

Telefoninterface för Skype

– Projektrapport

Abstract

The aim of this project is to develop a telephone interface prototype that can connect *Plain Old Telephone Service* (POTS) telephones to a PC via USB. The application shall make it possible to make and receive phone calls via the Internet software Skype. It shall also generate ring- and Caller ID signals to connected telephones on incoming calls. The main goal is to emulate POTS in such a high degree that a new user of the application knows how to use it. Hardware design includes DTMF-decoding, *Subscriber Line Interface* (SLIC) with power supply, A/D and D/A conversion, ASCII-display and a USB-interface, each connected to an ATmega16.

Projektgrupp 8
Andreas Nielsen (c03ani)

Innehållsförteckning

INLEDNING	3
KRAVSPECIFIKATION	3
<i>Hårdvarurelaterade krav.....</i>	<i>3</i>
<i>Mjukvarurelaterade krav.....</i>	<i>3</i>
UTVECKLING AV HÅRDVARA	4
CODEC	5
DTMF-DEKODER	5
SUBSCRIBER LINE INTERFACE.....	5
STRÖMFÖRSÖRJNING FÖR SLIC	5
UNIVERSAL SERIAL BUS	5
UTVECKLING AV MJUKVARA	6
FIRMWARE	6
<i>Tongenerering</i>	<i>6</i>
<i>Nummerpresentation</i>	<i>6</i>
<i>USB.....</i>	<i>6</i>
SKYPE-PLUGIN	8
RESULTAT	8
REFERENSER.....	9
APPENDIX A – DTMF-SIGNALER	10
APPENDIX B – CALLER ID	11
APPENDIX C – HID REPORT DESCRIPTOR.....	12

Inledning

Skype är en mjukvara för att ringa gratis via Internet som vuxit oerhört mycket de senaste åren. För att ringa till en annan dator måste Skype-mjukvaran köras även på denne för att koppla upp ett samtal. Men det är även möjligt att fylla på sitt Skype-konto med pengar för att då göra det möjligt att ringa till det allmänna telenätet (PSTN). Nyligen har Skype gått ett steg längre och gör det även möjligt att få ett telefonnummer på det allmänna telenätet kopplat till sitt Skype-konto. På detta sätt går det att ringa från det allmänna telenätet direkt till någons Skype-klient. Det hade därför varit intressant att koppla in helt vanliga telefoner till datorn som sedan kan användas till att ta emot och göra samtal via Skype. Det här är vad detta projekt kommer att handla om.

Projektets mål är att konstruera en hårdvaruprototyp som möjliggör inkoppling av tonvalstelefoner till en vanlig PC. Den färdiga enheten skall kopplas in till datorn med hjälp av ett USB-interface (Universal Serial Bus). Tanken är att enheten skall emulera det allmänna telenätet till så hög grad som möjligt. När t.ex. ett inkommande samtal anländer till Skype-mjukvaran skall telefonerna ringa som vanligt, när luren lyfts skall samtalet kopplas, inmatningar från siffertangenter skall koppla ett samtal, ring- och upptagettoner skall fungera som på det allmänna telenätet, osv. Utöver detta skall enheten skicka så kallade *Caller ID*-signaler för att telefoner med eventuell nummerpresentation skall fungera. Den stora skillnaden mellan detta nät och det allmänna telenätet kommer dock att vara att varje inmatat telefonnummer måste avslutas med en stjärna eller fyrkant för att samtalet skall kopplas.

Kravspecifikation

Vid början av projektet formulerades följande krav som den färdiga applikationen skall uppfylla:

Hårdvarurelaterade krav

- Hårdvaran skall endast drivas med en vanlig 9V-adapter.
- Hårdvaran skall minst bestå av ett USB-interface, en textdisplay, ett Codec och ett telefoninterface där dessa är sammankopplade med hjälp av en AVR-processor.
- Telefoninterfacet skall stödja samtliga tonvalstelefoner gjorda för svenskt nätverk.
- Det skall vara möjligt att ansluta en mindre kedja av telefoner till telefoninterfacet.
- Det skall finnas stöd för att skicka *Caller ID* (CID) signaler till anslutna telefoner.
- Systemet skall ha en acceptabel brusnivå.
- Telefoninterfacet skall ha möjligheten att generera standardringsignal (25 Hz, $\sim 40V_{rms}$).
- Telefoninterfacet skall minst täcka in hela *voice band* (300-3400 Hz).

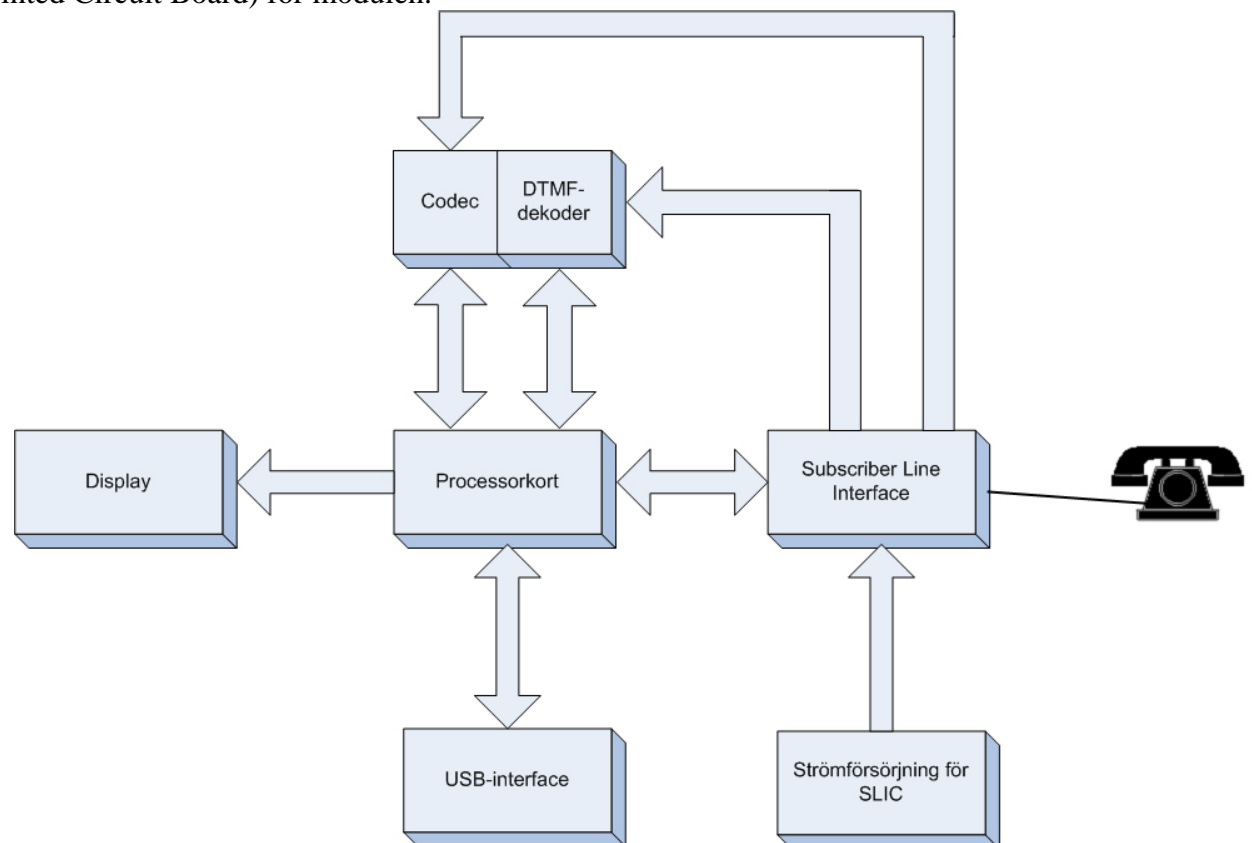
Mjukvarurelaterade krav

- Anslutna telefoner skall fungera som ett USB-ljudkort på datorn.
- Knaptryckningar på telefon skall vidarebefodras till Skype.

- Vid inkommande samtal från Skype via *Plain Old Telephone Service* (POTS) skall abonnentens telefonnummer vidarbefodras, med hjälp av *Caller ID* (CID), till anslutna telefoner.
- Det skall vara möjligt att utföra samtal både mot kontakter från användarlistan i Skype och samtal via POTS.
- Det skall vara möjligt att justera volymen från och till telefonen via mjukvara.
- Telefoninterfacet skall emulera *Public Switched Telephone Network* (PSTN) med ring-, kopplings- och upptagetton.
- Inkommande samtal skall presenteras på textdisplayen

Utveckling av hårdvara

För att underlätta utvecklingen av hårdvaran delades telefoninterfacet upp i sex olika delmoduler; processorkort, codec- och DTMF-kort, USB-interface, subscriber line interface (SLIC) och ett strömförsörjningskort för SLIC. De olika delarna kommunicerar enligt figur 1. Hårdvarans intelligens består av en ATmega16 från Atmel. Denna processor valdes då det är en enchipsdator med många I/O-pinnar, lagom med programminne och är lätt att arbeta med. Vid utvecklingen av hårdvaran användes mestadels experimentplattor för att snabbt bygga upp de olika modulerna. När en modul verkade fungera korrekt konstruerades ett PCB-kort (Printed Circuit Board) för modulen.



Figur 1 Sammankoppling av hårdvarumoduler

Då hårdvaran innefattar analog till digitalomvandling och vice versa ställdes extra krav på konstruktionen för att minimera brusförhållanden. Det var dels av denna anledning hårdvaran konstruerades på PCB-kort. På korten används separata jordbanor och spänningsförsörjningar

för analog och digital elektronik. Jordbanor sammankopplades sedan med en ferritdrossel för att filtrera bort en stor del av det brus som den digitala elektroniken åstadkommer.

Codec

För att ljudet från telefonen skall nå Skype och vice versa så måste det analoga ljudet konverteras till digitala sampels och tvärt om. Detta är precis vad ett *codec* (Coder-Decoder) gör, då den innehåller minst en A/D- och en D/A-omvandlare. I detta projekt används ett codec från National Instruments vid benämning *TP3056* vilket dessutom inkluderar ett lågpasfilter för att förhindra vikning. Kretsen kommunicerar med hjälp av ett seriellt interface som anpassats till mikroprocessorns SPI-interface. För sampling behöver kretsen en klockkälla på 2,048 MHz som måste vara synkron till det seriella interfacet. Detta har åstadkommit genom att klocka mikroprocessorn med en oscillator på 16,384 MHz som även är kopplad till codec-kretsen via en 8-divider.

Kretsen använder sig av en samplingsfrekvens av 8000 Hz vilket räcker väl till röstbandet som sträcker sig upp till ca 3800 Hz. Vidare kodas varje sampel med 8-bitars μ -law som använder sig av logaritmisk skala. Detta gör kvalitetsmässigt att 8 bitar μ -law ungefär motsvarar 12 bitar linjära sampels. Det här passar mycket väl till vår mikroprocessor där SPI-interfacet använder en sänd- och mottagningsbuffert på just 8 bitar.

DTMF-dekoder

På en tonvalstelefon skickas alla knapptryckningar genom DTMF-signaler (Dual Tone Multi-Frequency). Varje knapp består av ett unikt tonpar som sedan kan avkodas av en eventuell telefonväxel vars frekvenser kan hittas i appendix A. I detta projekt används tonerna för att skicka vidare inmatade telefonnummer till Skype. För att avlasta mikroprocessorn från att avkoda dessa tonpar i mjukvara används en DTMF-dekoderkrets. Denna är kopplad till databussen och genererar ett avbrott vid varje avkodad DTMF-signal.

Subscriber Line Interface

Ett Subscriber Line Interface benämns vanligtvis för SLIC. Huvuduppgiften för ett SLIC är att styra spänningsmatning till den balanserade linan som används för telefontät och utföra en så kallad *två-till-fyrrådskonvertering*. Spänningsmatningen till telefontät är något svåra att jobba med då exempelvis ringsignalering kräver växelspänningar på upp till 80 V_{p-p}. Detta förenklas av en SLIC då den använder en betydligt lägre matningsspänning och innehåller förstärkare som kan användas vid exempelvis ringsignalering.

Som tidigare nämnts använder telefontätet en balanserad lina, vilket innebär att både inkommande och utgående ljud för varje telefon skickas över enbart två trådar. För att kunna särskilja inkommande och utgående ljud, och på så sätt slippa eko, används en två-till-fyrrådskonvertering.

Strömförsörjning för SLIC

För att SLIC-interfacet skall fungera krävs en spänningsmatning på -24V och -72V. Detta har åstadkommit genom att används en pulsbreddmodulerad flybackkrets. Själva pulsbreddsmoduleringen sker av en integrerad krets från Intersil vid namn *ISL6401*. Den genererade signalen transformeras sedan med hjälp av en spole till de två negativa spänningarna.

Universal Serial Bus

USB gör det möjligt för externa enheter att beskriva sig själva, för att på detta sätt till hög grad slippa behovet av att skriva egna drivrutiner. Beskrivningen görs med hjälp av så kallade

descriptors som enheten sänder när den kopplas in till datorn. Med dessa talar enheten om vilken typ av kringutrustning enheten integrerar, samt hur den kommer att kommunicera med datorn. Det finns idag högintegrerade USB-kretsar som sköter descriptor-kommunikationen och annan rapportering automatiskt, men då ett av projektets syfte var att lära sig mer om USB används en krets vid benämning *PDIUSB12* från Philips med minimal integrering. Kretsens uppgift är här att isolera USB-bussen från den övriga hårdvaran, buffra inkommande och utgående paket samt utföra omsändningar vid ogiltiga paket.

Utveckling av mjukvara

Mjukvaruutvecklingen innefattade både utveckling av ett firmware för enchipsdatorn och en Skype-plugin för datorn. Den sistnämnda mjukvaran krävs endast av den anledningen att Skype ej direkt stödjer HID-enheter. Om detta implementeras i framtiden kommer inte plugin-mjukvaran längre behövas.

Firmware

Enchipsdatorns huvuduppgift är att sköta kommunikationen mellan hårdvarans olika moduler och den inkopplade datorn. Den har även till uppgift att generera de olika signaler som används i PSTN. Enchipsdatorns firmware utvecklades i programspråket C med hjälp Atmels AVR Studio. Till detta användes en JTAG ICE för att möjliggöra realtidsdebugging.

Tongenerering

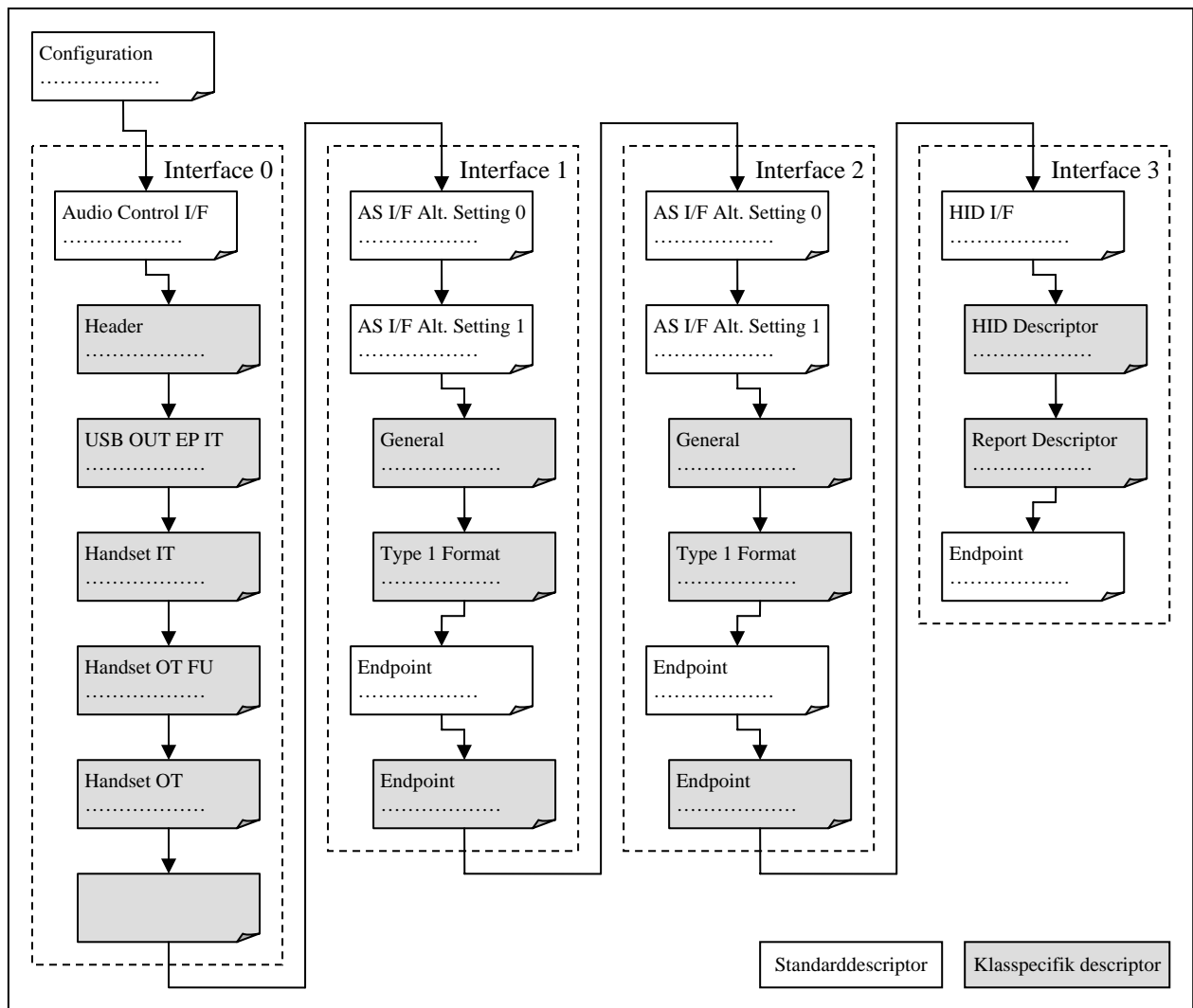
För att telefoninterfacet skall kunna emulera det vanliga PSTN-nätet krävs tongenerering. I Sveriges telenät används en sinussignal på 425 Hz¹ med olika pauslängder för att signalera nätets status för användaren. Utöver detta används en sinussignal på 25 Hz för att generera en ringsignal i telefonerna och DTMF-signaler för att sända nummerpresentation. För att göra det möjligt att generera dessa sinussignaler med låg processkostnad används en statisk sinustabell. Denna tabell innehåller 256 värden och utgår därför från frekvensen 31,25 Hz vid en samplingsfrekvens av 8000 Hz. För att generera en ton på högre frekvens hoppar man ett högre antal steg i denna tabell och vice versa.

Nummerpresentation

För att göra det möjligt att visa telefonnummer för inkommande samtal från Skype på nummerpresentatörer är *Caller ID* (CID) implementerad enligt European Telecommunication Standard (ETS) som kan hittas i appendix B. CID-genereringen som aktiveras från HID-interfacet utför först en polaritetsväxling genom enhetens SLIC. Efter 100 ms skickas det inkommande telefonnumret med hjälp av DTMF-generering med intervaller om 70 ms till SLIC-interfacet.

USB

Den största delen av mjukvaran utgörs av den delen som styr USB-interfacet. Vid inkoppling till dator skickar mjukvaran en *configuration descriptor* som kan ses i figur 2. Detta gör att enheten registrerar sig som både ett USB-ljudkort och en Human Interface Device.



Figur 2 Configuration descriptor för USB-ljudkort och Human Interface Device

USB-ljudkort

För att få ljudet att fungera i Skype implementerar telefoninterfacet ett USB-ljudkort. När alla USB-descriptors är registrerade skickas bara vanliga sampels över USB-interfacet.

Kommunikationen blir på detta sätt mycket enkel och gör det också möjligt att använda ljudet i samtliga operativsystem som stödjer USB-ljudkort.

Ljudkortet stödjer en samplingsfrekvens på 8000 Hz där varje sampel består av 16-bitars Pulse Coded Modulation (PCM). Som nämnts tidigare använder telefoninterfacet ett codec med 8-bitars μ -law. Detta betyder att varje linjär PCM-sampel måste konverteras till μ -law och tvärt om. För att detta skall gå så fort som möjligt använder mjukvaran till hög grad statistiska sifvertabeller.

Human Interface Device

Genom att implementera telefoninterfacet som en HID kan komplexiteten i mikroprocessorns mjukvara minskas markant. Genom HID kan telefoninterfacet tala om vilka styrbara enheter som finns tillgängliga för att sedan överlåta styrning av dessa till datorn. Denna styrning är dubbelriktad och sker med så kallade *reports*. Varje enskild report har ett ID-nummer och kan styra flera olika enheter vilket gör det möjligt att gruppera enheter. Vid anslutning skickas en *report descriptor* som talar om vilka bitar i varje report som hör till vilken enhet. Den report descriptor som använts i detta projekt hittas i appendix C.

Skype-plugin

Då Skype saknar direkt stöd för HID-enheter krävs en mjukvara som tolkar data från HID-enheten och skickar vidare denna information till Skype och vice versa. Denna mjukvara utvecklades i Visual C++ och använder Skype-API för att kommunicera med Skype. Då Skype sköter alla tillstånd som berör telenäten och skickar information om händelser så som inkommande samtal, Caller ID, etc, blir plugin-mjukvaran ganska okomplicerad. Dess uppgift blir i huvudsak att ändra tonläge i telefoninterfacet vid de olika händelserna, samt uppdatera informationen på displayen.

Resultat

Under projektets gång påträffades många olika typer av problem. De delar som skapade störst problem var USB-interfacet, codec-modulen samt SLIC-interfacet. Efter många timmars felsökning har dock dessa problem lösts för att få en fungerande prototyp. De krav som ställdes vid början av projektet är nu uppfyllda med undantaget att telefoninterfacet kräver en transformator på >13 V istället för 9V för att fungera korrekt. Det har varit problem med att få processorn att hinna med att leverera sampels fram och tillbaka mellan datorn då varje sampel måste koda om till μ -law och vice versa. Detta påverkar ljudkvaliteten negativt, men prototypen har dock tillräckligt god kvalitet för att föra samtal.

Det finns idag högintegrerade kretsar som inkluderar de flesta modulerna i detta projekt i en och samma krets. Detta projekt valdes dock med syftet att lära sig mer om USB, telefonnätet och problemet med att sammankoppla analog och digital elektronik utan att införa för mycket brus. Av denna anledning använder prototypen enklare kretsar som då gör konstruktionen större.

Referenser

1. 3am Systems (2006), 3am Systems – World PSTN Tone Database
Hämtat från <<http://www.3amsystems.com/wireline/tone-search.htm>>
2. T.H. Tsim (1994), Fil's FAQ-Link-In Corner: LinkIn: DTMF FAQ
Hämtat från <<http://margo.student.utwente.nl/el/phone/dtmf.htm>>
3. ETSI TC-SPS (1997), ETS 300 659-1 (2/97)
Public Switched Telephone Network (PSTN); Subscriber line protocol over the local loop
for display (and related) services; Part 1: On hook data transmission
Hämtat från <http://www.araxinfo.com/~bacvic/ets_30065901.pdf>

Appendix A – DTMF-signaler

DTMF som står för Dual Tone Multiple-Frequency är de toner som kan höras vid knapptryckning på en tonvalstelefon. Totalt består DTMF av 16 unika tonpar där fyra av dessa är mindre kända i Sverige. Varje tonpar består av en hög- och en lågfrekvent sinussignal. De olika DTMF-symbolerna kodas enligt följande tabell:

1	2	3	A	697 Hz
4	5	6	B	770 Hz
7	8	9	C	852 Hz
*	0	#	D	941 Hz
1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz	

Ur tabellen kan exempelvis utläsas att symbolen <7> kodas med en låg ton på 852 Hz tillsammans med en hög ton på 1209 Hz. De olika tonerna får maximalt avvika 1.5% från de specificerade frekvenserna och den högfrekventa signalen måste alltid vara kraftigare än den lågfrekventa.²

Appendix B – Caller ID

I Sverige skickas information som krävs för nummerpresentation (CID) med hjälp av DTMF-signaler. CID kan skickas på två olika sätt; antingen samtidigt som telefonen ringer eller före. I detta projekt används det senare då det är lättare att implementera. För att skicka ett telefonnummer utför PSTN följande steg³:

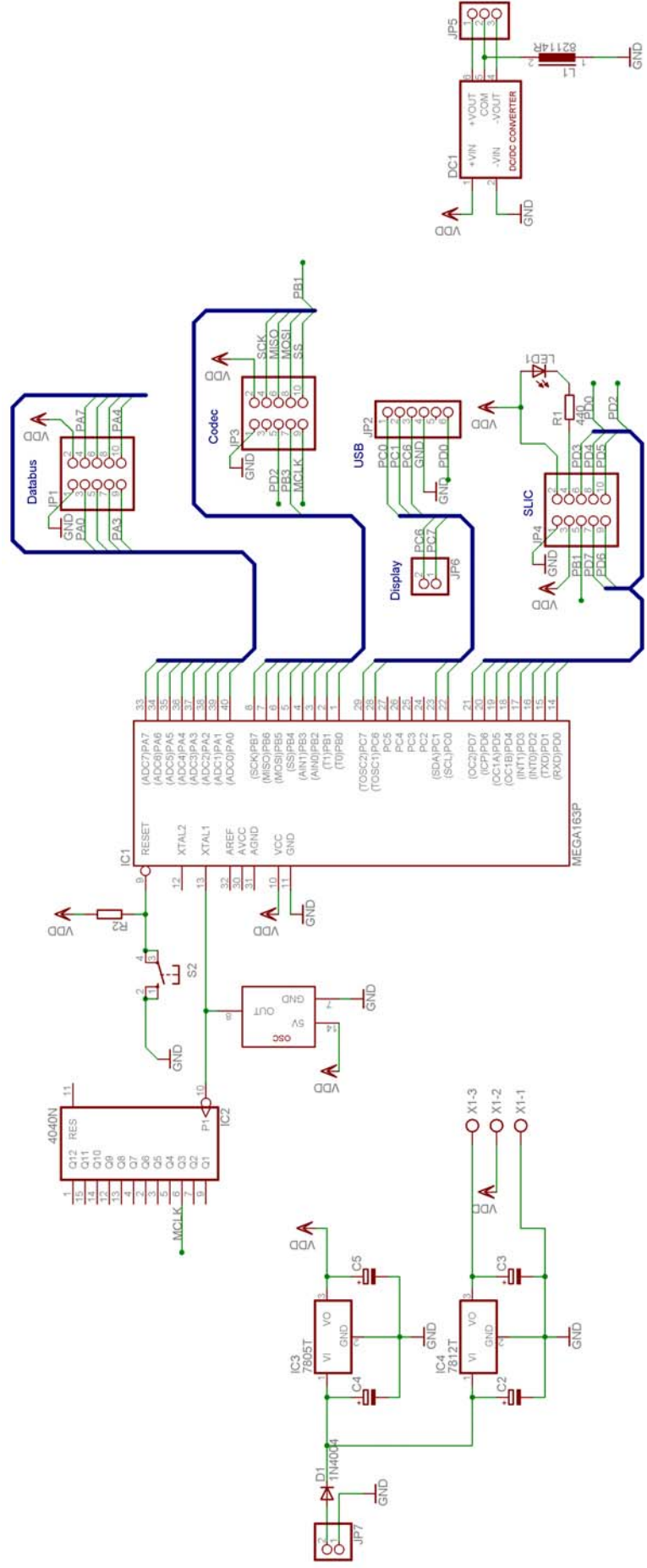
1. För att notifiera eventuellt inkopplade CID-kompatibla enheter om att en CID-överföring följer utförs en polaritetsväxling på telefonlinjen.
2. Efter minst 100 ms och max 500 ms startas DTMF-signaleringen av det aktuella telefonnumret.
3. 200-500 ms efter att den sista DTMF-signalen överförts aktiveras ringsignalsgenerering.

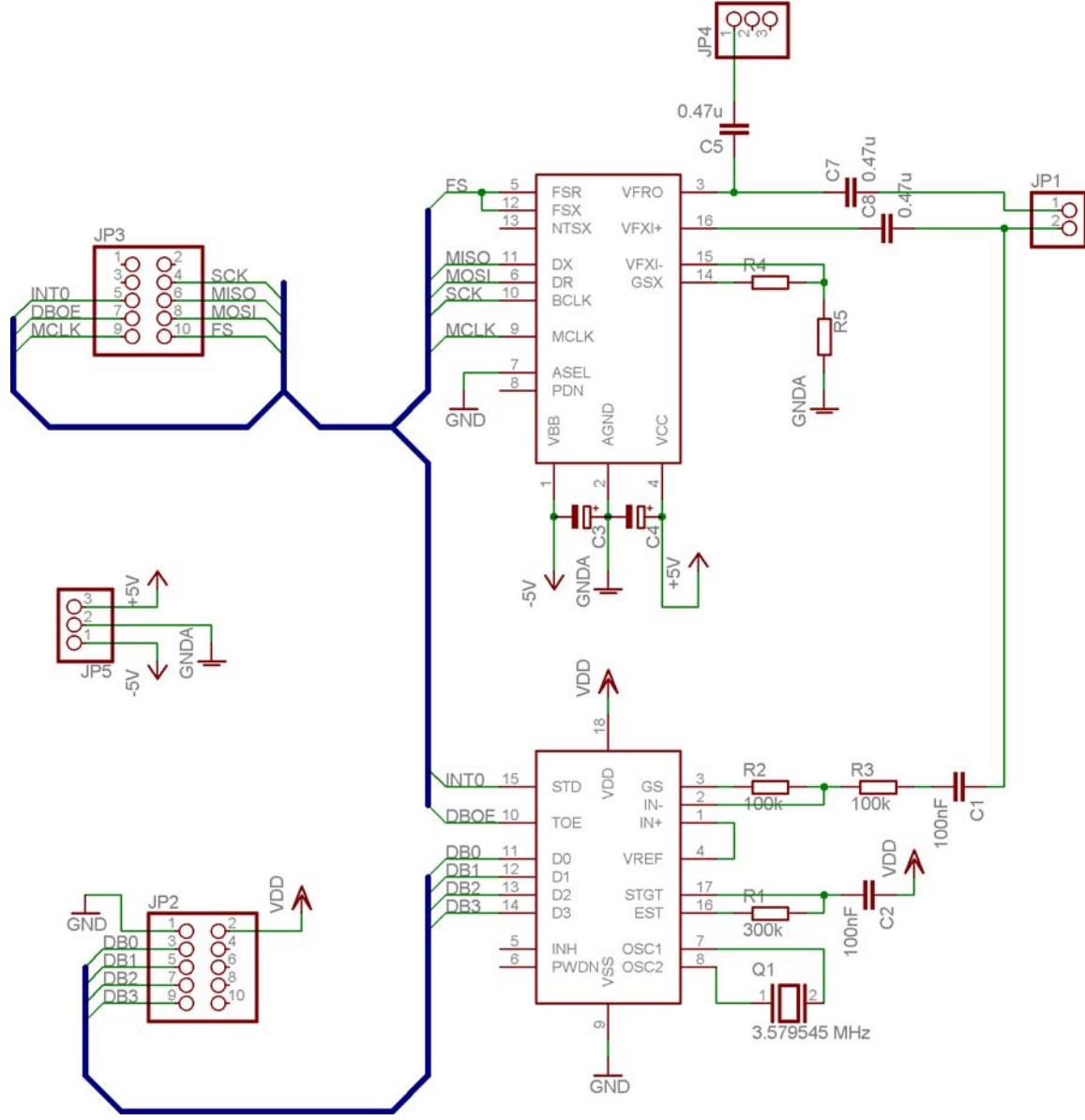
DTMF-signaleringen av det aktuella telefonnumret skickas med en ton- och pausintervall på 70 ± 5 ms. För att synkronisera CID-enheter för mottagning av telefonnummer används en start och stoppsymbol. Start- och stoppsymbolen representeras av DTMF-signalen <A> respektive <C>. Ett typiskt CID-meddelande ser därför ut på följande vis:

<A><S₁>...<S_n><C>, där <S₁>...<S_n> är siffror 0-9.

Appendix C – HID Report Descriptor

Post	Hex
REPORT_COUNT (1)	95 01
USAGE_PAGE (Telephony Devices)	05 0B
USAGE (Phone)	09 01
COLLECTION (Application)	A1 01
REPORT_ID (1)	85 01
USAGE_PAGE (Telephony Devices)	05 0B
USAGE (Telephony Key Pad)	09 06
COLLECTION (Logical)	A1 02
USAGE_PAGE (Button)	05 09
USAGE_MINIMUM (Button 1)	19 01
USAGE_MAXIMUM (Button 12)	29 0C
LOGICAL_MINIMUM (1)	15 01
LOGICAL_MAXIMUM (12)	25 0C
REPORT_SIZE (4)	75 04
INPUT (Data,Var,Abs)	81 02
END_COLLECTION	C0
USAGE_PAGE (Telephony Devices)	05 0B
USAGE (Hook Switch)	09 20
USAGE (Caller ID)	09 30
LOGICAL_MINIMUM (0)	15 00
LOGICAL_MAXIMUM (1)	25 01
REPORT_SIZE (2)	75 02
INPUT (Data,Ary,Abs)	81 00
REPORT_SIZE (2)	75 02
INPUT (Cnst,Var,Abs)	81 03
USAGE_PAGE (Telephony Devices)	05 0B
USAGE (Tones Off)	09 9C
USAGE (Caller ID)	09 30
USAGE (Ring Enable)	09 2D
USAGE (Inside Dial Tone)	09 90
USAGE (Inside Ring Tone)	09 92
USAGE (Line Busy Tone)	09 97
LOGICAL_MAXIMUM (6)	25 06
LOGICAL_MINIMUM (1)	15 01
REPORT_SIZE (3)	75 03
OUTPUT (Data,Var,Abs)	91 02
REPORT_SIZE (5)	75 05
OUTPUT (Cnst,Var,Abs)	91 03
USAGE_PAGE (Telephony Devices)	05 0B
USAGE (Hook Switch)	09 20
REPORT_COUNT (1)	95 01
LOGICAL_MAXIMUM (1)	25 01
LOGICAL_MINIMUM (0)	15 00
REPORT_SIZE (1)	75 01
FEATURE (Data,Var,Abs)	B1 02
REPORT_SIZE (7)	75 07
FEATURE (Cnst,Var,Abs)	B1 03
REPORT_ID (2)	85 02
USAGE_PAGE (Alphanumeric Display)	05 14
USAGE (Row)	09 33
LOGICAL_MINIMUM (0)	15 00
LOGICAL_MAXIMUM (1)	25 01
REPORT_SIZE (1)	75 01
OUTPUT (Data,Var,Abs)	91 02
REPORT_SIZE (7)	75 07
OUTPUT (Cnst,Var,Abs)	91 03
USAGE (Display Data)	09 2C
REPORT_SIZE (8)	75 08
REPORT_COUNT (16)	95 10
OUTPUT (Data,Ary,Abs)	91 00
USAGE_PAGE (Generic Desktop)	06 01 00
USAGE (Vendor Usage 1)	09 01
REPORT_ID (3)	85 03
REPORT_SIZE (8)	75 08
REPORT_COUNT (16)	95 10
OUTPUT (Data,Ary,Abs)	91 00
END_COLLECTION	C0

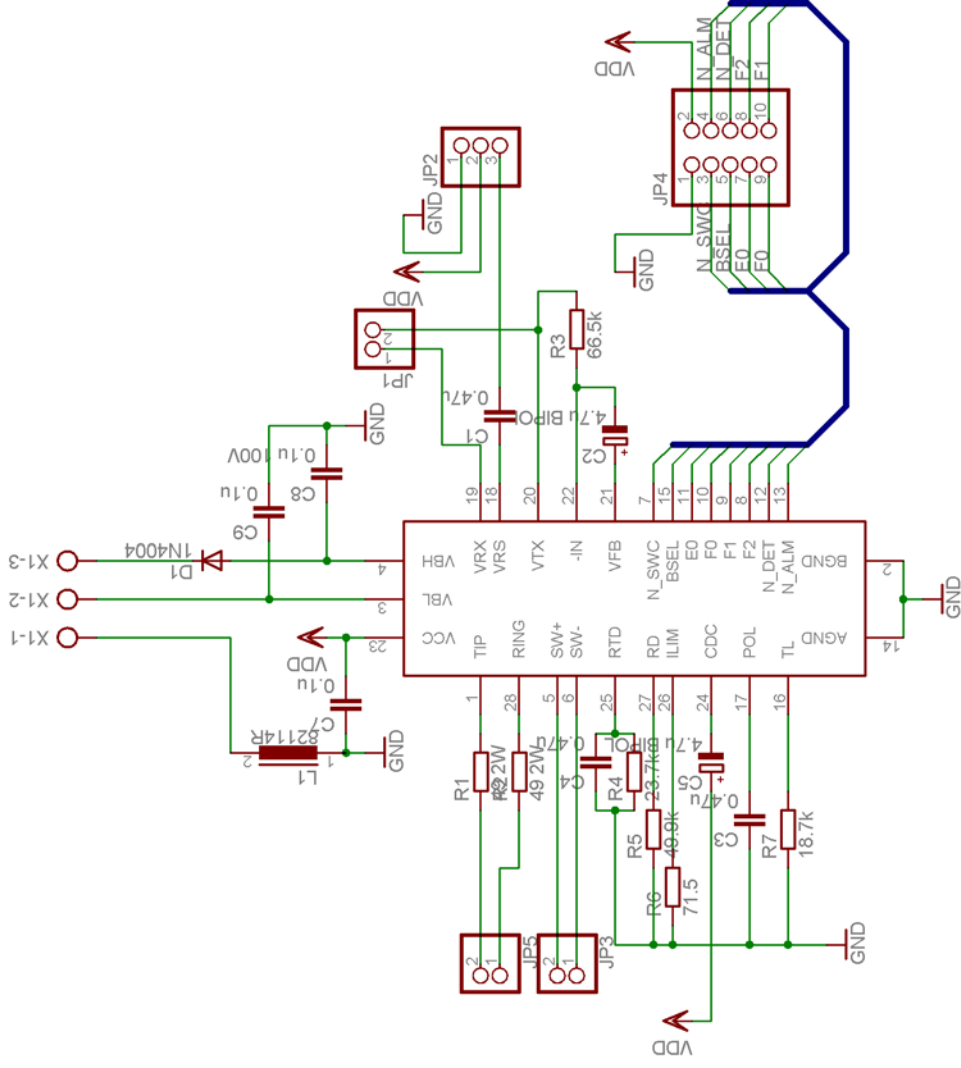




Version 2.0 06-05-18

Codec and DTMF board

Analogue/digital conversion and DTMF decode



Version 1.1 06-05-04

SLIC board

Subscriber Line Interface card

