

Kapitel 3 Jordning

Inledning

Vad menar man med "jord"

Begreppet JORD används i elektronikbranschen slarvigt för att beteckna flera olika saker som ofta, men inte alltid, är just "jord".

Några exempel:

Apparatens interna matningsnolla (= retur för matningen)

Anslutning av en kabelskärm

Apparatens hölje

Skyddsjord i nätuttaget

Ett spett som är nedslaget i marken

Ett vattenrör

Oftast går dessa olika förbindelser i en konstruktion förr eller senare till en verklig jord men det är inte alltid fallet. Och i varje fall går dom inte *direkt* till jord utan deras potential kan vara påverkad av en mängd störande källor i omgivningen.

Det som man som konstruktör använder som elektrisk referenspunkt, och kallar jord, borde alltså ha ett bättre namn:

Referenspotential

Nolla

Potential yta

Apparatjord

Nollreferens

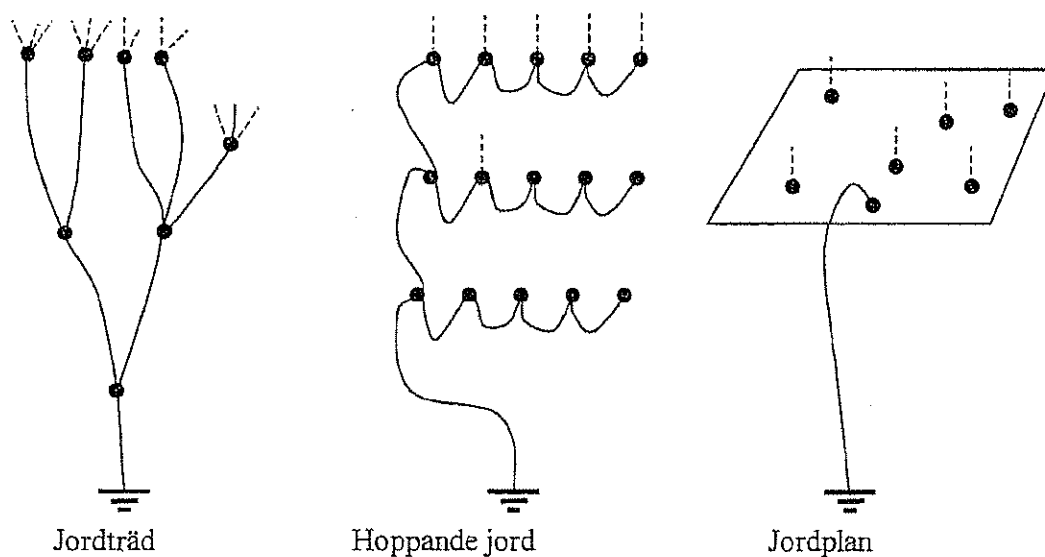
Det vanligaste i svenskt språkbruk är dock att använda *jord* som en samlande beteckning för alla dessa förbindelser som oftast, i slutändan, är jordrefererade. På samma oprecisa sätt används *ground* i engelskspråkiga sammanhang.

I den här kursen menar vi med *jordning* ett systematiskt sätt att skapa väl kända referenspotentialer för de olika delarna av en utrustning. Till dessa referenspotentialer kommer vi senare att ansluta olika skydd, skärmande barriärer och isolerande komponenter.

Syftet med jordsystemet är att alla underenheter som har någon förbindelse med varandra skall ha en så långt möjligt lika potential. Strömmar skall flyta vertikalt i jordstrukturen men inte horisontellt. Det man eftersträvar är att alla samverkande, ihopkopplade delar av utrustningen skall finna sig på samma spänningsnivå. Ibland används begreppet *ekvipotentialyta* för en sådan nivå, något slarvigt eftersom det egentligen betecknar punkter med samma potential i ett elektriskt fält.

Jordträd, hoppande jord, jordplan

Ett jordsystem till elektroniska apparater kan byggas upp på i huvudsak tre olika sätt:



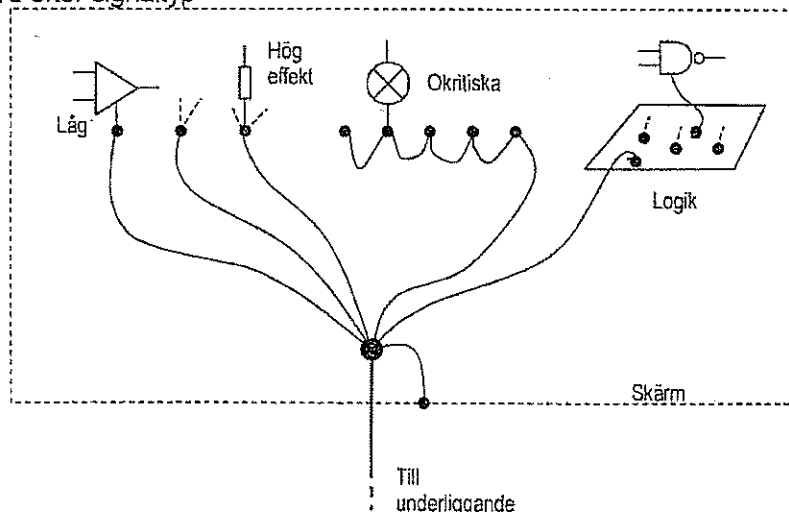
Figur 3-1 Jordträd, hoppande jord respektive jordplan

I en trädformig jordstruktur grenar jorden ut sig så att varje underenhet vilar på jord i enheten närmast under i trädet. Denna struktur minimerar den konduktiva kopplingen mellan skilda grenar i trädet. Trädformig jord används alltid när man har stora noggrannhetskrav eller när man behöver väl kända referenspotentialer.

I ett system med hoppande jord är den konduktiva kopplingen mellan underenheterna stor. En störande ström från en enhet i systemet ger ett spänningsfall som drabbar många andra enheter i systemet. Hoppande jord används i okritiska tillämpningar som till exempel matning till reläer.

I ett system med jordplan är varje underenhet (eller komponent) jordad kortaste vägen till ett metallplan. Ett jordplan har lägst impedans för höga frekvenser av de tre jordmodellerna. Det används därför i digitala konstruktioner samt i sändare och mottagare. Oftast är jordplanet inte större än det mönsterkort som enheten är uppbyggt på.

Uppdelning av jord efter signaltyp



Figur 3-2 Uppdelning av jord efter signaltyp

Att dela upp jord efter signaltyp är en vanlig metod. I figuren har till exempel känsliga lågnivåkretsar

fått en egen jordledning till den gemensamma referenspunkten. Likaså ligger några kretsar som förbrukar hög effekt på en egen ledning. Det är inte nödvändigt att alla delar av en utrustning har samma jordstruktur. I figuren har några okritiska förbrukare fått en hoppande jord under det att en digital underenhet (ett kretskort) har ett jordplan.

Observera också att den gemensamma skärm som skyddar alla underenheterna från yttre störfält är ansluten till den gemensamma jordpunkten. En kapacitivt kopplad störström leds till jord utan att passera den interna jordstrukturen.

Utgående jordledare går till en underliggande nivå i det hierarkiska jordsystemet. Ju längre nedåt man går i jordstrukturen, desto större blir de enheter som kopplas ihop, till exempel "stativ", "anläggning" och så vidare. På dessa nivåer är det självfallet mycket ovanligt med jordplan, som skulle bli tunga, dyra och ohanterliga. Någon gång kan hoppande jord förekomma. Men det vanligaste här är en trädformigt uppbyggd jord.

Val av jordsystem efter signaltyp

Det allmänna valet av jordsystem för en konstruktion beror på vilken signaltyp som är "i majoritet" i apparaten i fråga.

Antag att en apparat är till 99% digital och att den skall realiseras i ett kommersiellt tillgängligt kortsystem. Man väljer VME-bus. I apparaten finns några känsliga analoga mätkretsar som man bygger upp på ett egenutvecklat kort i VME-format.

VME-standarden är baserad på jordplan, både vad gäller instickskorten och när det gäller bakplanet som ju strängt taget är ett jordplan för matningarna men har "hoppande anslutningar" för övriga signaler.

Det är då en effektiv lösning att behålla grundstrukturen för de digitala signalerna. Men man får spränga in en trädformig jord för de analoga signalerna så att alla kretsar har tillgång till en analog referenspunkt. Detta kan göras via VME-bussens P2-don som innehåller lediga kontakter. Som referenspunkt för de analoga signalerna väljer man exempelvis den punkt på bakplanet där matningsnollan kommer in. Denna punkt skall då vara den enda förbindelsen mellan de analoga och digitala jordsystemen.

När är god jord viktig?

Kraven på "jord" varierar mycket beroende på typen av signal som jorden skall vara referenspotential till. Varje signaltyp har sin störmarginal som inte får överskridas.

Några exempel:

Tabell 3-1 Störmarginal versus Signaltyp

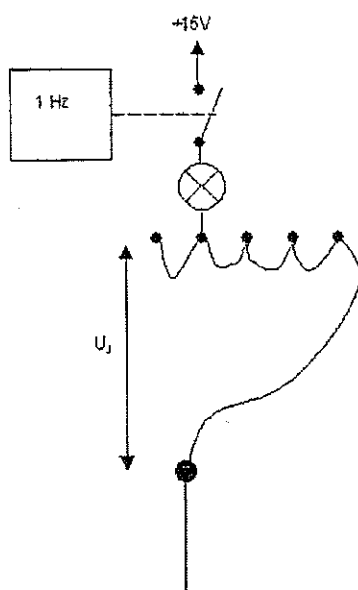
Signaltyp:	Signal område:	Störmarginal:	Dynamik:	Upplösning bitar:	Typ av jord:
Audio (studio)	$\pm 1\text{V}$	$\pm 1\mu\text{V}$	120dB	20	Träd
Noggrann mätsignal	$\pm 10\text{V}$	$\pm 0,15\text{mV}$	96dB	16	Träd
Enkel mätsignal	$\pm 5\text{V}$	$\pm 20\text{mV}$	48 dB	8	Träd eller plan
Digital signal (74HC)	5V	2V	8dB	1 – 2	Plan

Om jordstrukturen inte uppfyller signalens krav måste man gå över till någon form av tvåpolig förbindelse till exempel med en linjedrivare som matar en tvinnad, skärmad parledning. I mottagande ände av förbindelsen finns en linjemottagare med någon form av isolation, och med tillräcklig längsspänningsundertryckning.

I analoga system med hög noggrannhet är trädformiga jordsystem allenarådande. Kravet på exakta referenspotentialer får här gå före kravet på bra jord för höga frekvenser.

I ett digitalt system, däremot, är kravet på bra jord för transienta signaler överordnat kravet på spänningsnivåerna.

Längsspänningar i en hoppande jord



Figur 3-3 Längsspänningar i en hoppande jord

Ett exempel:

Antag att en hoppande jord är kopplad med 30cm tråd med arean $0,25 \text{ mm}^2$. En av belastningarna utgörs av en glödlampa som drar 2A och blinkar med 1Hz. Vilken längsspänning upplever den underenhet som sitter till vänster om lampan i schemat på grund av den varierande lasten?

Svar:

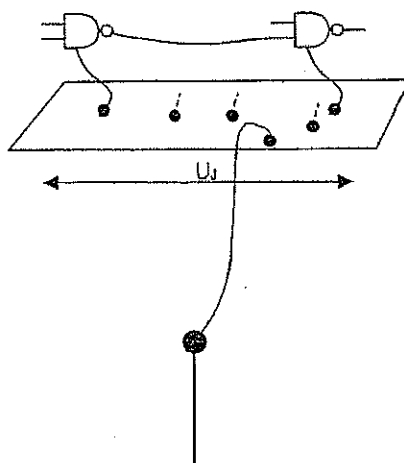
Resistansen i $\text{m}\Omega$ är $R = \rho \cdot \ell / A = 17,2 \cdot 0,3 / 0,25 = 20,6 \text{ m}\Omega$.

Längsspänningen U_j blir alltså $\approx 20 \text{ m}\Omega$ gånger $2\text{A} = 40\text{mV}$, eller mera formellt

$$U_j \approx 20 \times 10^{-3} \times 2 = 40 \times 10^{-3} = 40 [\text{mV}].$$

Längsspänningar i jordplan

Exempel:



Figur 3-4 Längsspänningar i jordplan

I ett jordplan med digitala signaler kan längsspänningarna bli ganska stora, sett ur ett analogt perspektiv. Dessa spänningar stör dock inte de digitala kretsarna.

Ett jordplan med CMOS-logik (som till exempel HCMOS) stör generellt sett mindre och har lägre längsspänningar än ett jordplan med bipolär logik (ex FAST). Detta beror dels på att den bipolära logiken generellt är lågohmigare (har större drivförmåga) och dels på den strömspik som flyter genom utgångssteget vid logiskt omslag. Denna strömtransient kan för vissa familjer uppgå till 100mA per grind. Transienten är mycket kortvarig, någon ns, och stör kanske inte analoga kretsar direkt. Den kan dock excitera resonanser i jordplanet av lägre frekvens. I värsta fall kan dessa transienter störa även de digitala kretsarna.

Mönsterkort

Jord på kortnivå

Det är alltså tillåtet att ha flera olika jordsystem samtidigt, om man bara kan motivera sina val ordentligt. Detta gäller också på kortnivå där man till exempel kan ha en trädformad analog jord inlagd tillsammans med digitala jordplan och matningsplan.

Ett speciellt problem uppstår vid AD-omvandlarkretsar som ofta kräver att analog och digital jord är sammankopplade alldeles intill kretsen. Detta skulle i så fall sätta den trädformiga jordstrukturen ur spel och skapa en jordslinga.

En lösning här kan vara att koppla ihop de två jordsystemen alldeles intill kretsen med en 1μF keramisk kondensator. Då uppfylls kravet på sammankoppling åtminstone vid höga frekvenser.

Är detta en olämplig lösning måste antingen den analoga eller den digitala sidan av AD-kretsen isoleras. Den analoga sidan kan isoleras med differentiella linjemottagare som själva vilar på den digitala jorden. Den digitala sidan kan isoleras med optokopplare eller baluner. AD-kretsen blir i detta fall refererad till det analoga jordsystemet.

Ytterligare ett sätt att separera jordsystem på ett kort är att utnyttja kortets lager, till exempel på detta sätt:

+5V-lager
Digitalt lager 1
Digitalt lager 2
Digital jord
Analog jord
Analogt signallager 1
Analogt signallager 2
+15V-lager

Figur 3-5 Lager på ett mönsterkort

På detta sätt är både analoga och digitala signaler skärmade och skilda åt genom jord- och matningslagren. I avsnittet som handlar om topologi kommer vi att ta upp mer om zonindelning på kretskort.

Apparatnivå

Jordslingor och vagabonderande strömmar

I ett jordsystem med trädformig jord, hoppande jord eller jordplan förekommer inga jordslingor såvida inte ett fel gör att olika grenar i jordsystemet sammankopplats.

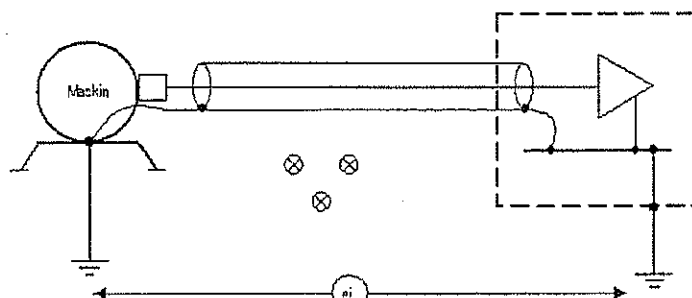
Detta kan ibland ske oavsiktligt via metalldelar, apparatstommar och kåpor. Kontakten är i detta fall oftast intermittent, ibland flyter ström genom metalldelarna och ibland inte. Man talar då om *vagabonderande strömmar*. Detsamma gäller stora metallobjekt som till exempel byggnader och industriella anläggningar där de ingående metalldelarna inte har så bra kontakt med varandra. Oxid i skarvarna, målade delar där färgen delvis är bortnött och inträngande fukt gör att strömmarna ständigt väljer olika vägar genom strukturen.

Vagabonderande strömmar alstrar alltid störningar och man skall naturligtvis aldrig använda en sådan strömbana som ledare och särskilt inte som jordledare. En konsekvens av detta är att apparatstommar och racksystem inte skall användas som ledare. De skall ha kontakt med jordsystemet *endast i en punkt*.

Man säger ofta att jordslingor är farliga ur störningssynpunkt. Man menar då *oavsiktliga* jordslingor av den typ som just beskrivits. *Avsiktliga* jordslingor kan till exempel uppstå när man kopplar samman maskiner och byggnadsdelar i potentialutjämningsyfte. Sådan potentialutjämnning skall alltid ske *horisontellt* i jordsystemet, alltså mellan delar på samma nivå i jordstrukturen. Resultatet blir något som påminner om ett jordplan. Avsiktliga jordslingor är ofarliga ur störningssynpunkt förutsatt att den elektriska kontakten i slingan är god.

En annan typ av störande jordslinga uppstår när man ansluter båda ändarna av en signalkabel till jord och de två utrustningar som sammankopplas inte är på samma potential. Stora strömmar kan då flyta genom den ledare eller skärm som utgör jordförbindelse.

Varnande exempel:



Figur 3-6 Jordslinga

I industriell miljö är längsspänningarna stora, 1V till 10V är inte ovanligt. Jordledningarna är grova och har låg impedans. Strömmar på 10A till 100A har uppmätts i dubbeljordade signalkablage. Följande problem uppstår:

Ett kraftigt magnetfält stör signaler i omgivningen.

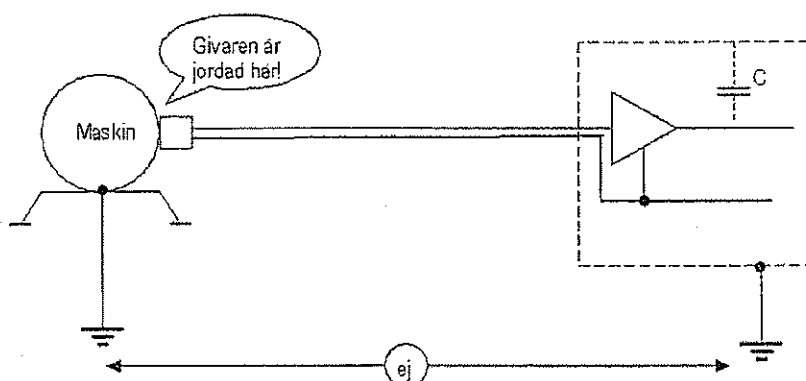
Skärmströmmen ger en störning på nyttsignalen i kabeln genom skärmens kopplingsimpedans.

Brandrisk

Jordning i apparat

Som vi tidigare har konstaterat skall nollan i en apparat alltid vara ansluten till den skärm som omger kretsarna. Vi skall här titta närmare på detta axiom och också se på vilka undantag som finns från regeln.

Tänk dig en apparat med elektroniskt innehåll som är ansluten till en givare på en maskin en bit bort:



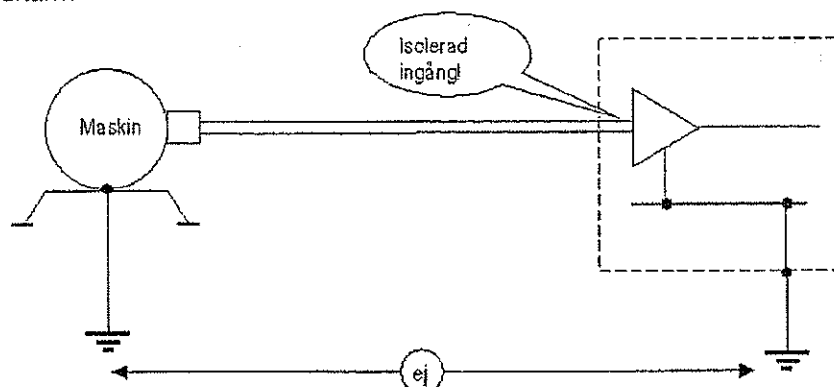
Figur 3-7 Jordning i en apparat

Apparatens skärmande hölje är anslutet till skyddsjord medan maskinen som man mäter på är jordad till byggnadens metalldelar och armeringsjärn. Mellan jordarna finns en längsspänning e_j . Denna längsspänning kommer också att finnas mellan skärmen och kretsarna. Skärmen kommer då att koppla in störningen till känsliga signalledare genom strökapacitansen C .

Skärmen skyddar visserligen kretsarna från yttre E-fält men den kopplar samtidigt in längsspännings-störningen. Skärmen gör då kanske mer skada än nytta.

Det finns två sätt att lösa problemet:
 Koppla ihop skärm och nolla och isolera signalsnittet
 Extra inre skärm, dubbelskärmning

Nolla jordad till skärm

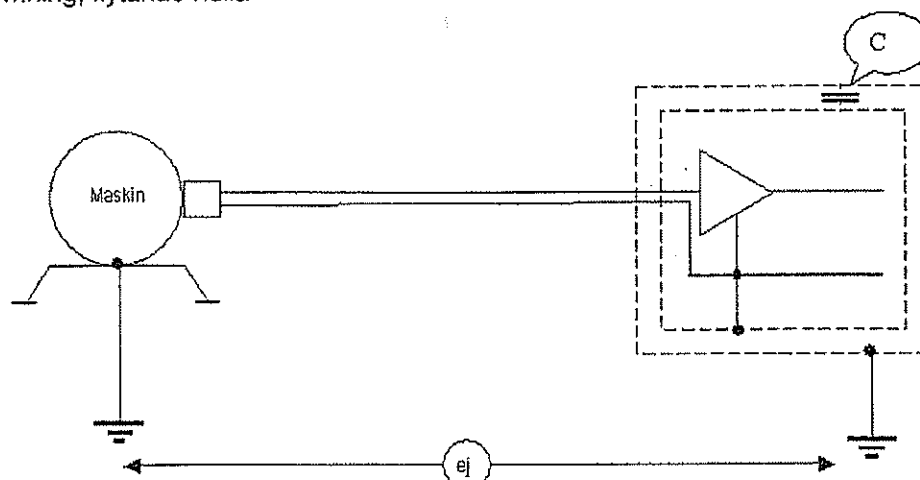


Figur 3-8 Nolla jordad till skärm

Här är nollan i apparaten jordad till skärmen. Det finns ingen spänning mellan dem och alltså kan läckkapacitansen inte längre koppla in någon störning. Detta är det riktiga sättet att ansluta en apparatskärm.

Längsspänningen e_j tas här om hand av ett isolerat signalsnitt i form av en differentiell förstärkaringång. Ingångens CMRR avgör hur mycket störning som plockas upp.

Dubbelskärmning, flytande nolla

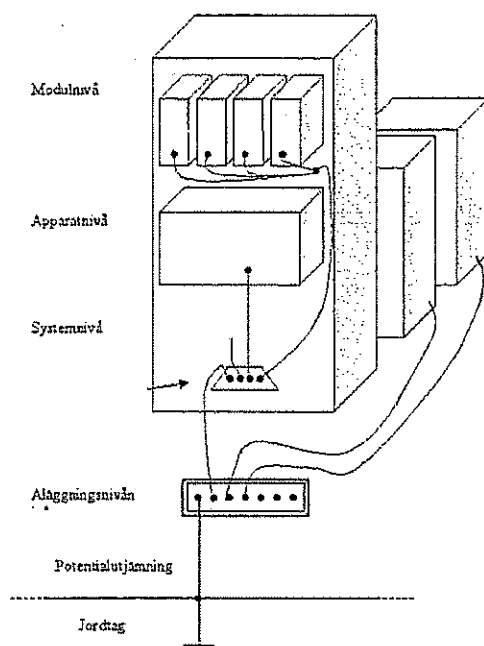


Figur 3-9 Flytande nolla

I ett dubbelskärmat system kommer längsspänningen att ligga mellan skärmarna och en viss ström kommer att flyta genom kapacitansen C . Denna ström flyter genom en av signalledarna. Den inre skärmen kan eventuellt bestå av de yttre lagren i ett kretskort. För att ett dubbelskärmat system skall fungera bra skall skärmkapacitansen C vara så låg som möjligt.

Större system

Nivåer i en större utrustning



Figur 3-10 Jordning av större system

Fördelar med trädformig jord

Ett konsekvent genomfört trädformigt jordsystem har följande fördelar:

Det finns en definierad jordpunkt på varje nivå och i varje modul. Man kan mäta upp spänningar relativt jord på ett väldefinierat sätt.

Till denna jordpunkt kan man ansluta de skärmar, filter och andra skydd som hör till nivån.

Varje gren i trädet kan dimensioneras efter behov.

Låg och uppmätbar störnivå i trädet.

Låg kostnad

Utgör grunden för topologisk konstruktion.

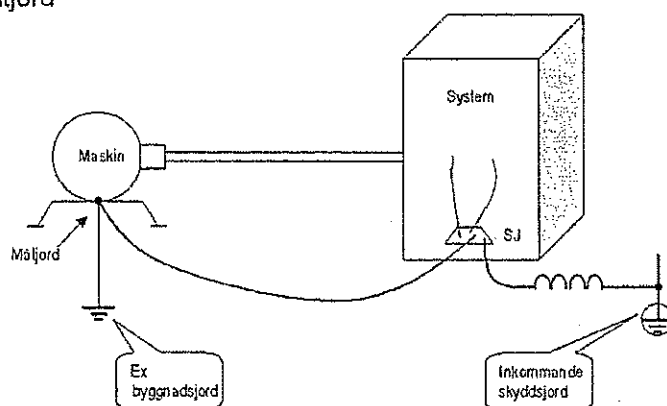
Det finns också några nackdelar:

Tar inte hand om snabba transienter särskilt bra

Resonanser och ringningar kan uppstå vid pulsexcitiering.

Jordträdet måste alltså kompletteras med andra åtgärder för att ta hand om höga frekvenser.

Annan jordpunkt än nätjord

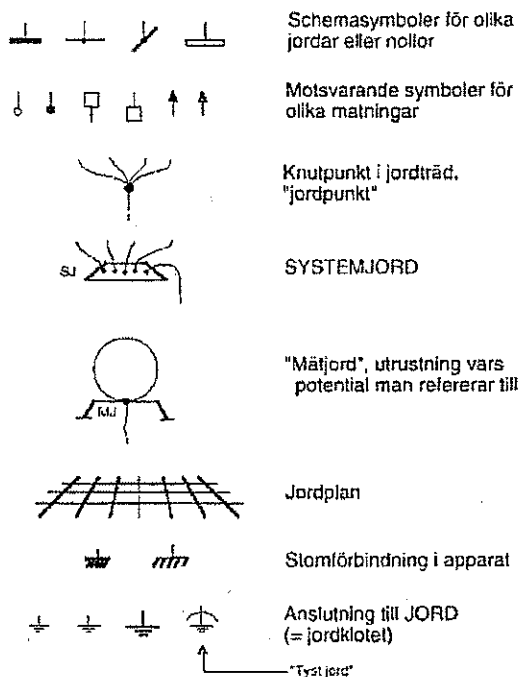


Figur 3-11 Annan jordpunkt än nätjord

I detta fall har man valt att jorda ett styrsystem till den maskin som skall styras för att minska längsspänningarna. Anslutningen till skyddsjord måste givetvis finnas kvar av säkerhetsskäl men man kan bryta bort den högfrekvensmässigt genom en serieinduktans, så kallad *jorddrossel*. Sådana jorddrosslar finns i godkänt utförande för användning i skyddsjordskretsar.

En jordpunkt på ett mätobjekt eller en maskin brukar kallas *mätjord*. Symbolen ovan är vanlig och kan tänkas föreställa en rörledning med stativ.

Jordsymboler



Figur 3-12 Jordsymboler

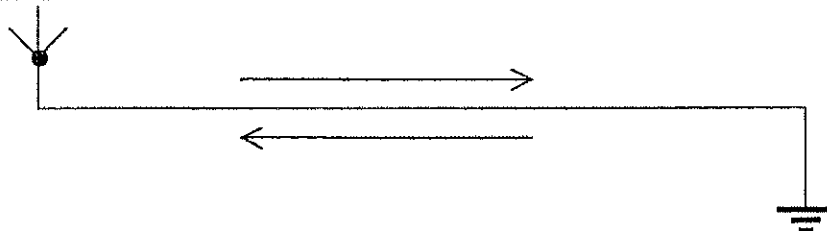
Av dessa symboler är de tre nedersta raderna standardiserade. Övriga är allmänt använda.

Schemasymbolerna på översta raden säger inget om jordstrukturen.

Pulsrespons hos ett jordträd

Ledarna i ett jordträd har (liksom alla ledare) en längsinduktans av ungefär $1\mu\text{H/m}$. Ledningens impedans ökar därför med frekvensen. Även den resistiva delen av impedansen ökar med frekvensen på grund av att inträngningsdjupet δ minskar.

För snabba pulser har jordträdet också en *löptid*. Det är den tid det tar för en puls att färdas längs jordledaren tills den reflekteras mot en lågimpediv jordmassa, och tillbaka igen. Först när pulsen kommer tillbaka "vet" kretsen att ledaren faktiskt är en jordledare.



Figur 3-13 Pulsrespons

Löptiden är givetvis $\approx$ ljushastigheten. *Exempel:* En 30m lång jordledare har löptiden

$$\tau = \frac{2l}{c} = \frac{2 \cdot 30}{3 \cdot 10^8} = 0,2 [\mu s]$$

Detta är en viktig parameter för jordträdets eftersom den talar om hur långa störpulser man kan förvänta sig. För digitala signaler i det exemplifierade jordträdets är ett ingångsfilter med en tidskonstant i storleksordningen 1 – 2 μs tillräckligt.

Mätning i jordträd

Att mäta störningar innebär en del speciella problem. Särskilt om det redan inträffat fel som man misstänker är störningsrelaterade, då kan det ju hända att störningen är så kraftig att den stör även ditt mätinstrument (till exempel ett oscilloskop).

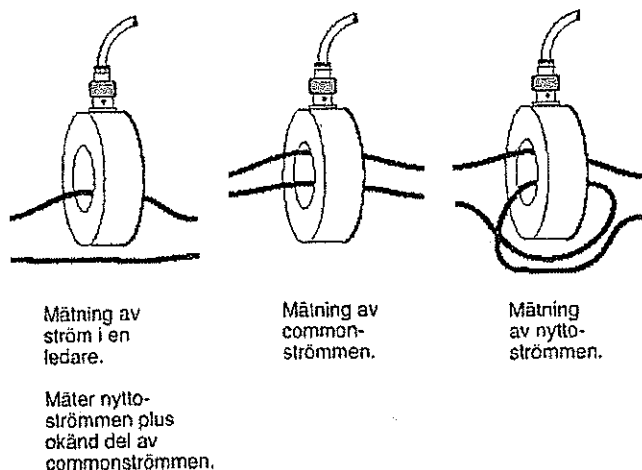
Många störningar i verkliga system är långspänningsstörningar. Det innebär en extra svårighet om man vill mäta med ett instrument som kräver galvanisk kontakt, som t ex skopet. Då kommer skopet också att känna av långspänningarna och eventuellt visa en felaktig bild av förloppet.

Därför är det bättre att mäta *jordskilt*, det vill säga utan galvanisk kontakt. Det kan man göra med bland annat en strömtransformator, en strömprob eller en ramantenn. Särskilt viktig är då strömtransformatorn, när det gäller frekvenser under 10 MHz.

En bra strömtransformator har en känd känslighet och ett stort frekvensomfång. Som exempel kan nämnas fabr. *Pearson*, modell 411, som har följande huvuddata:

Känslighet: 0,1 V/A $\pm 1\%$
 Frekvensområde: 1 Hz till 30 MHz vid -3dB
 Insättningsimpedans: $< 0,1 \text{ m}\Omega$
 Anslutning: BNC

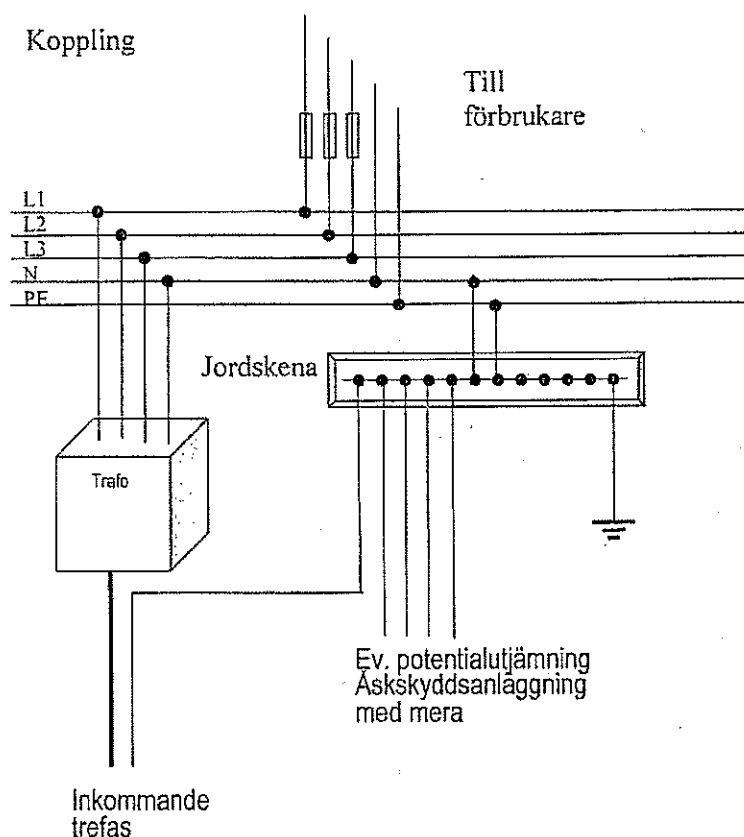
Strömtransformatorn kan kopplas på olika sätt för att mäta olika saker:



Figur 3-14 Mätning i jordträd

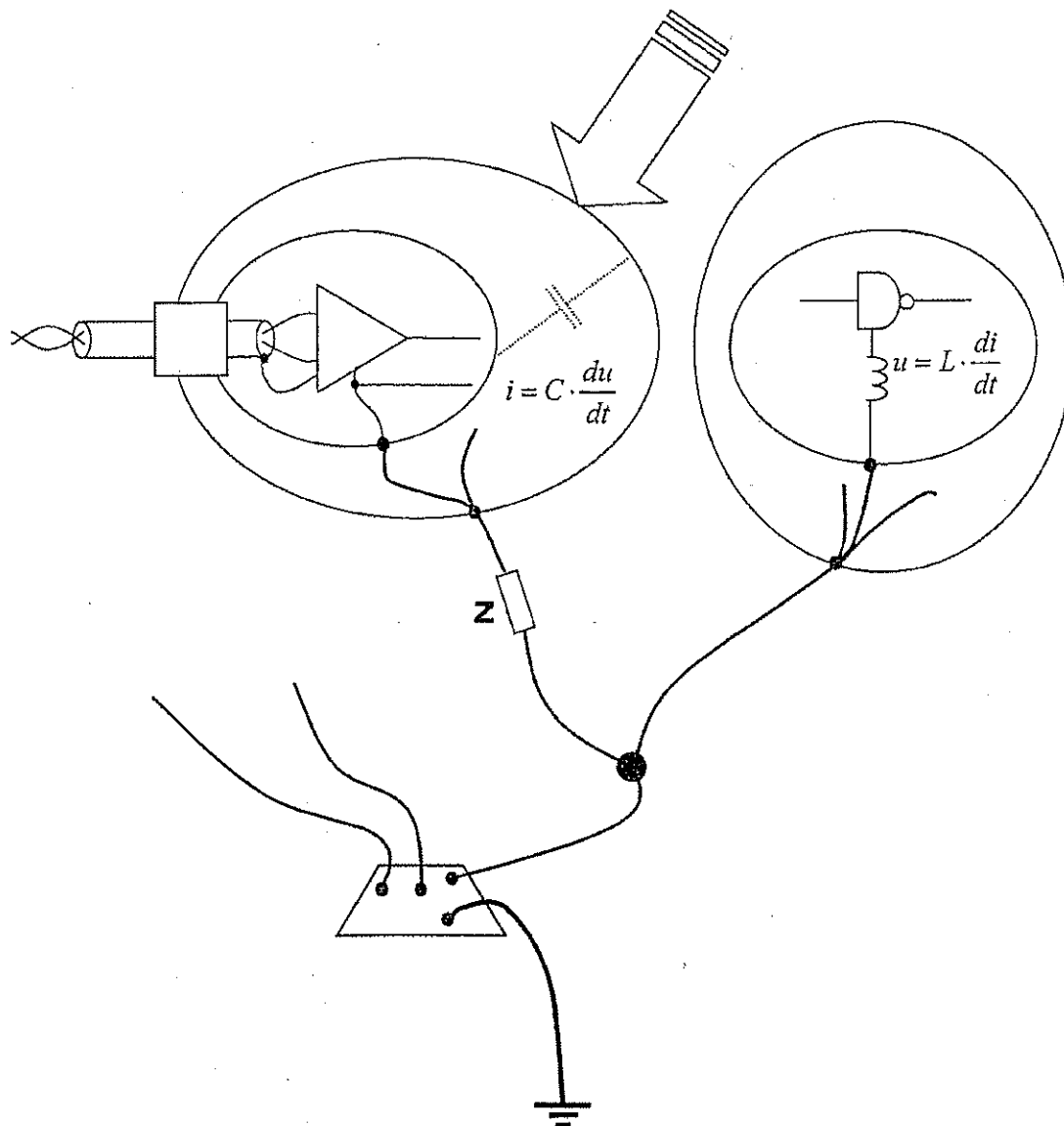
Femledarsystemet

Femledarsystem brukar man kalla ett distributionsnät för 230/400V 50Hz där man skiljer på nolla och skyddsjord. Antalet ledare i ett sådant nät är fem, dvs. tre faser + nolla + skyddsjord. I en installation som är utförd enligt femledarsystemet är nolla och skyddsjord bara hopkopplade i en punkt i byggnadens jordningsskena. Femledarsystemet leder till lägre nätstörningar eftersom förbrukningsströmmarna (som flyter i retur i nollan) inte blandas med skyddsjord som har en skärmande funktion (apparathöljen mm är kopplade till skyddsjord). Man brukar ange 10 å 20 dB lägre störnivå jämfört med ett fyrledarsystem. Fördelarna med femledarsystemet blir större för varje år eftersom andelen switchande förbrukare ökar hela tiden.



Figur 3-15 Femledarsystem

Att kombinera jordsystemet med skydd och isolation: Topologi!



Figur 3-16 Ett kombinerad jordsystem