden måste även klara av den ström som spolen försöker driva efter att transistorn slutat leda. I övrigt behöver dioden vara snabb så att energiförlusten blir minimal vid polaritetsomslag. Vi valde en diod som klarar en medelström av 3,5 A, strömspikar av 80 A och en spänning i backriktningen av 1000 V.

Grundkonstruktionen simulerades i programmet Orcad. Resultatet från denna simulering visas i Appendix A. När en laddpuls på 1,95 ms skickades in till laddkretsen steg strömmen till 11,27 A vilket gav 485 V på utgången (+HV). Både strömmen och spänningen blev högre än vad de teoretiska beräkningarna gav. Skillnaden beror sannolikt på att de teoretiska beräkningarna hållits mycket enkla medan Orcad räknar med mer avancerade modeller för komponenterna.

3.2.1 Drivsteg för laddkretsen

Drivsteget till laddkretsen får en logiksignal från styrelektroniken och ska sedan styra IGBT-transistorn i laddkretsen. Själva drivsteget är konstruerat med två transistorsteg, se Figur 4.

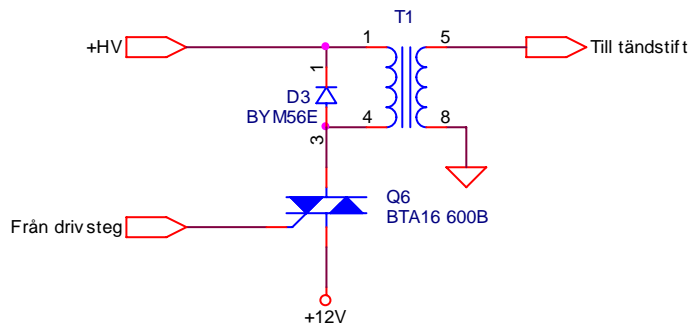


Figur 4. Drivsteg för laddkretsen.

En IGBT-transistor är spänningsstyrd. Det som krävs är alltså att man skickar på en spänning till gate så öppnar transistorn. I drivsteget ser kondensatorn C6 till att IGBT-transistorns omslag från ledande till icke ledande snabbas upp. Efter att spolen i laddkretsen laddat upp kondensatorn i laddkretsen så kommer spolen att fortsätta svänga vilket medför spänningsvariationer på IGBT-transistorns kollektor (se schemat i Figur 3). Störningarna på kollektorn överförs kapacitivt till gate. Dioden D1 är till för att dämpa de negativa spänningsstörningarna.

3.3 Tändkrets

En principskiss över tändkretsen visas i Figur 5. Tändkretsen är baserad på en triac Q6, en tändspole T1 och en diod D3. Fördelen med att använda en triac som switch istället för t ex en transistor är att man bara behöver öppna triacen, sedan slutar den leda helt automatiskt när laddningen i kondensatorn (i laddkretsen) minskat så mycket så att strömmen genom triacen underskrider ett för triacen specifikt värde. Tändkretsen får en högspänning (+HV) från laddkretsen. Denna högspänning skickas till primärlindningen på tändspolen T1 och vidare genom triacen till +12 V. En diod är ansluten parallellt med tändspolens primärlindning. Denna diod är kopplad så att den spärrar för högspänningen. Tändspolens sekundärlindning är i sin tur ansluten till tändstiftet.



Figur 5. Tändsystemets tändkrets.

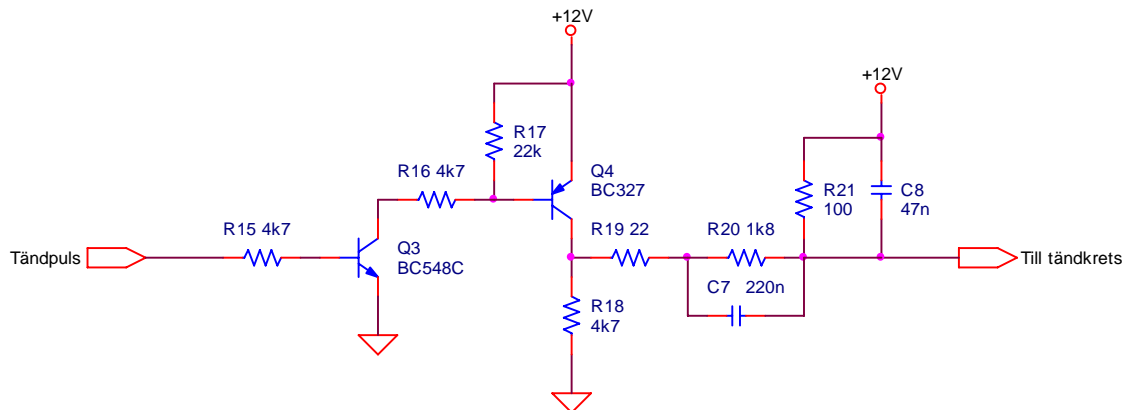
När triacen öppnas, med hjälp av en styrström, kommer högspänningen att ledas genom tändspolens primärlindning. Strömmen genom primärlindningen genererar en spänning av tiotusentals volt på tändspolens sekundärlindning. När denna spänning stigit tillräckligt sker ett överslag i tändstiftet. När energin i laddkretsen är slut är potentialen vid +HV +12 V. Då kommer triacen att sluta leda. Tändspolens primärlindning vill fortsätta driva en ström och denna kommer då att gå genom dioden, som ser till att spolen laddas ur.

Vid simulering av denna krets användes bland annat modeller av en tändspole, ett tändstift och tändkabel. Dessa modeller hämtades från Chris Schroeders artikel ”PSpice Capacitive Discharge Ignition Model” [2]. Resultatet från denna simulering redovisas i Appendix B. När spänningen från tändspolens sekundärlindning översteg 11,4 kV uppkom ett överslag i tändstiftet. Överslaget skedde på under 13 μ s från det att styrströmmen skickats in till triacen. Man kan även se att strömmen genom triacen uppgår till 21,6 A. Både triacen och dioden måste klara av att hantera denna ström.

För att kontrollera vilken spänning tändkretsen klarar av att generera kopplades en höghög resistor (1 Gohm) till tändkretsen istället för tändkabeln och tändstiftet. Resultatet i Appendix B visar att spänning från sekundärlindningen då blev ca 46,4 kV. Detta medför att tändkretsen har tillräcklig kapacitet även om högre spänning än 11,4 kV krävs för överslag i tändstiftet.

3.3.1 Drivsteg för tändkretsen

Drivsteget till tändkretsen får en logiksignal från styrelektroniken och ska sedan styra triacen i tändkretsen. Drivsteget är konstruerat med två transistorsteg, se Figur 6.



Figur 6. Schema över drivsteget för tändkretsen.

Triacen i tändkretsen är ansluten till +12V och till tändspolen, se figur 5. Gate på triacen är kopplad till tändkretsens drivsteg. För att öppna triacen krävs att spänningen på gate överstiger potentialen på triacens A1-anslutning. Denna triggpuls genereras av drivsteget. Triggpulsens längd bestäms främst av värdet på C7. Värdet på R20 i förhållande till R18, R19 och R21 avgör vilken spänning som C7 kommer att laddas upp till. Spänningen över C7 genererar triggpuls till triacen när Q4 börjar leda. R19 är till för att i någon mån begränsa strömmarna när triggpuls skickas iväg. C8 utjämnar triggpuls en liten aning.

3.4 Styrkort

Kortet är baserat på en AT90S8515 [3], vilket är en 8 bitars mikrocontroller från Atmel. Denna mikrocontroller valdes eftersom den stöds av ett utvecklingskort kallat STK500 [4] som vi hade tillgång till. Styrkortet får information om motors varvtal och vevaxelns nollpunkt från en sensor. Utifrån detta beräknas vid vilken vinkel gnistan skall levereras. Laddkretsen och tändkretsen styrs via varsin utgång från styrkortet. Först skickas en puls till laddkretsen för att se till att rätt energi finns tillgänglig när gnistan ska levereras. I nästa steg skickas en puls till tändkretsen vilket medför att energin i laddkretsen överförs till tändstiftet där ett överslag sker.

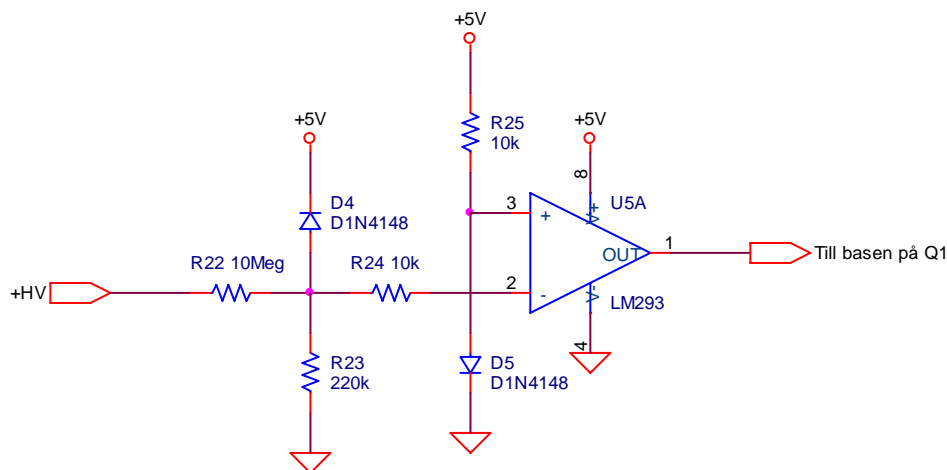
Mikrokontrollern kan inte styra laddkretsen och tändkretsen direkt. Dessa kretsar kräver att en lämplig potential respektive ström ansluts till styringångarna. Drivstegen som har presenterats tidigare har logikingångar och används för att anpassa signalerna från mikrokontrollern.

3.5 Skyddskrets

För att öka tändsystemets säkerhet och tillförlitlighet har en skyddskrets designats. Skyddskretsen består av två delar och varje del har en bestämd skyddsuppgift.

3.5.1 Skydd mot multipel uppladdning

Den här delen i skyddskretsen har till uppgift att förhindra att styrkortet försöker få laddkretsen att ladda upp en högspänning mer än en gång utan att först ha laddat ur högspänningen. Det här kommer att skydda komponenterna från överspänning. Insignalen till den här delen är högspänningen som genererats av laddkretsen. Utsignalen är kopplad till basen på första transistorn i laddkretsens drivsteg. Ett schema över den här delen i skyddskretsen visas i Figur 7.

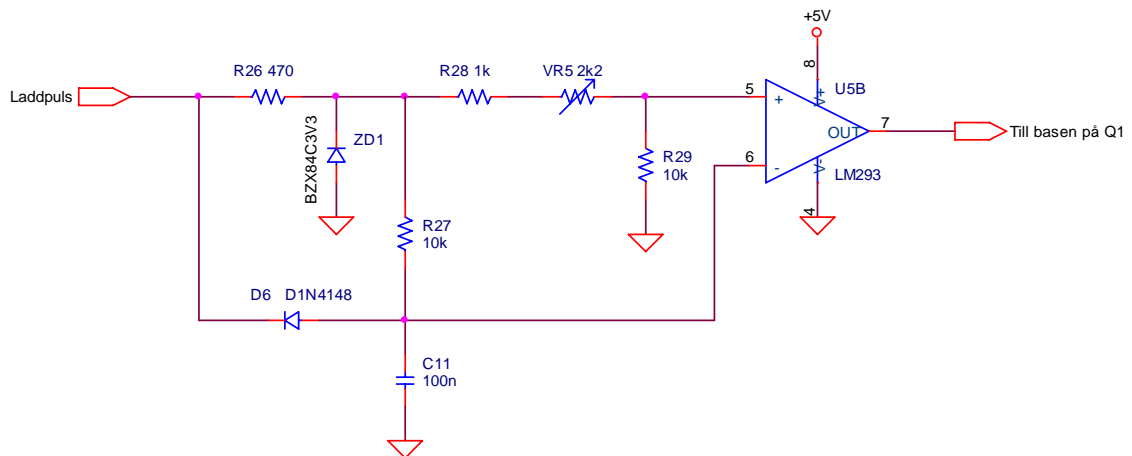


Figur 7. Schema över den del i skyddskretsen som förhindrar att mer än en uppladdning sker innan urladdning.

Högspänningen går genom spänningsdelaren R22-R23. När potentialen ut från denna överstiger framspänningsfallet över dioden D5 så kommer komparatorns utgång att sänka ström. Om tändsystemets styrkretsar skulle vilja genomföra en uppladdning när laddkretsen redan har högspänning så kommer potentialen på basen till Q1 i laddkretsens drivsteg inte att kunna öka tillräckligt för att öppna transistorn. Laddningen kommer då att misslyckas och skyddskretsen har då utfört sitt jobb.

3.5.2 Skydd mot överladdning

Den här delen ska begränsa laddpulsens längd och samtidigt begränsas då även strömmen genom spolen och transistorn i laddkretsen. Om laddtiden blir för lång kan även den genererade högspänningen bli så hög att den överskrider komponenternas specifikationer. Insignalen till den här delen är logiksignalen som är ansluten till laddkretsens drivsteg. Utsignalen är kopplad till basen på första transistorn i samma drivsteg. Ett schema över den här delen visas i Figur 8.

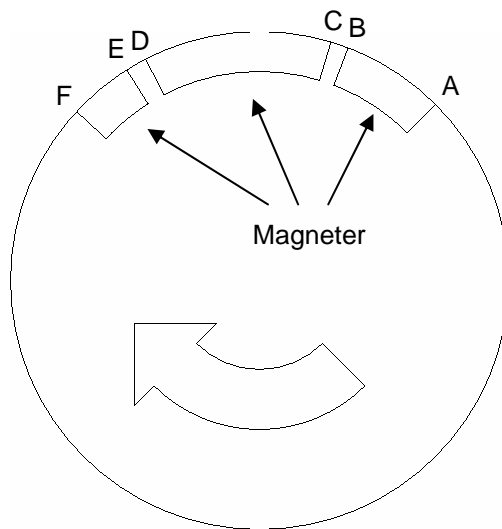


Figur 8. Schema över den del i skyddskretsen som begränsar laddtiden.

När laddpulsen går hög kommer zenerdioden ZD1 att reglera spänningen till 3,3 V. Denna spänning går genom spänningsdelaren R28, VR5 och R29. Spänningen över R29 är ansluten till positiv ingång på komparatorn. Den reglerade spänningen används även för att ladda upp kondensatorn C11 via resistorn R27. Kondensatorn laddas ur via D6 när laddpulsens ligger låg. Spänningen över C11 är kopplad till den negativa ingången på komparatorn. När C11 laddats upp så mycket att spänningen in på komparatorns negativa ingång överskrider den positiva ingången så kommer komparatorn att sänka ström på utgången. När komparatorns utgång sänker ström så kan Q1 i laddkretsens drivsteg inte leda längre vilket medför att pågående uppladdning avbryts. Den maximala laddtiden ställs in med VR5 och kan varieras mellan 1,42 och 2,40 ms.

3.6 Varvtalssensorn

I labbmotorns svänghjul finns tre magneter ingjutna enligt Figur 9 nedan. En tanke var att använda en billig tungelementsensorn för att utnyttja dessa magneter för styrningen av systemet. Detta visade sig dock ge kontaktstuds och när detta filterats bort så uppstod fördröjning av signalen. Denna fördröjning blev så stor att signalen blev oanvändbar. En halleffektsensorn med tillhörande utgångsinterface införskaffades och en separat magnet monterades på svänghjulet. Detta gav då en puls per varv vilket räcker för styrningen.



Figur 9. Svänghjulets magneter och rotationsriktning.

3.7 Tändvinkel

Den ursprungliga tändvinkeln har uppmätts till 30° före ÖDP. Originaltändsystemet har en enkel konstruktion där tändvinkeln är statisk och inte ändrar sig vid olika motorvarv.

3.8 Styrkort

Drivstegen för laddkretsen och tändkretsen samt signalen från varvtalssensorn är anslutet till det här kortet.

Programmet fungerar så att pulsen från varvtalssensorn genererar ett hårdvaruinterrupt. När detta sker kommer programmet att spara ett värde från en timer som används för att mäta varvtalstiden. Det här värdet på varvtalstiden används sedan för att räkna ut

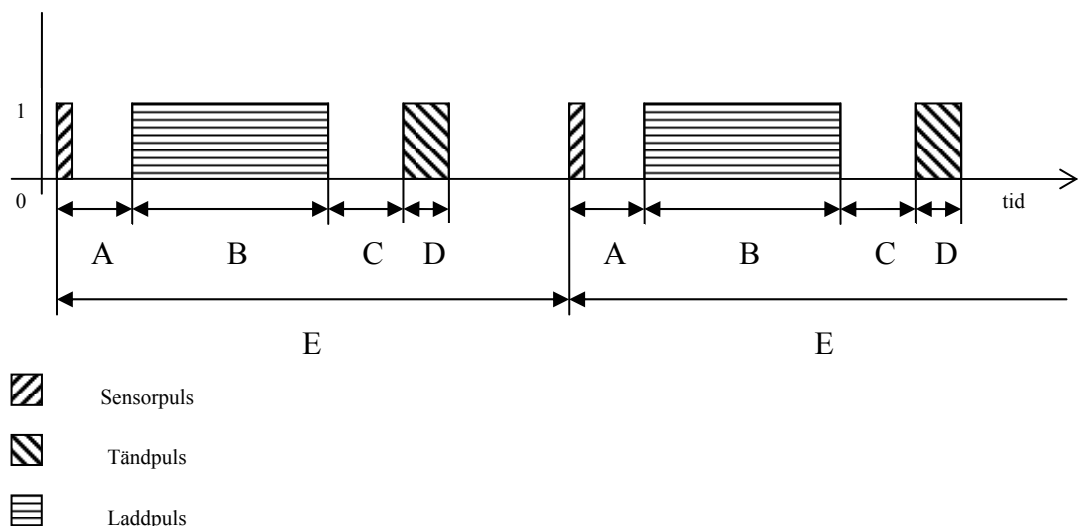
tändförskjutningen. När detta räknats ut startas en timer som styr när laddning och tändning skall ske.

Längden på laddpulsens hålls konstant till 2,25 ms vilket medför att energin i gnistan hela tiden kommer att vara ca 100 mJ enligt mätningarna i kapitel 4.2. Längden på tändpulsens har ingen större betydelse bara den är tillräckligt lång för att med säkerhet öppna triacen.

Eftersom laddtiden och den tid som krävs för att generera gnistan är konstant så förskjuts dessa proportionellt mot varvtalet.

Vid låga varvtalet, t ex vid start, kan det hända att motorn hinner stanna efter att varvtalssensorn genererat en puls men innan kolven har nått ÖDP. Det här kan i sin tur leda till att motorn försöker gå baklänges eftersom gnistan försöker antända bränslet en kort tid efter att varvtalssensorn genererat pulsen. För att komma tillrätta med det här problemet så har en varvtalsspärr för lägsta varvtalet implementerats i styrprogrammet.

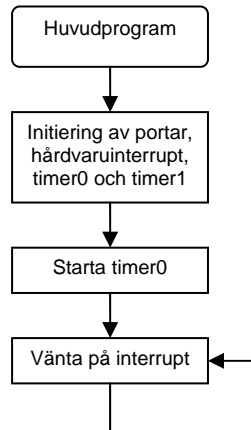
I Figur 10 nedan kan ett förenklat tidsdiagram över förloppet ses. Tiden E är den totala tiden ett varv tar. Tiderna A, B, C och D är tider som sedan räknas ut av styrkortet och används till att ge rätt energi i gnistan vid rätt tillfälle. När tiden A har förflutit så används tiden B för att ladda upp laddkretsen med energi. Under tidsintervallet C inväntas rätt tid för att avge gnistan. Slutligen skickas en tändpuls, D, till tändkretsen som då överför energin från laddkretsen till tändstiftet.



Figur 10. Förenklat tidsdiagram över sensorpuls samt ladd- och tändpuls.

3.8.1 Huvudprogrammets struktur.

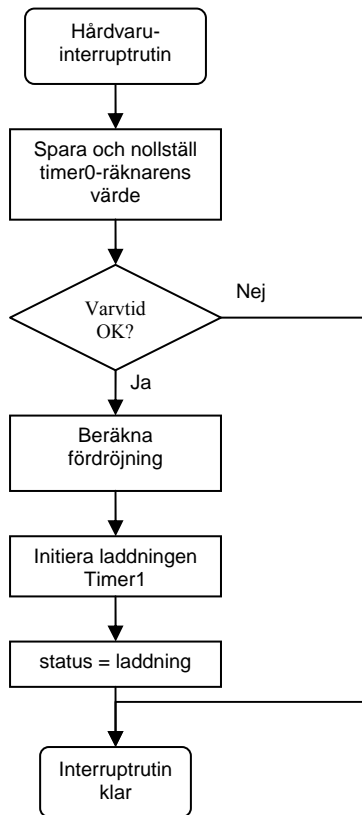
Huvudprogrammets struktur börjar med en initiering av portar och interrupt av olika slag. Sedan startas Timer0 och programmet ställer sig och väntar på att interrupt skall ske. Programmet är helt interruptdrivet förutom initieringen. Huvudprogrammet avslutas när strömmen bryts till styrkortet.



Figur 11. Flödesschema för huvudprogrammet.

3.8.2 Hårdvaruinterrupt

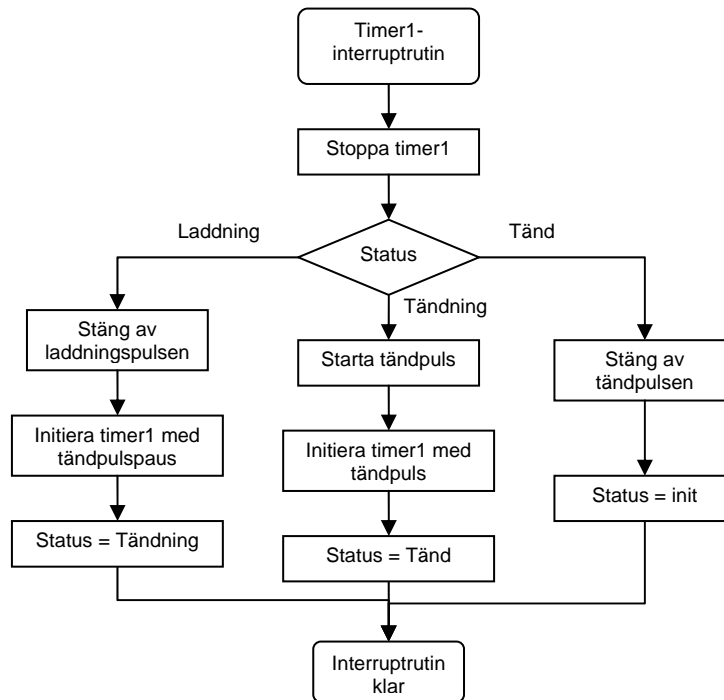
Ett hårdvaruinterrupt genereras när varvtalssensorn känner av magneten i svänghjulet. När detta interrupt kommer sparas varvtiden. Denna tid kontrolleras så att varvtiden ligger inom ett visst intervall, för att säkerställa att svänghjulet roterar i rätt hastighet. Om varvtiden är korrekt, utförs ett antal beräkningar. Dessa beräkningar ligger till grund för när laddningen och tändningen skall ske. Efter att beräkningarna är klara startas en timer som ser till att laddningen startar i god tid innan tändningen skall ske.



Figur 12. Flödesschema för hårdvaruinterrupt.

3.8.3 Timer1 - interrupt

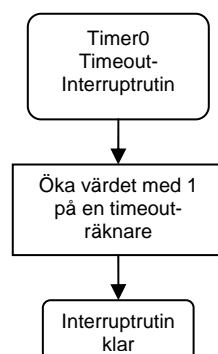
Interruptet initieras i rutinen för hårdvaruinterrupt i första skedet och därefter internt. Denna timer sköter laddnings- och tändningstiderna och en kort paus däremellan. Den körs alltså tre gånger per varv. Detta görs helt enkelt genom att sätta en status och kontrollera denne vid interrupt. Vid första interrupt på varvet så stängs laddningen av och status ställs om till tändning. När nästa interrupt sker så skickas en puls till tändkretsen och status ställs om till tänd. Sista interruptet, status är då tänd, ser till att stänga av tändpuls. Detta är så för att laddning ska ske i god tid innan tändningen ska infalla.



Figur 13. Flödesschema för timer1 interrupt.

3.8.4 Timer0 - interrupt

Detta är en enkel rutin för Timer0. Timer0 är den timer som håller koll på tiderna mellan pulserna. När ett s.k. overflow-interrupt sker så adderas 1 på en timeouträknare. Detta är för att kunna nyttja en 8-bitars räknare som en 16-bitars räknare. Denna rutin nyttjas som en generell 16-bitars räknare.



Figur 14. Flödesschema över timer0 interrupt.

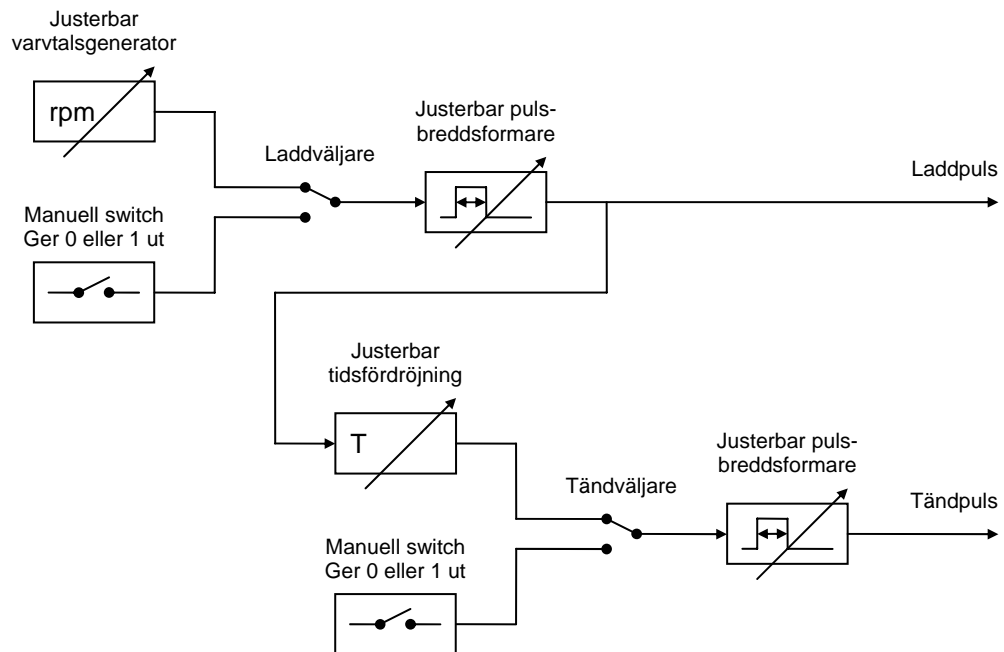
4 Verifiering

Vi har verifierat de olika delarna genom att bygga kretsarna och testa dem var och en för sig.

För att enkelt kunna verifiera funktionen hos tändkretsen och laddkretsen byggdes ett enkelt experimentellt styrkort och slutligen en varvtalsgenerator som användes för att testa det slutliga styrkortet.

4.1 Experimentellt styrkort

Det experimentella styrkortet byggdes enbart för att kunna testa tändkretsen och laddkretsen på ett säkert sätt utan att behöva använda givare eller att skriva program till en mikrocontroller. Ett blockschema över hur kortet är uppbyggt visas i Figur 15. Schema över det experimentella styrkortet inklusive laddkrets, tändkrets och drivstegen redovisas i Appendix C. Detta styrkort har ingen relevans för den aktuella motorn utan är enbart till för att testa de separata delarna av systemet.



Figur 15. Blockschema över det experimentella styrkortet.

I blockschemat kan man se att varvtalet är justerbart, och denna puls används som laddpuls på vilken bredden kan justeras. Nedåtgående flank på laddpulsens används för

att trigga en tidsfördröjning som bestämmer när tändpulsens skickas ut. Bredden på tändpulsens är också justerbar. Laddpulsens och tändpulsens kan genereras helt automatiskt eller så kan man välja att styra den ena eller båda manuellt. Varvtalsgeneratoren kan generera pulser som motsvarar varvtal mellan 375 och 7500 varv per minut. För att bestämma varvtalsområdet har vi utgått från att en gnista kommer att skickas ut för varje varv som motorn gör. Laddpulsens bredd kan varieras mellan 0,47 och 3,4 ms. Fördröjningen mellan laddpulsens nergående flank och tändpulsens bredd kan varieras mellan 0,1 och 1,6 ms. Tändpulsens bredd kan varieras mellan 0,1 och 1,4 ms. Utgångarna från det experimentella styrkortet har TTL-nivåer och är kopplade till de drivsteg som senare kommer att användas på det riktiga styrkortet.

4.2 Laddkrets

Laddkretsen kopplades upp och anslöts till det experimentella styrkortet. Laddpulsens genererades och laddtiden varierades mellan 0,5 och 2,5 ms. Resultatet visas i Tabell 1.

Tabell 1. Spänningen från laddkretsen vid olika laddtider.

Tid (ms)	Spänning (V)
0,50	110
0,75	160
1,00	210
1,25	260
1,50	300
1,75	350
2,00	400
2,25	450
2,50	500

I den simulering av laddkretsen som gjorts tidigare så resulterade en laddtid av 1,95 ms i en spänning på 485 V. I verkligheten behövdes en laddtid av närmare 2,5 ms för att komma upp i liknande spänningsnivåer. En orsak till skillnader mellan simulerade och uppmätta spänningar är sannolikt resistanser och induktanser i ledningar. Dessutom varierar sannolikt matningsspänningen från batteriet som används som strömförsörjning till ladd- och tändkretsen. I kapitel 3.2 beräknades att laddtiden ska vara 1,95 ms för att uppnå en spänning av 447 V vilket motsvarar en energi av 100 mJ. I kapitel 3 framgår det att 10 ms finns tillgängligt för att generera en gnista. I Tabell 1 kan man se att det endast krävs ca 2,25 ms för att komma upp i rätt energinivå. Tändsystemet bör därför ha gott om tid att hinna generera energi och sedan skicka ut denna energi i form av en gnista på tändstiftet vid maximalt varvtal.

4.3 Tändkrets

Tändkretsen kopplades upp och anslöts till det experimentella styrkortet och laddkretsen. Ett tändstift anslöts till tändkretsens utgång. Kretsen testades med en högspänning av ca 100 V och en bredd på tändpulsens av 0,2 ms.

Vid provkörningen uppstod problem. Tändkretsen uppförde sig inte som vid simuleringen. Efter första gnistan ville inte triacen stänga utan en mycket hög ström började flyta genom systemet. En analys av tändkretsen visade att triacens ena anslutning kopplats till +12 V istället för till jord som den felaktigt hade kopplats till. När detta rättats till fungerade tändkretsen och triacen stängde som den skulle.

När högspänningen ökades till ca 200 V uppstod ett annat problem. Triacen öppnade trots att ingen tändpuls skickats ut. Orsaken till detta var de fluktuationer i matningsspänningen som orsakades av laddkretsen. Fluktuationerna påverkade antagligen drivsteget till tändkretsen så att detta triggade triacen. Problemet löstes genom att koppla in en kondensator som extra strömbuffert vid laddkretsen. Värdet på denna kondensator är inte kritiskt. Det som krävs är att den kan hålla matningsspänningen tillräckligt konstant för att drivsteget inte ska trigga triacen. En kondensator på 470 μF testades. Detta räckte för att hålla matningsspänningen tillräckligt konstant även när spänningen från laddkretsen ökades över 200 V.

Tiden mellan laddpuls och tändpuls måste vara tillräckligt lång så att laddkretsen hunnit generera högspänningen. Den tid det tar att ladda ur laddkretsen måste räknas med, men är i praktiken försumbar. Tiderna som det experimentella styrkortet kan generera håller sig inom detta intervall och det är därför av mindre vikt exakt vilken tid som ställts in. Tändpulsens bredd måste vara tillräckligt stor för att triacen ska hinna öppna fullständigt. Minsta pulsbredden som styrkortet kan generera är fullt tillräcklig för att öppna den triac som använts.

4.4 Styrkortet

Styrkortet verifierades genom att ansluta en pulsgenerator där varje puls motsvarar ett varv på svänghjulet. Utsignalerna för laddning och tändning anslöts till ett oscilloskop, där signalerna verifierades. Signalerna hamnade korrekt tidsmässigt och reglerades med pulsgeneratorns frekvens.

I nästa skede anslöts varvtalssensorn till styrkortet. Motorn startades så att varvtalssensorn genererade pulser till styrkortet. Utsignalerna från styrkortet överrensstämde med förväntat resultat.

4.5 Hela systemet

Hela systemet testades genom att koppla ihop alla delar. Tändkretsen var fortfarande anslutet till ett tändstift utanför motorn. För att ställa in rätt tändvinkel på systemet så anslöts en normal tändlampa till det ordinarie tändsystemet på labbmotorn och en markering av tändvinkeln gjordes när motorn var igång. Sedan anslöts tändlampan till det nya tändsystemet och motorn startades. En parameter i programmet till det nya tändsystemet justerades för att tändvinkeln skulle bli identisk med originalsystemet. Vid denna justering så upptäcktes det att en viss fördröjning i sensorinterfacet fanns och denna fick vi ta hänsyn till. Originaltändsystemet var då inkopplat och de starka magnetiska svängningarna från detta åstadkom en spik. Dessa spikar försvann senare.

När tändvinkeln justerats så kopplades det gamla tändsystemet bort genom att jorda kabeln till tändstiftet. Det nya tändsystemet anslöts till motorns tändstift och motorn startades framgångsrikt.

Skyddskretsen kopplades in och testades mot extremvärden, dvs. för korta och långa laddtider. Det visade sig att kretsen jobbade som den skulle.

5 Resultat

Systemet som helhet klarade de uppsatta målen och fungerade över förväntan. Motorn klarar dock inte av att gå över det varvtal som sattes upp som mål, men enligt beräkningar i tidigare kapitel och praktiskt resultat så skall tändsystemet klara den gräns på 6000 varv/min som sattes som mål.

Vi har fått förståelse för vilka problem som kan uppstå vid användandet av sensorer i applikationer i störningstät miljö. Mer tid skulle ha lagts ner på att välja en lämplig sensor.

6 Slutord

Vi har designat, simulerat och kopplat upp delar av ett kapacitivt tändsystem.

Vi har även fått en mycket bättre förståelse för hur tändsystem är konstruerade och fungerar rent generellt.

Konstruktionen av laddkretsen och tändkretsen gick mycket bra och lösningen lämpar sig väl för att återanvändas i andra projekt.

En skärmad ledning till givaren är något vi tänkt använda i framtida system eftersom det är små signaler som kommer från givare och miljön kring en motor är långt ifrån störningsfri.

Referenser

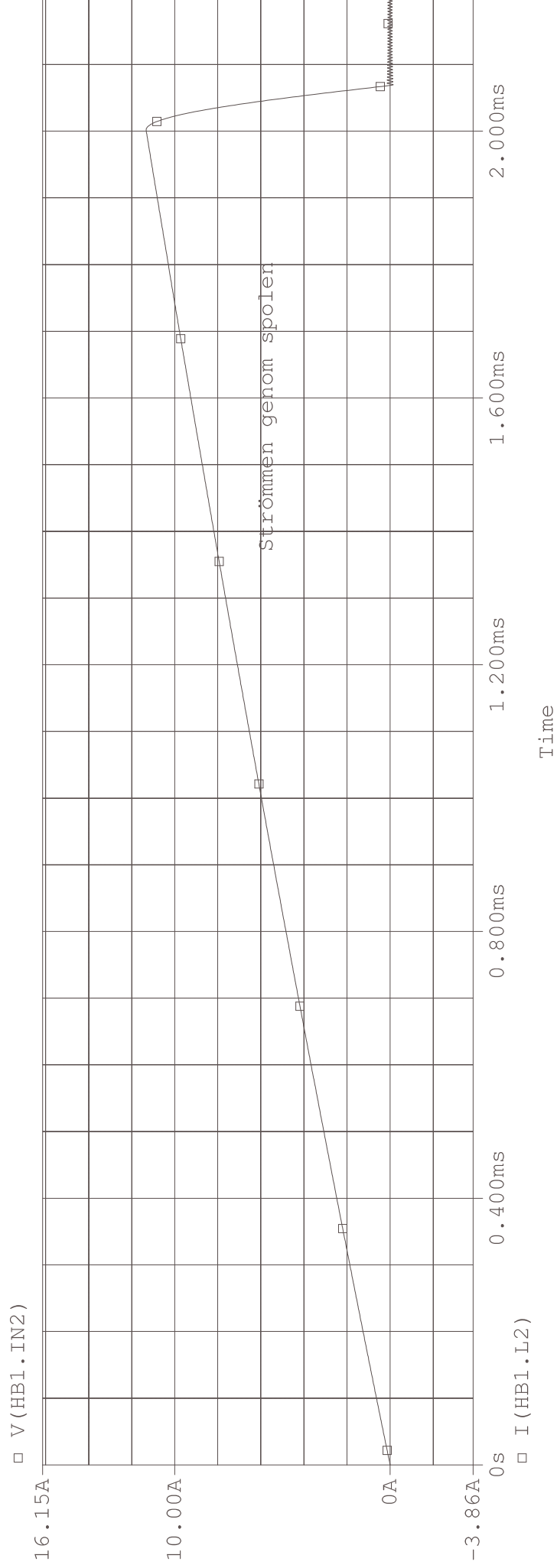
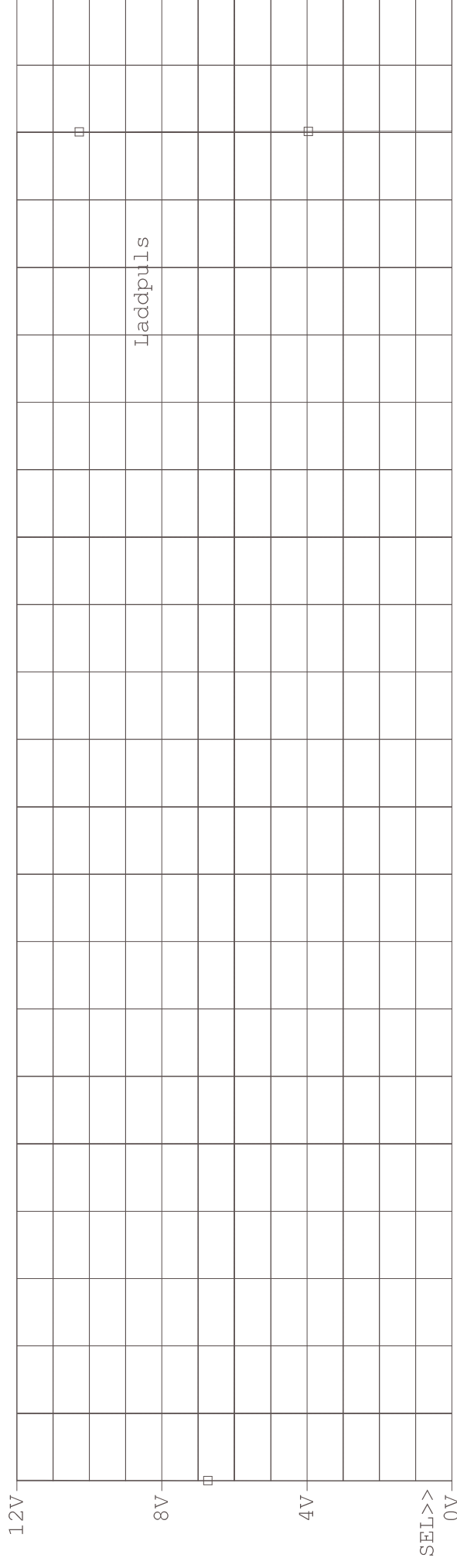
- [1] MSD Ignition
MSD 6A (products/ignitions/MSD 6A)
www.msdignition.com (2005 05 26)

- [2] Chris Schroeder
PSpice Capacitive Discharge Ignition Model
www.beyond-designs.com/pspice_CD.htm (2005 04 09)

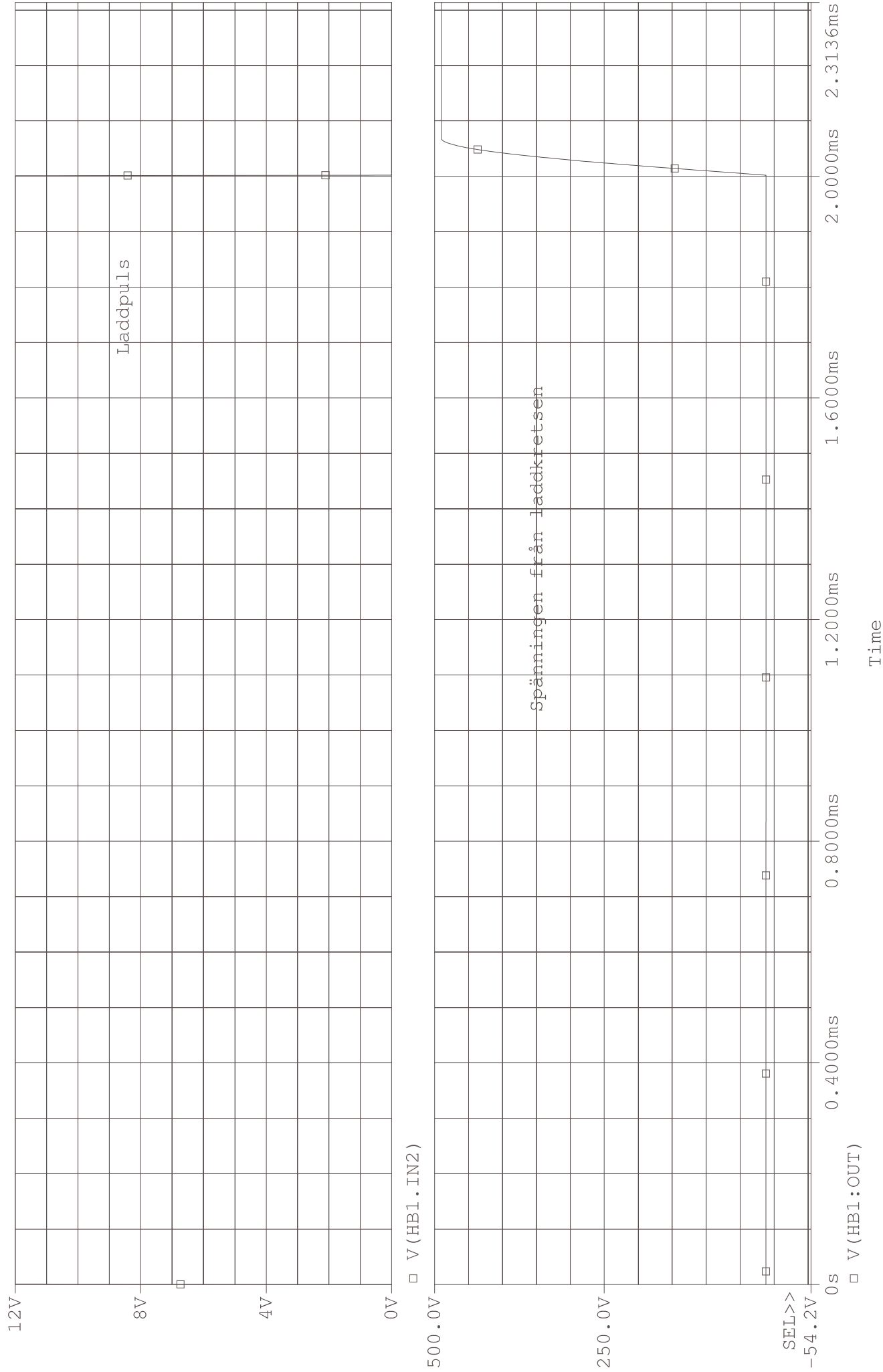
- [3] Atmel Corporation
AT90S8515 Mature, Rev. 0841G-09/01
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/DOC0841.PDF (2005 04 12)

- [4] Atmel Corporation
AVR[®] STK500 User Guide, Rev. 1925C-AVR-3/03
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1925.pdf (2005 04 12)

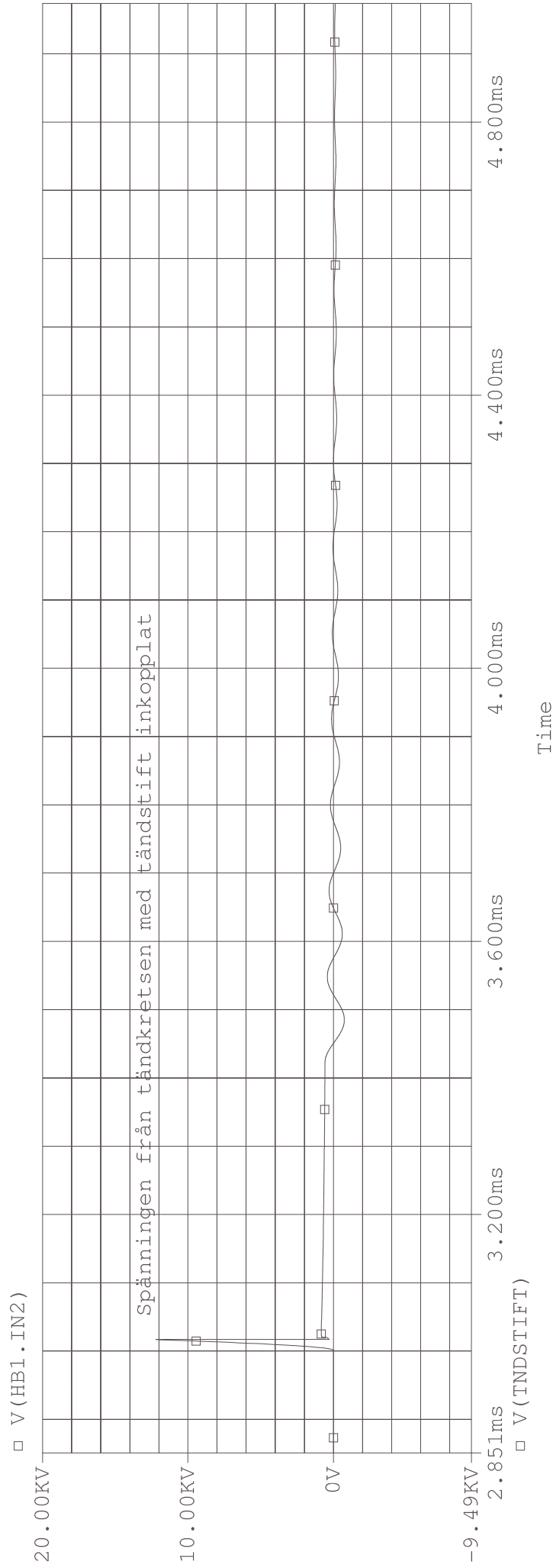
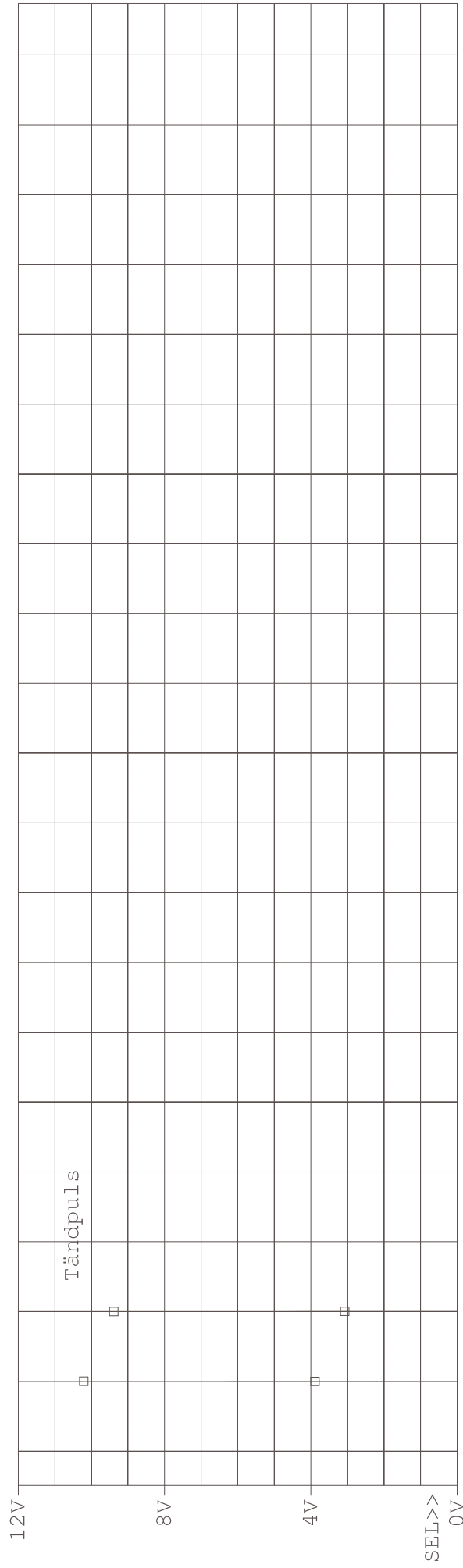
(A) testaladdkrets-schematic1-bias.dat (active)



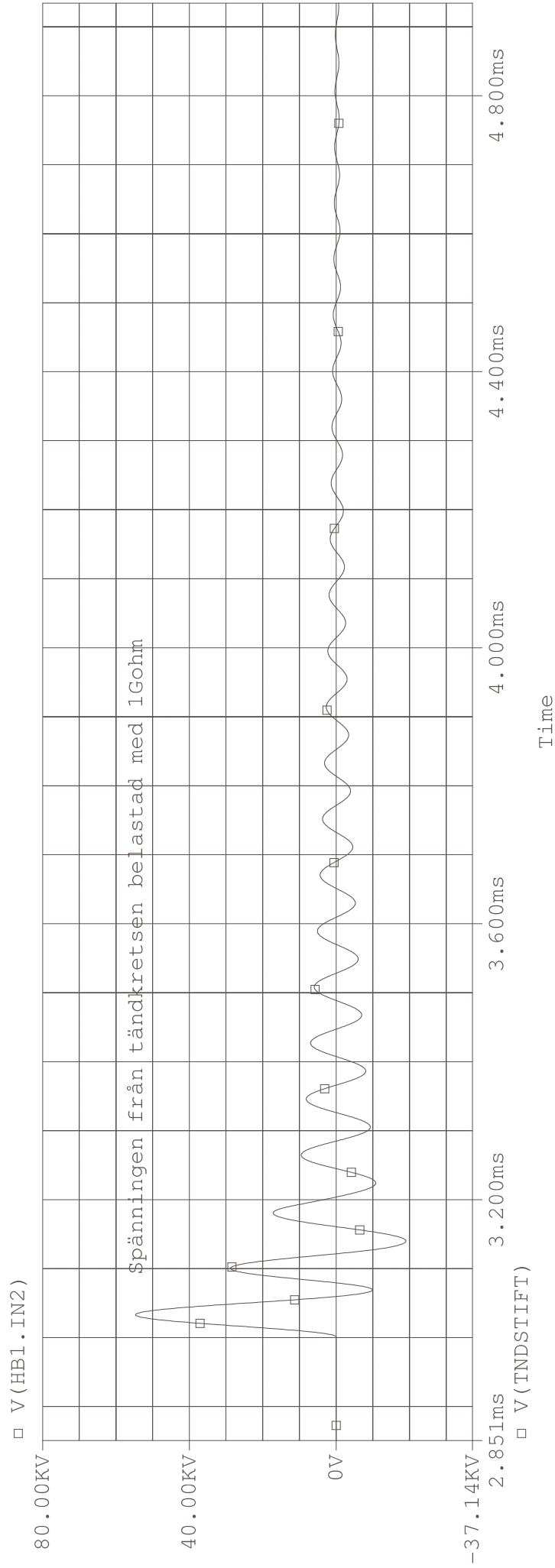
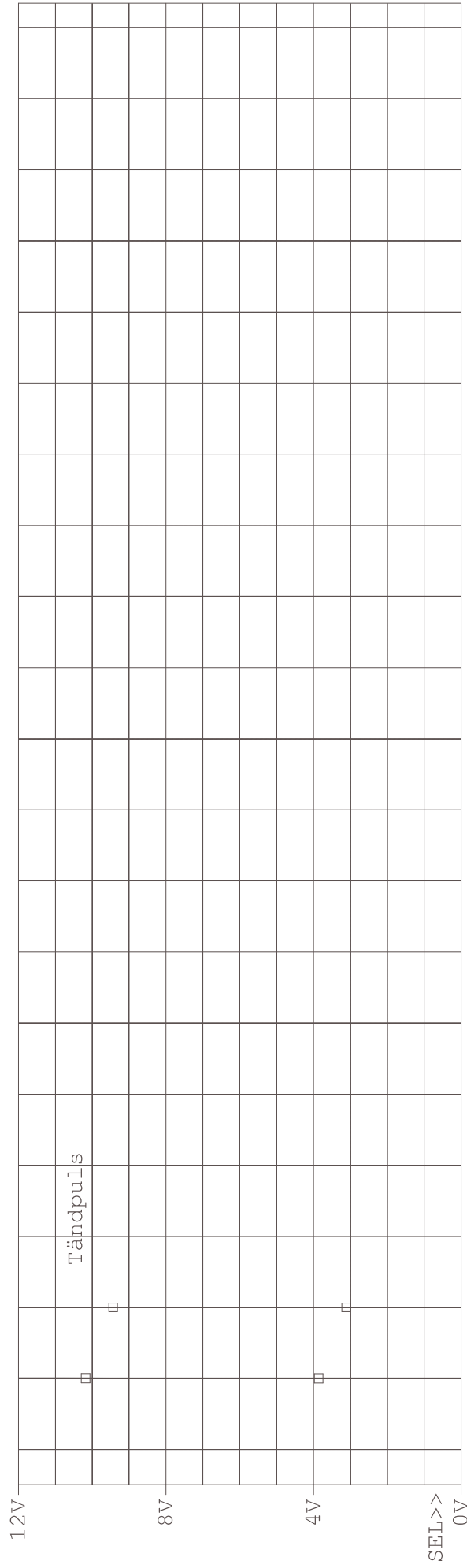
(A) testaladdkrets-schematic1-bias.dat (active)

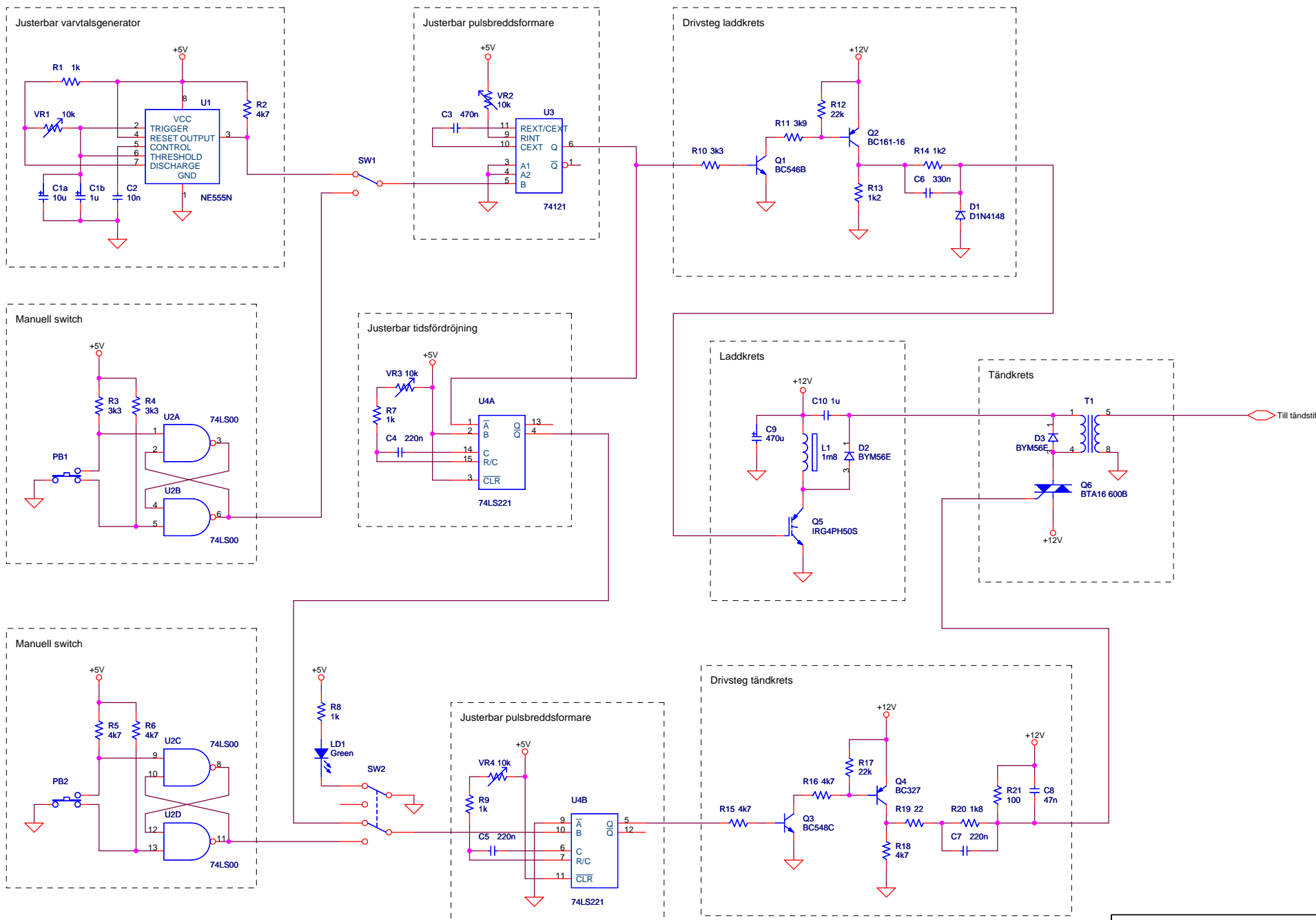


(A) TANDKRETS-SCHEMATIC1-Bias.dat (active)



(B) TANDKRETS-SCHEMATIC1-Bias.dat (active)





Title		
APPENDIX C		
Size	Document Number	Rev
A3	1	A
Date:	Wednesday, March 12, 2008	Sheet 1 of 1