



**Smartare
Elektroniksystem**

ELECTRONIC COMPONENTS & SYSTEMS

2.0

Smartare Elektronik- handboken

– med fokus på dialogen som rör tillverkningsunderlag

Förord

Smartare Elektroniksystem är ett strategiskt innovationsprogram inom ramen för Vinnova, Formas och Energimyndighetens gemensamma satsning på Strategiska innovationsområden. Programmets mål är att stödja den svenska industrin för hållbar utveckling och konkurrenskraft i världsklass. Under arbetet med framtagning av agendan för programmet lyfttes tre huvudutmaningar fram som de viktigaste för att klara framtidens krav. Dessa var spetskompetens, kompetensförsörjning och en effektiv värdekedja. För varje utmaning tillsattes ett råd, och det är i Värdekedjarådet som arbetet med denna handbok har initierats.

De olika värdekedjor som involveras i framtagningen av elektronikprodukter är komplexa. Många olika aktörer är inblandade och bidrar på olika sätt till den produkt som sätts på marknaden. Ett nära samarbete mellan t.ex. utveckling, tillverkning och test krävs för att vara innovativ, konkurrenskraftig och leverera tillförlitliga produkter, eftersom tillförlitlighet och producerbarhet måste vara inkonstruerade i produkten. Just gränssnittet mellan utveckling och produktion har konstaterats vara särskilt utslagsgivande för hur framgångsrik produkten blir. Effektiv samverkan ger lägre produktionskostnader, snabbare "time to market" och högre kvalitet.

Denna handbok: Smartare Elektronikhandboken 2.0 har tagits fram av en arbetsgrupp med representanter från företag och organisationer som bidragit med sina kunskaper och erfarenheter. Den har avgränsats till att fokusera på vad som krävs för att ta fram tillverkningsunderlag som möjliggör effektiv kunskapsöverföring mellan de aktiva parter som samarbetar för att ta fram en produkt.

Den första versionen av handboken har blivit mycket uppskattad och vi har fått många glada tillrop och även förslag som vi har tagit med oss när vi gjort denna uppdaterade upplaga. Vi har förstärkt flera områden som tidigare varit mycket översiktligt beskrivna, och riktigt gått ner på djupet där vi sett behov.

Vi hoppas att du finner Handboken med sina mallar, checklistor och bilagor användbar i ditt dagliga arbete. Den är skriven av tekniker för tekniker, men vi tror att även icke-tekniker kan hitta delar som är av värde då vi inkluderat den affärsmässiga och legala sidan av elektronikprojekt.

– Sprid gärna denna Handbok bland dina leverantörer och kunder!

Handboken finns att ladda ner från:

www.smartareelektroniksystem.se och www.svenskelektronik.se

Med vänliga hälsningar,
Arbetsgruppen bakom Handboken

Innehållsförteckning

1. Inledning	4
1.1 Produktägare	7
1.2 Utvecklare	8
1.3 Tillverkare	9
2. Inför starten av ett nytt projekt	10
2.1 Industrialisering	10
2.2 Kvalitet	11
2.3 Avtal	11
2.4 Offertförfrågan/RFQ	14
3. Produktregelverken	16
3.1 CE-märkning	16
3.2 Direktiv och standarder	17
4. Konstruktion	18
4.1 Design for Excellence/DfX	18
4.1.1 Design for Compliance/DfC	18
4.1.2 Design for Sourcing/DfS	22
4.1.3 Design for Manufacturing/Production, DfM/DfP	24
4.1.4 Tumregler för konstruktion av mönsterkort och kretskort	29
4.1.5 Design for Test/DfT	35
4.1.6 Design for Failure/Värsta misstagen	37
4.2 Schema	38
4.3 Konstruktion av mönsterkort	39
4.3.1 Krav på mönsterkort	39
4.3.2 CAD/layout	42
4.3.3 Viakunskap	43
4.3.4 Ytbehandling	47
4.3.5 Kostnader för mönsterkort	51
4.4 Utvecklingsverktyg	53
5. Tillförlitlighet	55
5.1 Några Riskområden	56
5.2 Exempel på andra viktiga tillförlitlighetsrisker	57
6. Inför Tillverkning	60
6.1 Beskrivning av elektronikproduktion	61
6.2 Beskrivning av olika tester	62
6.3 Underlag för elektronikproduktion	69
6.3.1 Dokumentöversikt och revisionshantering	70
6.3.2 Produktbeskrivning	71
6.3.3 Bill Of Material/BOM	71
6.3.4 Beställning av Mönsterkort/PCB	72
6.3.5 Panelritning	73
7. Uppföljning av Tillverkning	76
7.1 Ankomstkontroll och verifiering	76
7.2 Producerbarhet	77
7.3 Återkoppling	77
7.4 Ändringshantering	77
8. Mallar, Lästips och annat nyttigt	80
9. Om Handboken	82
9.1 Revisionsbeskrivning	83

1. Inledning

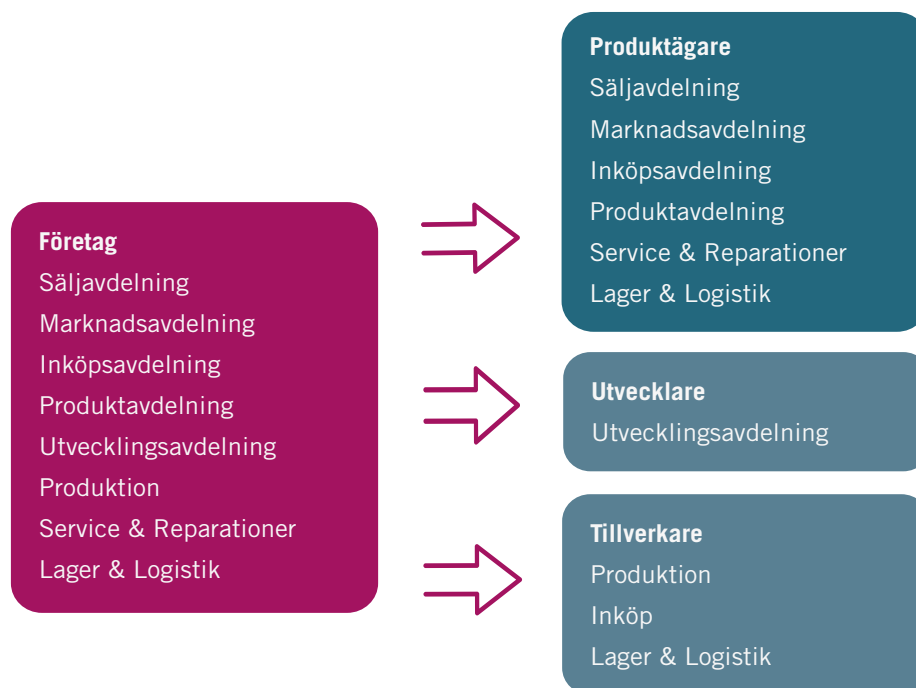
Smartare Elektronikhandboken 2.0 har tillkommit för att underlätta kommunikationen mellan de intressenter som idag ofta ingår i ett elektronikprojekt som ska resultera i ett fungerande kretskort som kan monteras in i en produkt. Det kan låta enkelt, men erfarenheten har visat att det finns många fallgropar som kostar tid och pengar. Handboken 2.0 är en omarbetad och kompletterad version av den första Handboken som gavs ut hösten 2017. Vi har främst fördjupat oss ytterligare inom områdena Kvalitet och Tillförlitlighet där kapitlen 4, 5 och 6 är de som påverkats mest. Vi har även disponerat om övriga delar för att få ett bättre flyt i innehållet. Har du synpunkter och vill bidra till Handbokens utveckling? ➡ Kap. "9. Om Handboken"

Intressenter i denna Handbok benämns Produktägare, Utvecklare och Tillverkare. Mer om dessa längre fram i detta kapitel. Observera att vi syftar på företag och inte personer, alltså ett Produktägande företag, ett Utvecklingsbolag och en Legotillverkare (EMS).

Fokus för Handboken är de underlag som en Tillverkare behöver få från Produktägare och Utvecklare för att kunna tillverka kretskort som motsvarar Produktägarens önskemål, men även Offertmallar och Återkopplingsdokumentet finns med. De dokumenten är viktiga för att samspelet mellan aktörerna ska fungera optimalt. Offertmallarna kan naturligtvis vara användbara för en Tillverkare som ska svara på en offertförfrågan men kan lika gärna vara användbara för inköparen hos Produktägaren för att veta vilken typ av svar man kan förvänta sig på sin inskickade offertförfrågan, så att rätt frågor ställs.

Även om fokus är underlag för tillverkning av kretskort så berör vi i vissa fall området bortom kretskortet där det är relevant. Denna Handbok innehåller mycket information om olika områden som man behöver ta hänsyn till för att ta fram underlag för ett kretskort som framgångsrikt kan serieproduceras. Om du ska göra ett "Proof of concept" eller en "Labbruska" för att på ett tidigt stadium testa om en idé fungerar så behöver du inte ta hänsyn till alla delar av den här Handboken då det inte är en produkt som ska ut på marknaden. Men så fort du börjar ta fram prototyper finns det mycket tid att spara på att ta del av innehållet i denna Handbok.

Samspel och kommunikation





Samspelet mellan dessa tre intressenter, Produktägare, Utvecklare och Tillverkare, vid framtagning av en ny produkt innehållande elektronik, är vad den här Handboken handlar om.

Om det inte finns en historik av samarbete blir det ännu viktigare att alla inblandade fullt ut förstår den slutgiltiga produktens förväntade funktion, kostnad och kvalitet. Ofta vill en Produktägare dessutom konkurrensutsätta utvecklingsarbetet och tillverkningen genom att begära in offerter från flera underleverantörer för att därefter välja samarbetspartner. För att de offerter som kommer in ska vara jämförbara är det viktigt att informationen i offertförfrågan är så tydlig som möjligt. Samtidigt kan det vara en bra idé för Produktägaren att lämna öppet för förslag från sina underleverantörer då man som Produktägare omöjligt kan veta allt om materialval, komponentval, produktionsteknik,

testning, direktiv och standarder m.m. Men lämnar man öppet för förslag ska man skriva det, så att mottagaren förstår att de förväntas komma med förslag och inte missar det eller bara chansar på en lösning.

Fungerande kommunikation tillsammans med val av rätt partner är grunden till ett framgångsrikt samarbete.

 Se till att all kommunikation sker på ett sätt så att misstag, förväxlingar och effekter av dåligt minne minimeras. Bästa sättet är att skicka information skriftligt (e-post) och att bekräfta muntliga överenskommelser med e-post efteråt.


 Att göra avstämningar via telefon är bra, men har ni beslutat något så bekräfta med e-post efteråt.

Den affärsmässiga sidan ska inte glömmas bort i något projekt. Att ta fram en produkt

handlar naturligtvis mycket om teknik, men med tanke på att de olika delarna i värdekedjan ofta består av olika företag blir det viktigt att se till att ni har alla avtal på plats som reglerar hanteringen av sekretessbelagd information och de kommersiella villkoren redan tidigt i projektet. Då finns förutsättningar för att kunna fokusera på att det blir en tekniskt bra produkt som också är en bra affär för alla inblandade parter. Alla företag måste tjäna pengar och det är bara lönsamma företag som finns kvar och kan ta sitt ansvar under produktens hela livscykel. ⇒ Kap. "2.3 Avtal"

Fackuttryck finns det gott om inom elektronikindustrin. Det finns många gamla begrepp, utvecklingsverktyg, filformat m.m. som fortfarande används av bara farten men som i själva verket numera inte bara är omoderna utan rentav felaktiga. Att det många gånger blir rätt ändå i slutändan

beror på att mottagaren av informationen "vet" vad avsändaren egentligen menar. Men, för att säkra kommunikationen och undvika missförstånd är det bra om alla använder så lika benämningar som möjligt. Av den anledningen har vi sammanställt en Parlör där vi samlat så många branschspecifika uttryck som möjligt av de vi stött på under arbetet med Handboken.

 Bilaga "Parlör"


Mönsterkort och kretskort, PCB och PCBA?

Dessa begrepp är goda exempel på begrepp som blandas ihop och används vid fel tillfällen. PCB (Printed Circuit Board) är på svenska mönsterkort och PCBA (Printed Circuit Board Assembly) är på svenska kretskort. I Handboken kommer vi företrädesvis att använda begreppen mönsterkort respektive kretskort. Ett mönsterkort bestyckat med komponenter är ett kretskort.


Några nyttiga symboler att hålla utkik efter i de kapitel du läser (du har redan stött på några):


 **Tips.** Här finns värdefulla tips.

⇒ **Kapitel.** Kap. "2.3 Avtal"
 Detta är en hänvisning till ett kapitel i Handboken där du kan läsa mer, i det här fallet kapitlet Avtal.

 **Mall.** I det stycke eller kapitel där du hittar den här symbolen finns det en eller flera mallar du kan använda om du vill. För att underlätta för dig att få med relevant information i dina underlag har vi sammanställt ett antal mallar som du kan ladda ner och

använda fritt. Dessa mallar är inte 100% kompletta så till vida att om du har fyllt i alla rutor så kommer du varken att få motfrågor eller att inget kommer att gå fel eller missas, men de ger dig en bra utgångspunkt. Lista över Mallar finns i kapitel 8.

 **Checklista.** Till det stycke eller kapitel där du hittar den här symbolen finns det en checklista du kan använda om du vill.

 **Hänvisning.** Mer djupgående text om vissa ämnen samlar vi i bilagor, eller hänvisar till på Internet, för att inte handboken ska bli alltför tung att läsa.

1.1 Produktägare

Som Produktägare är målet att så snabbt som möjligt och till rimlig kostnad ta fram och börja producera en ny produkt så att den kan börja säljas till nya och befintliga kunder. Produktutveckling kostar pengar och denna investering vill Produktägaren att den ska löna sig så snart som möjligt. ROI (Return On Investment) är en term som ofta används och som innebär att man vill se att en given investering betalar sig över tid.

Produktägare definierar vi i den här handboken som det företag som äger rättigheterna till, och har produktansvaret för, den produkt där elektroniken som ska produceras ingår.

Det är viktigt att komma ihåg att det är Produktägarens ansvar att se till att tillräcklig och rätt information finns tillgänglig för alla som behöver den senare i kedjan så att produkten motsvarar de uppställda förväntningarna med rätt funktionalitet, i rätt tid, till rätt pris och med rätt kvalitet.

Produktägaren är också den som är ansvarig för att produkten uppfyller tillämpliga direktiv och standarder och att den har de certifieringar som krävs för den marknad som produkten ska säljas på. ➡ Kap. "3. Produktregelverken"

Om det är första gången du som Produktägare ska arbeta med en viss Utvecklare och Tillverkare så är ett gott råd att du besöker dem båda för att få en så bra förståelse som möjligt för hur de jobbar, deras processer, instrument och maskinpark. Den tiden ett sådant besök tar i anspråk är väl investerad och sparar in mycket tid senare.

Inköparens roll hos Produktägaren har ofta ändrats från att tidigare ha inneburit inköp till den egna tillverkningen till att


vara upphandling av en utvecklings- och tillverkningstjänst. Inköparens uppgift är bland annat att få bästa möjliga förhållande mellan kvalitet och pris för en viss vara eller tjänst och här hoppas vi att den här Handboken ökar förståelsen för att olika Utvecklare och Tillverkare har olika förutsättningar att utveckla och tillverka olika produkter. Såväl de kunskaper och erfarenheter de har samt deras maskinpark och valet av komponentleverantörer kan skilja. Vår förhoppning är att du som är inköpare hos en Produktägare ska kunna nyttja den här Handboken till att få så bra och så jämförbara offerter som möjligt. Hur svaren på din offertförfrågan kan se ut ser du i någon av offertmallarna. 📄

När det är dags att beställa volymproduktion är det viktigt att tänka på att en jämn eller åtminstone förutsägbar produktionstakt (förutsägbar för Tillverkaren via prognos som uppdateras förslagsvis varje månad) innebär en effektivare hantering hos Tillverkaren som därmed kan hjälpa till att pressa kostnaderna. 📄

💡 Undersök vilka övriga tjänster Tillverkaren kan erbjuda t.ex. vad gäller efterbearbetning, förpackningar och logistik. Dessa tjänster kan vara mycket kostnads-effektiva.

💡 Tänk på att få lämpliga avtal på plats tidigt. Ta hjälp av våra mallar för att spara tid.

💡 Gör alltid beställningar via e-post! Då finns era överenskommelser kvar. Uppföljning muntligt är bra, men kom ihåg att bekräfta eventuella nya överenskommelser skriftligt efter samtalet.

 Ett bra sätt att utnyttja en Tillverkares stora kunskap inom tillverkning och val av ingående material och komponenter kan vara att genomföra en betald förstudie

relativt tidigt i ditt projekt. På det sättet kan Tillverkaren lägga den tid som behövs för att göra ett bra jobb åt dig så du kan spara mycket tid och undvika problem.


1.2 Utvecklare

Utvecklingsarbetet under framtagningen av en ny produkt innefattar ett brett ansvarsområde; här tar vi bara upp det som relaterar till tillverkning av kretskortet.

Utvecklare i den här handboken kan vara antingen Produktägarens egen utvecklingsavdelning eller det företag som på uppdrag av Produktägaren konstruerar elektroniken som ska produceras hos en Tillverkare. Om Utvecklare och Produktägare finns i samma företag förenklas avtalsbiten, men kommunikationen är fortfarande viktig.

Målet är naturligtvis att den konstruktion man tar fram på bästa sätt motsvarar Produktägarens önskemål.


DfX – Design for Excellence, är ett sammanfattande begrepp som består av flera delområden men som innebär att man redan under utvecklingsarbetet inte bara konstruerar produkten för att den ska kunna tillverkas och testas så effektivt som möjligt utan även att dess kvalitet, tillförlitlighet samt livscykel blir som förväntat.


 Kap.”4.1 Design for Excellence/DfX”

Är det första gången ni samarbetar med en Tillverkare är mycket vunnet om Utvecklaren besöker den tilltänkta Tillverkaren för att få en så bra förståelse som möjligt för hur de jobbar, deras processer och maskinpark. Den tiden ett sådant besök tar i anspråk är väl investerad och sparar in mycket tid senare.

Lika viktigt som att specificera allt väsentligt i konstruktionen är det faktiskt att

inte överspecificera. Du kan ha valt ovanliga materialkombinationer eller komponenter som är svåra att få tag på osv. vilket gör produkten svår att producera eller onödigt dyr. Lämna sådana områden öppna där du vill att Tillverkaren föreslår det den finner mest effektivt, men skriv detta tydligt. Allt som någon senare i kedjan måste gissa innebär en risk för misstag som kostar tid och pengar. Är du osäker, kontakta din Tillverkare.

 Skaffa förståelse för hur den tilltänkta Tillverkaren jobbar, deras processer och maskinpark, t.ex. genom ett besök på plats där produkten ska tillverkas.

 Komponenttillverkare av t.ex. ASIC, CPU, kraft- och RF-komponenter, mönsterkort m.m. kan bidra med mycket värdefull kunskap.

1.3 Tillverkare

Tillverkarens roll är naturligtvis att tillverka kretskorten i enlighet med de specifikationer som Produktägaren/Utvecklaren bifogar med sin beställning. Vid val av Tillverkare är erfarenhet av liknande produkter, geografisk närhet till kunden och företagsstorlek som matchar uppdraget framgångsfaktorer. En Tillverkare som uppfyller dessa kriterier kan bidra med mycket kunnande i projektet. Många tillverkare kan också erbjuda ytterligare tjänster vilket kan addera värde till hela affären.

Tillverkare definierar vi i den här handboken som det företag som tillverkar den elektronik som utvecklas av Utvecklaren

på Produktägarens uppdrag, alltså en kretskortstillverkare. Observera att vi emellanåt refererar till tillverkare av mönsterkort, vilka vi då kallar mönsterkortstillverkare. Kretskortstillverkare och mönsterkortstillverkare är olika företag och i normalfallet har du som Utvecklare eller Produktägare inte kontakt med mönsterkortstillverkaren. Den kontakten sköter Tillverkaren. Men eftersom mönsterkortet är en så pass viktig komponent behandlar vi det relativt ingående i den här Handboken.

För att en Tillverkare av elektronik ska kunna göra ett bra jobb snabbt är det viktigt att underlagen är så kompletta som möjligt.



Jettingmaskin i färd med att påbörja jetting av lodpasta på en mönsterkortspanel.

2. Inför starten av ett nytt projekt

Innan man kommer för långt i tekniska diskussioner och byggen av funktionsmodeller för att testa sina koncept är det värdefullt att reflektera över vad som behöver vara på plats för att ett projekt ska gå att genomföra så smidigt som möjligt och klara både tids- och ekonomiska ramar. Allt med målet att slutprodukten går att producera och sälja med förväntad lönsamhet.

Underlagen för själva produktionen återkommer vi till i senare kapitel, ⇒ se Kap. "6.3 Underlag för elektronikproduktion". De underlagen täcker bara en del av samspelet mellan de inblandade parterna. Det finns mycket tid och pengar att spara på att göra så rätt som möjligt redan från början. Bra underlag och tydliga överenskommelser är en bra start om man vill undvika missförstånd och onödiga kostnader.

2.1 Industrialisering

Att ta en konstruktion från stadiet fungerande prototyp till ett tillverkningsoptimerat kretskort kan i många fall ta lika mycket tid i anspråk som hela det övriga utvecklingsarbetet. Att vi nämner denna process, industrialisering, så här tidigt i Handboken beror på att man måste tänka på den från början, även om industrialiseringsfasen i ett projekt oftast infaller efter att man har tagit fram fungerande prototyper och genomfört diverse funktions- och systemtester. Det är en fas som ofta hamnar i skymundan och tiden den kräver underskattas ofta, vilket kan leda till förseningar och att projektet blir dyrare än förväntat. Man kan vinna mycket på att redan innan första prototypen konstrueras tänka igenom punkterna i industrialiseringsfasen, särskilt vilka marknader och standarder som ska uppfyllas.

Industrialiseringsprocessen innefattar att:

- Ta fram en tidplan för industrialiseringen.
- Klargöra vilka direktiv och standarder som produkten omfattas av och ska uppfylla.
- Se över valen av komponenter för att optimera dessa efter tillgänglighet och livscykel.
- Vara klar över vilka tester som ska utföras på kretskortet och den färdiga produkten.
- Upprätta en testspecifikation.
- Planera för hur kretskortet/produkten ska förpackas och transporteras.
- Ta fram vilka volymer av produkten som behövs för de olika stegen i industrialiseringen (prototyper, förserie).
- Tänk igenom hur produktens eventuella tillval kommer att se ut. Planera för hur de olika varianterna ska hanteras i produktionsprocessen och senare i logistikkedjan.

2.2 Kvalitet

Vad är kvalitet? Att vi eftersträvar kvalitet i de produkter och tjänster vi både köper och säljer känns självklart. Vad kvalitet betyder för var och en kan variera, men i grund och botten handlar det om att få en produkt som motsvarar ställda förväntningar. Hela denna handbok handlar om hur du så långt som möjligt skapar underlag för att få en produkt som har den kvalitet som du som beställare önskar.

Definition av kvalitet. Ofta används ordet kvalitet utan att definiera vad man menar med det. I standarder är den vanligaste betydelsen att man har uppfyllt specificerade krav i den specifika standarden. Detta innebär inte någon garanti för att produkten kommer att vara tillförlitlig vid användning.

Kvalitet och Tillförlitlighet sammanbindas ofta. ➡ Kap. "5 Tillförlitlighet"

IPCs standarder för lödda kretskort är ett bra exempel på detta; J-STD-001 och IPC-A-610. För IPC betyder en "quality solder joint" enbart att kraven i dessa standarder har uppfyllts vid produktionen. Detta är huvudsakligen visuella krav på

lödfogarna och inga krav på att man testat tillförlitligheten av lödfogarna. För benförsedda komponenter där lödfogarna är lätt avsyningsbara är detta ofta tillräckligt. För benlösa komponenter som QFN och BGA är det dels svårt att avsyna lödfogarna och dels kan lödfogarna ha kort livslängd även om de är felfria. Man säger därför från IPC att det inte är tillräckligt att uppfylla kraven i standarderna för att säkerställa att produkten kommer att vara tillförlitlig under användning. Det är upp till en användare av standarderna att bedöma om kraven i standarderna är relevanta och tillräckliga för att säkerställa att produkten kommer att vara tillförlitlig eller om man behöver komplettera med tilläggskrav.

ISO9001 definierar kvalitet något annorlunda. Där definieras kvalitet som att man har uppfyllt kundens krav vilket självfallet innefattar att produkten ska vara tillförlitlig vid användning: "Kvalitet är alla sammanlagda egenskaper hos ett objekt eller en företeelse som ger den dess förmåga att tillfredsställa uttalade och underförstådda behov".

2.3 Avtal

Då det idag ofta är olika företag som hanterar de olika stegen i värdekedjan är det viktigt att komma överens om vem som är ansvarig för vad tidigt. Detta blir inte mindre viktigt i de fall då Produktägaren har en del av den nödvändiga utvecklingsresursen själv eller t.ex. sköter slutmonteringen själva.

De kommersiella villkoren och ansvarsfrågan regleras bäst i ett avtal mellan de inblandade parterna. Avtal uppfattas ofta som krångligt och tråkigt men det är väldigt viktigt att ha dessa på plats för att du ska kunna fokusera på att ta fram den bästa möjliga produkten och att den blir framgångsrik på marknaden.

Avtalsmallar har tagits fram av olika branschorganisationer för att underlätta avtalsskrivning. De vanligast förekommande som bäst svarar mot dagens behov behandlas längre fram i detta kapitel. Förutom att de är juridiskt moderna så är de också väl balanserade, vilket innebär att de tar hänsyn till både säljarens och köparens behov. Just detta gör att de är så populära att använda som bas. Det står dig fritt att i en förhandling med en kund eller leverantör ändra i texten och komplettera med bilagor som anpassar avtalet precis efter era behov. Avtalsmallarna finns både på svenska och engelska.

Sekretess kring en ny produkt är ofta viktigt. Därför är det vanligt att man skriver ett separat NDA (Non Disclosure Agreement) mellan de inblandade parterna redan tidigt innan några detaljerade diskussioner har inletts. Detta avtals främsta syfte är att man inte sprider den andra partens information vidare. Det är betydligt enklare att komma överens om ett NDA jämfört med att gå igenom en full avtalsförhandling. På så vis får man möjlighet att diskutera och känna sig för angående samarbete för att i ett senare skede formalisera detta samarbete via ett kommersiellt avtal.

IP (Intellectual Property) och vem som är ägare till det. Att det är produktägaren som äger alla rättigheter till den blivande produkten är ofta inte alls självklart, så se till att det finns reglerat i avtal.

Ledtid, både hur lång den är/förväntas vara samt hur den definieras bör finnas med i avtalet. Om Produktägaren kräver korta ledtider är det viktigt att diskutera hur man ska kunna uppnå detta om ledtiden på ingående komponenter är väsentligt längre än den önskade ledtiden för produkten. Då

är det bra att enas om att t.ex. använda en prognos (forecast) där Produktägaren varje månad uppdaterar sina kommande behov över de närmaste 12 månaderna. Här behöver ni också komma överens om hur mycket Produktägaren kan ändra prognosen och hur nära leveransdatum avropskvantiteten är låst. Vid prognoshantering är det brukligt att det finns med en klausul som reglerar vem som tar kostnaden för överblivna komponenter vid förändringar i produkten under dess livscykel eller när produkten tas ur produktion.

Materialbemyndigande. I vissa fall kan det vara bra att använda sig av ett så kallat materialbemyndigande. Det kan t.ex. vara vid produktionsstart för att Tillverkaren ska kunna beställa komponenter med lång ledtid medan Produktägaren avslutar vissa tester eller justeringar i konstruktionen. Det är oftast Produktägaren som ger Tillverkaren ett materialbemyndigande där Produktägaren tar det fulla ansvaret för de komponenter Tillverkaren köper in ifall det visar sig att dessa inte kan användas i produktionen på grund av ändringar i konstruktionen i sista minuten. Materialbemyndigande kan också användas för att Tillverkaren ska kunna köpa in större kvantiteter av vissa komponenter än vad som behövs i närtid för att erhålla bättre priser och att Produktägaren då garanterar att Tillverkaren inte blir sittande med överblivna komponenter i händelse av ändringar i produkten eller att produkten plötsligt läggs ner.

Leveransvillkor finns det många varianter av där kostnader och risk ligger på olika ställen i kedjan. Använd dig av senaste versionen av leveransbegreppslistan Incoterms (se nedan) och kom överens om ett lämpligt leveransvillkor. Vid prisdiskussioner är det viktigt att tänka på vad


som ingår, då kostnader för frakt, tull och i vissa fall dokumenthantering, förpackningsmaterial m.m. kan tillkomma. Detta blir speciellt viktigt vid export/import utanför EU då tullregler för olika länder spelar roll. Termen Landed Cost som används ibland är inte ett leveransvillkor enligt Incoterms så undvik den så långt det är möjligt.


Logistik och förpackningssätt är områden värda att tänka till lite extra kring då det kan gå att spara mycket pengar på att förpackningssätt och förpackningsstorlek passar alla parter så bra som möjligt med tanke på produktens storlek, hantering och transport.


Ny produkt eller nästa generation av din produkt blir betydligt enklare att komma igång med om du redan har ett bra avtal på plats med din kund/leverantör. Allt som kan behövas är att upprätta ett tillägg till ert befintliga avtal som specificerar den nya produkten och som hänvisar till villkoren ni redan är överens om sedan tidigare.


Bra avtalsmallar att använda:

- **NDA** (Non Disclosure Agreement) är ett sekretessavtal som man bör upprätta mellan de inblandade parterna redan när man börjar diskutera ett nytt projekt. Ett NDA är ett sekretessavtal där man förbinder sig att respektera varandras företagshemligheter så att man kan ha en öppen diskussion med motparten om den nya produkt som ska tas fram.
- **SEAL2012** (Svensk Elektronik Allmänna Leveransbestämmelser) är anpassat för leverans av främst elektronikprodukter och är framtaget av Svensk Elektronik. Avtalet kan laddas ner kostnadsfritt från Svensk Elektroniks hemsida.
- **SEAL-K** (Svensk Elektronik Allmänna Leveransbestämmelser Konsultavtal) är anpassat för leverans av konsulttjänster främst relaterade till utveckling och konstruktion av elektronisk utrustning. Avtalet kan laddas ner kostnadsfritt från Svensk Elektroniks hemsida.
- **NLO9** är anpassat för försäljning av tekniska produkter mellan Nordiska bolag och är framtaget av Teknikföretagen. Avtalet kan laddas ner kostnadsfritt från Teknikföretagens hemsida.
- **Orgalime 2012** är anpassat för försäljning av tekniska produkter globalt och är framtaget av Orgalim, European Engineering Industries Organisation. Avtalet kan laddas ner mot en viss kostnad från Orgalim's hemsida.
- **Incoterms 2010** är den senaste versionen av de internationella leveransvillkoren. Undvik andra eller äldre leveransvillkor som inte är med i senaste versionen om du inte är helt klar över vad de innebär i detalj då de kan innebära att du får bära kostnader och risk du inte hade räknat med. Referera alltid till Incoterms i ditt kommersiella avtal. Incoterms finns att hämta på nätet.

 Tänk alltid på att ha avtal på plats så snart som möjligt. En bra start redan på diskussionsstadiet i en ny affärsrelation är att skriva ett NDA för att sedan när det ska läggas beställningar upprätta ett kommersiellt avtal.



 Använd alltid SEAL2012/NLO9/Orgalime 2012 som utgångspunkt och lägg till eller dra ifrån paragrafer genom bilagor till ursprungsavtalet. Då minskar du risken för tråkiga diskussioner i efterhand.

 Använd alltid moderna leveransvillkor. Du hittar dessa i senaste utgåvan av Incoterms.

 Kom ihåg leddid, förpackning och hur logistiken ska fungera. Dessa tre glöms ofta bort och skapar därmed problem inför serieleveranserna.


2.4 Offertförfrågan/RFQ

Genom en bra och genomarbetad offertförfrågan (RFQ – Request For Quotation) som innehåller all nödvändig dokumentation sparar du både kalendertid och pengar i ditt projekt. Vill du få in offerter från flera möjliga leverantörer är det viktigt att det framgår tydligt vad du förväntar dig, annars kommer offerterna att vara alltför olika i både pris och kvalitet och därmed inte jämförbara.

 RFQ checklista är ett bra dokument att hålla sig till,  Kap. "8 Mallar, Lästips och annat nyttigt". Denna checklista hänvisar till de olika kapitlen i denna handbok och du har mycket hjälp av de mallar som finns.

Det är också värt att nämna RFI – Request For Information som kan vara steget före RFQ och som innebär en fråga om vilka varor och tjänster företaget kan tillhandahålla. RFP – Request For Proposal är snarlik RFI men är mer specifik info om en viss vara eller tjänst. RFI och RFP används mest vid större upphandlingar.

"Som man frågar får man svar" är högst relevant i detta sammanhang. En kort och ospecificerad offertförfrågan ger ofta ett kort och allmänt hållet svar. Är du osäker på om du fått med rätt information, fråga din tilltänkta mottagare av offertförfrågan. Offerten som kommer som svar på din offert-

förfrågan kan se ut ungefär som någon av de två offertmallarna. 

Jämförbara och bra offerter. När du vill få in offert från flera möjliga leverantörer är det viktigt att förstå vad som skiljer dina tilltänkta leverantörer åt. Olika Tillverkare kan skilja sig åt vad gäller maskinpark och arbetssätt vilket gör att de kan ha olika förutsättningar att leverera just ditt projekt. Om du som beställare kan ge dina underleverantörer ett bra tillverkningsunderlag så kommer både pris och kvalitet på den blivande produkten att hamna på en mycket mer attraktiv nivå då underleverantören slipper ta höjd för osäkra delar i underlaget. Tillverkaren kan välja de komponenter och de produktionssätt som ger dig det pris och den kvalitet på slutprodukten som du förväntar dig.

Minimum av dokumentation? Många gånger kan det räcka med ett minimum av dokumentation, men vad är minimum? Utgå från den bifogade checklisten och välj bort de delar du inte anser vara relevanta. Behåll gärna rubrikerna och skriv att avsnittet inte är relevant, det ger en bra signal till underleverantören som också tidigt får chansen att ställa frågor.

Produktbeskrivningen är kanske det viktigaste dokumentet att bifoga din offertförfrågan då den ger en kontext till produkten.

Det kan vara svårt att i produktionsunderlagen få med all eller tillräckligt mycket information om din produkt. Produktbeskrivningen hjälper mottagaren genom att du beskriver hur produkten ska användas och i vilken miljö.

Förstudie. En förstudie kan i många fall vara ett bra sätt att förstå hur du kan optimera din produkt för produktion. Under förstudien modellerar man fram olika lösningsförslag baserade på de underlag du tillhandahåller och ett önskat målpris. Allt i syfte att få en så god avvägning mellan krav och kostnad som möjligt.

💡 Formulera krav som skall- eller bör-krav, detta gör processen enklare och offerten bättre.

💡 Besök den Tillverkare du tänker anlita. Du vinner mycket på att ha sett hur de arbetar, hur just deras processer fungerar för materialberedning, produktion, avsyning, test, packning och utleveranser. Det kan handla om att justera ytermåtten några millimeter på PCB så förenklas arbetet i produktion eller vid packning av produkten inför leverans, med kostnadsbesparingar som följd.



Bilden visar en produktionslina för kretskort.

3. Produktregelverken

För att få sätta en elektronikprodukt på marknaden krävs att produkten uppfyller lagstiftning, krav och normer i det land där produkten ska säljas. Detta är Produktägarens ansvar. Inom EU sammanfattas dessa krav i den CE-märkning som alla produkter måste ha. I övriga världen finns andra lagstiftningar som behöver iakttas, men ofta är de likartade och bygger i grunden på samma standarder.

I denna handbok beskriver vi översiktligt lagstiftningen för den gemensamma marknaden inom EU; för export till övriga världen är det viktigt att utreda vad som gäller i det land som avses.

Som exempel är lagstiftningen för begränsning av vissa kemikalier i elektronik inom EU, d.v.s. RoHS-direktivet, inte identiskt med den lagstiftning som har implementerats i Kina, s.k. Kina-RoHS.

3.1 CE-märkning

Inom EU skall det vara ett fritt flöde av varor och tjänster. För att produkten ska få säljas ska den CE-märkas och Produktägaren ska deklarerera förenlighet med tillämpliga direktiv genom en EG-försäkran om överensstämmelse.



"Varupaketet" (the New Legislative Framework, NLF) är det regelverk som beskriver hur produktdirektiven ska utformas. Direktiven fastställer övergripande hälso- och säkerhetskrav (de s.k. skyddskraven). Medlemsländerna får varken ha högre eller lägre krav. Arbetet med att specificera skyddskraven har uppdragits åt de europeiska standardiseringsorganisationerna. Det betyder att kraven som ska uppfyllas för att en produkt ska vara förenlig med ett direktiv finns i de framtagna standarderna. Användning av harmoniserade standarder (publicerade i Kommissionens tidning Official Journal) ger presumtion av förenlighet.

3.2 Direktiv och standarder

När du ska avgöra vilka direktiv och standarder som är tillämpliga för din produkt måste du utgå från produktens specifika användningsområde. Vissa produkter har egna standarder och för andra tittar man generiskt utifrån i vilken miljö produkten används, som industrimiljö eller hemmiljö.

Direktiv och förordningar för elektriska och elektroniska produkter finns det ett flertal av. Här är de vanligaste:

- RoHS (Restriction of Hazardous Substances)
- WEEE (Waste Electric and Electronic Equipment)
- Ecodesign
- REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
- EMC (Electro Magnetic Compatibility)
- LVD (Low Voltage Directive)
- RED (Radio Equipment Directive)

Viktigt att notera är att RED och vissa andra direktiv som MDD (Medical Devices Directiv) "tar över" krav angående EMC och elsäkerhet. Fordon och fordonskomponenter har lagkrav på sig för EMC-kompatibilitet enligt UN ECE R10.

Standarder tas fram för att förenkla samarbetet inom en bransch. Förutom de harmoniserade standarder som måste följas för att få presumtion om överensstämmelse med direktiven enligt ovan finns inom elektronikbranschen och för kretskortstillverkning flera mer eller mindre spridda standarder. IPC är en standard som vuxit fram genom att man samlat ihop "best practice" inom detta område och den har utvecklat sig till något som de flesta

arbetar efter och refererar till. IPC är just en sådan standard som så gott som hela branschen följer ända från leverantörerna av ingående material till producenterna av själva kretskortet. När du väljer väg i ditt projekt ska du dock vara medveten om att IPC-standarderna oftast tar upp vad som är möjligt att producera, inte vad som är lämpligast eller mest kostnadseffektivt. Det är viktigt att lägga sig på rätt nivå och inte specificera en högre nivå än vad som krävs för din produkt.

 Bilaga "EU Direktiv och Regelverk"

 Kap. "4.1.1 Design for Compliance"

4. Konstruktion

Det är många steg som ska passeras innan det kretskort som ska ingå i en produkt blir färdigt. Det är viktigt att ha förståelse för dessa steg redan i starten av ett nytt projekt för att den slutliga produkten ska motsvara ställda krav.

I det här kapitlet beskriver vi, så långt det är möjligt inom ramen för denna handbok, de principer som styr arbetssättet vid konstruktion av ett kretskort. Vi beskriver konceptet Design for Excellence och de olika momenten i utvecklingsarbetet av ett kretskort. Vi har tagit med så många tips som möjligt för att guida konstruktören i sitt arbete. Dessa tips är inte nödvändigtvis rätt lösning i alla lägen för alla konstruktörer, men ger en bra fingervisning. Mycket

fokus har lagts vid mönsterkortet då det är en mycket viktig komponent för produktens kvalitet och tillförlitlighet.

Kretslösningen är ofta en iterativ process där man ibland utgår från en redan använd konstruktion, ibland en helt ny idé, eller en mix av dessa. Genom praktiska tester och teoretiska beräkningar mynnar processen ut i de underlag som behövs för att producera kretskortet. ➡ Kap. "6.3 Underlag för elektronikproduktion"

4.1 Design for Excellence/DfX

DfX handlar mycket om att under konstruktionsfasen av elektroniken försöka bygga in så mycket som möjligt av kvalitet, tillförlitlighet, producerbarhet, livslängd samt uppfyllande av direktiv och regelverk. Detta begrepp bryts i sin tur ner i flera delar. Det är dessa delar som detta kapitel behandlar.

Värt att notera är ➡ Kap. "4.1.6 Design for Failure/Värsta misstagen", som är en lite lättare "med glimten i ögat" vinkling av fel och felaktiga beteenden som de flesta av oss är väl medvetna om men som trots det förekommer i projekt.

4.1.1 Design for Compliance/DfC

Konstruktion för överensstämmelse

Att få en produkt att klara kraven i regelverken kan bli en dyr del av elektronikkonstruktionen om det är det sista momentet i utvecklingsprojektet. Det är stor risk att produkten då inte kommer att uppfylla alla krav och att testlabbet skickar tillbaka produkten för omarbetning. Detta genererar höga kostnader både för själva omkonstruktionen och certifieringen, och för de intäkter som går förlorade på grund av den försenade marknads lanseringen.


Marknadsåtkomst förutsätter överensstämmelse

För att kunna säljas i EU behöver produkterna ett CE-märke. Motsvarande märkning finns i andra delar av världen. T.ex. kan NRTL-märkning vara ett marknadskrav i USA, vilket exempelvis utförs av UL. Ett annat exempel är CCC-märkning som är ett krav för listade produkter i Kina. Men det finns också många andra regelsystem i olika delar av världen att ta hänsyn till beroende på vilket land man vill sälja sin produkt i. De flesta produkter behöver någon typ av produktöverensstämmelse överallt i världen, och reglerna för produktöverensstämmelse måste uppfyllas genom att de konstrueras in i produkten på samma sätt som alla andra krav.

Hur påverkar detta hur vi jobbar?

Den viktigaste faktorn är att arbetet att konstruera in kraven måste starta samtidigt med utvecklingsprojektet. Det sparar mycket tid, både i timmar och kalendertid, och minskar såväl utvecklingskostnad, certifieringskostnad som produktens tillverkningskostnad.

Ett bra exempel på vikten av att detta arbete sker parallellt, är krav på spårbarhet vid utveckling av säkerhetskritiska enheter som medicinsk och funktionell säkerhetsutrustning. Det innebär att konstruktionskraven och -besluten måste dokumenteras tydligt för att en extern granskare ska kunna kontrollera inte bara resultatet utan även processen. Detta krav bygger på evidens som visar att detta är det bästa sättet att utveckla säkerhetskritisk och medicinsk teknik. Genom att följa en relevant harmoniserad standard underlättas bevisföringen.

 Bilaga "Litteraturhänvisningar"

Sammanställ kraven

De regulativa kraven definieras av i vilka länder eller regioner som enheten ska användas. CE-märkeskraven definieras av de direktiv och förordningar som produkten omfattas av, och de harmoniserade standarder som är kopplade till dessa.

Nordamerikanska produktöverensstämmelsessystem inkluderar FDA som ser efter medicinsk utrustnings säkerhet och drift, FCC hanterar radiofrekvensöverensstämmelse, EMC-interferens och telekommunikation. För allmän elektrisk utrustning i dessa länder finns NRTL. Utöver NRTL finns de privata företagen UL (Underwriters Laboratories) för USA, CSA (Canadian Standards Association) för Canada och NOM (Norma Oficial Mexicana) för Mexico. Tillsynsmyndighet i USA för bl.a. elsäkerhet är NFPA.

Definiera vilken/vilka marknader produkten är tänkt att lanseras på och sammanställ de krav som ska följas. För att kunna göra produkten kompatibel måste utvecklingsteamet veta vilka regelverk för produkten som ska följas. Bara att hitta dessa kan ibland vara svårt. För varje regelverk finns sedan oftast de detaljerade tekniska kraven i form av standarder. För att kunna avgöra vilka standarder som gäller för produkten måste dess användning och funktion definieras. Många produkttyper har egna standarder.

Utvecklingsprocessen

När alla krav är kända och utvecklingsarbetet kan starta, hur ska man då tänka för att på bästa möjliga sätt uppnå att produkten blir godkänd?

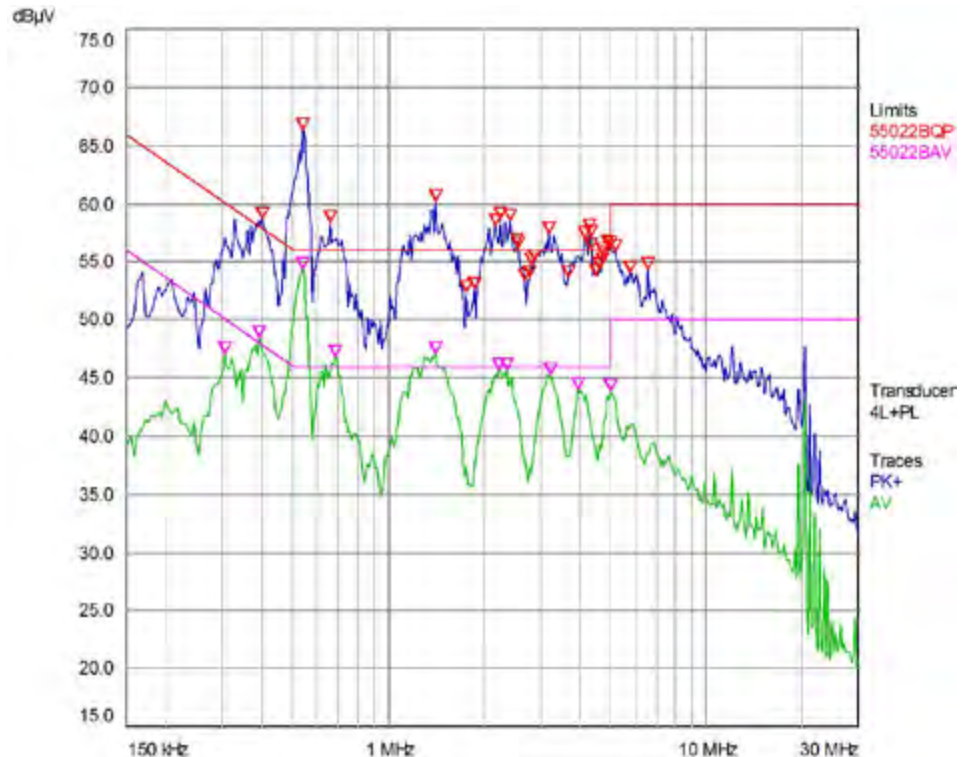
Självklart är det stora skillnader i svårighetsgrad och komplexitet beroende på produktens användningsområde och hur tekniskt avancerad konstruktionen är. Högteknologiska, säkerhetskritiska eller

medicintekniska produkter har en mycket omfattande kravbild och arbetet med att uppfylla alla regelverkskrav är en stor del av produktframtagningsprojektet. Några grundläggande processer är dock gemensamma:

- Bemanna med rätt kompetens i utvecklingsteamet.
- Dokumentera beslut och konstruktionsval
- Gör riskanalyser utifrån de olika regelverken
- Ta hand om riskerna från riskanalyserna genom att tillämpa en relevant harmoniserad standard. Bevisföringen (att risken är omhändertagen) kan annars bli mödosam.
- Håll granskningsmöten genom hela utvecklingsprojektet där regelverken är en punkt på dagordningen och med

deltagare med kompetens inom de olika områdena.

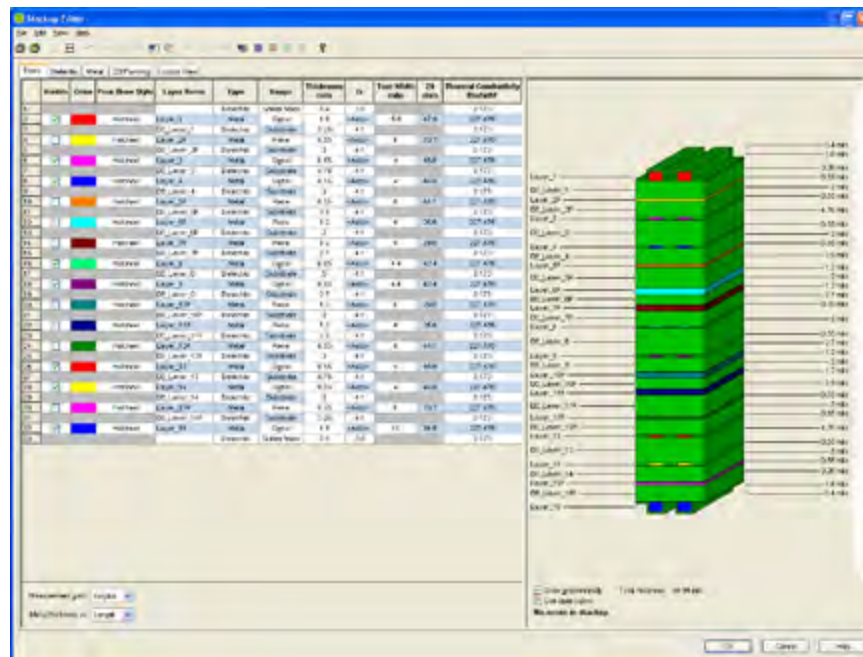
- Gör tester och pre-compliancemätningar/provningar (EMC och Elsäkerhet!) så tidigt som möjligt, gärna redan på den första labbprototypen.
- Välj komponenter inte bara ur funktions- eller kostnadsaspekter utan ta även hänsyn till t.ex. kemikalieinnehåll eller EMC-egenskaper.
- Ladda ner all komponentinformation till den tekniska filen (technical file).
- Certifikat på kritiska komponenter mot en teknisk standard är ofta ett krav för att få ett tredjepartsgodkännande när det kommer till rena elsäkerhetskrav. Med kritisk komponent menas en komponent som, om den fallerar, riskerar att sänka säkerheten på ett oacceptabelt sätt i en utrustning.



Mätexempel på en utrustning som inte klarar EMC-kraven.

Tekniska spörsmål som ofta påverkar EMC

- **Jordningsfilosofi**, jordningen har en avgörande betydelse, både på krets-kortsnivå och apparatnivå.
- **Användningen av snabba signaler** har också en avgörande betydelse. Använd inte signaler med snabbare stig- och falltid än nödvändigt.
- **Kablring**, använd skärmd kabel om möjligt. Vid oskärmd kabel, filtrera alla signaler. Sätt fast interna kablar mekaniskt.
- **Mekanikutformning**, metallkapsling är det bästa att använda om det är möjligt, tänk också på att säkerställa kontaktytor mellan delarna så att inte slitsar uppstår (en slits kan fungera som en antenn). Förbered gärna layouten för att kunna införa skärmburar etc. om det visar sig behövas.
- **Displayer** är ofta bekymmersamma ur EMC-synpunkt, främst på grund av många och snabba datasignaler i kombination med att de till sin natur inte är så enkla att kapsla in. Displayer kräver därför en genomtänkt produktkonstruktion både mekaniskt och elektriskt.
- **Lageruppbyggnad och antal lager**, särskilt för lite mer avancerad och snabb elektronik är lageruppbyggnaden och antal lager mycket väsentligt. För en produkt som inte ska tillverkas i stora serier kan det löna sig att använda extra lager för att komma väsentligt snabbare i mål. Signalintegriteten påverkas även i hög grad av lageruppbyggnaden och det är mycket viktigt att vara tydlig i sin kommunikation med mönsterkortstillverkaren så att den inte ändras för att reducera kortkostnad.
- **Layoutregler**, stor omsorg bör läggas på layouten så att komponenter placeras på bästa sätt, signaler dras så att inte onödiga antenneffekter eller andra störfenomen uppstår och att filter och avstörningskomponenter läggs in.



Exempel på lageruppbyggnad av ett mönsterkort.

Ibland räcker inte lagkraven

För att få sätta en produkt på marknaden måste alla krav som ställs vara uppfyllda. Men det är värt att komma ihåg att den legala aspekten inte alltid räcker för att produkten ska vara funktionell. Man måste alltid även ta hänsyn till den miljö och de funktionella krav som ställs på en specifik produkt. Ett bra exempel på detta är EMC-kraven för en produkt med inbyggd radiokommunikation. Det är inte ovanligt att man i ett sådant fall kan klara de krav som ställs för EMC rent legalt, men den inbyggda radion fungerar dåligt på grund av störningar från den egna produkten.

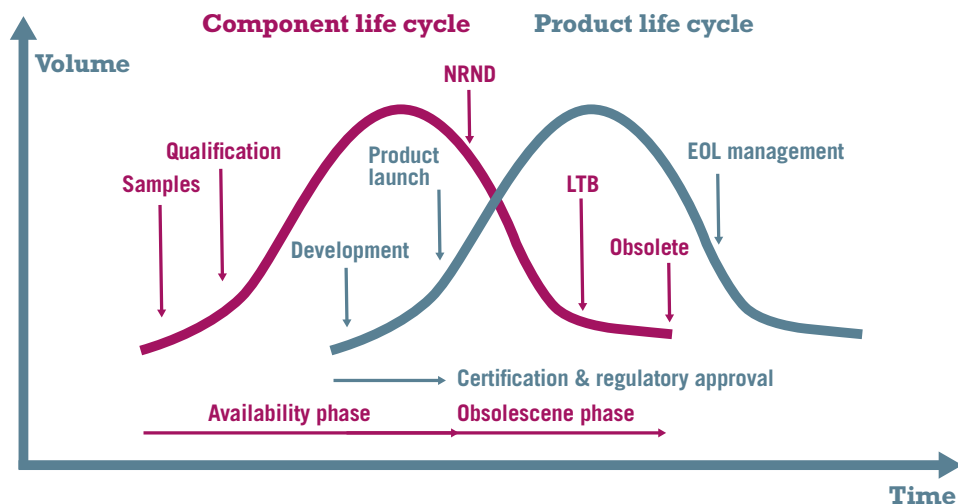
4.1.2 Design for Sourcing/DfS

Komponentvalen man gör under utvecklingsarbetet får stor betydelse under produktens hela livslängd. Naturligtvis är komponenternas funktion det viktigaste och det man som utvecklare börjar med. Men förutom den tekniska funktionen är det också önskvärt att optimera slut-

produktens kostnad, kvalitet, ledtid och livslängd. Tillgången på valda komponenter och ingående material och var dessa befinner sig i sin livscykel, deras ledtid, second source och sist men inte minst kostnad, påverkar produktens underhållskostnad.

Hur hanterar du då detta? Svaret är att det är mycket svårt och troligen inte möjligt att helt säkerställa att du undviker störningar i komponentförsörjningen utan det gäller att minimera riskerna. Sättet att göra det är oftast att manuellt kolla upp varje enskild komponent som inte enkelt kan bytas ut genom att fråga dina komponentleverantörer, vilket tar tid och i praktiken sällan blir gjort. Ofta nöjer man sig med mer generell komponentinformation från distributören, vilket kan vara fullt tillräckligt, förutom för de allra mest centrala komponenterna i en konstruktion.

Det är också värdefullt att undersöka vilka Preferred Suppliers den Tillverkare har som du kommer att använda samt vilka komponenter Tillverkaren har som standardkomponenter.



Omfattande databaser över elektronikkomponenter finns numera att tillgå och dessa innehåller i stort sett alla komponenter och deras data, inklusive livscykeldata, från de flesta komponenttillverkare. Standardkomponenter som kondensatorer och motstånd med vanliga specifikationer behöver man inte lägga någon större tid på utan det är just de komponenter som på något sätt har mer unika egenskaper man bör fokusera på, som t.ex. vissa IC-kretsar, processorer, minnen och speciella diskreta komponenter. Om du inte vill betala för att ha egen tillgång till en databas kan du ta hjälp av företag som tillhandahåller tjänsten att gå igenom din BOM och analysera dina komponenters livscykeldata. På så sätt går det relativt lätt att få en bild av vilka komponenter du bör byta ut innan du kommit alltför långt i produktverifieringen.

En alltför vanlig verklighet är att komponenter man valt att använda under utvecklingen, till prototyper och certifiering blir gamla och börjar nå slutet på sin livscykel när den egna volymproduktionen börjar ta fart.

NRND och Obsolete. Att elektronikkonstruktörer konstruerar in komponenter som är nära att fasas ut (Not Recommended for New Design, NRND) eller rentav inte längre tillverkas (obsolete) är inget ovanligt. Detta sker på grund av att komponenter väljs bland sådana som man har god erfarenhet av i tidigare konstruktioner eller som exempelvis finns i interna komponentdatabaser på företaget. Dessa komponentdatabaser uppdateras vanligen alltför sällan vilket lämnar konstruktören utan kunskap om var i livscykeln komponenten befinner sig.

Nya komponenter. Ibland väljs komponenter som precis håller på att lanseras

(engineering samples) och som därför kan bli svåra att få tag på i den volym som behövs i närtid.

Unika komponenter. Om det finns faktorer som gör valda komponenter unika för din produkts funktion, markera det tydligt i BOM:en (se avsnittet om BOM) för att undvika att en annan till synes likvärdig och mer lättillgänglig komponent väljs istället av Tillverkaren. Bara för att databladet för två elektronikkomponenter ser lika ut så innebär det inte att de alltid beter sig på samma sätt i olika driftsfall. T.ex. kan stig- och falltider skilja mellan olika fabrikat av "samma" komponent vilket kan få ödesdigra konsekvenser i vissa konstruktioner.

Ett annat fall av unika komponenter är s.k. Design-in-komponenter, som är ett vanligt fenomen vid användning av mycket kostnadsdrivande komponenter. Uttrycket innebär att man i utvecklingsskedet gör en överenskommelse med komponenttillverkaren där de säljer en specifik komponent via en distributör till en specifik kund eller projekt. Denna överenskommelse görs oftast av Utvecklaren/Produktägaren med komponenttillverkaren som då sätter ett specialpris till just denna distributör. Distributören ombesörjer även teknisk support på komponenten i utvecklingsfasen. Bakgrunden till detta förfarande är att säkerställa att komponentdistributören får betalt för den support de tillhandahåller.

En variant av detta är när komponenttillverkaren själv ombesörjer supporten och direkt sätter ett specialpris.


Vid offertförfrågan är det viktigt att Tillverkaren blir informerad om att det förekommer komponenter i konstruktionen som omfattas av en Design-in-överenskommelse för att kunna sätta ett korrekt pris på tillverkningen.


Second Source. Tänk också på att försöka hitta en Second Source för dina valda komponenter så långt det är möjligt. Det underlättar för att undvika långa leveranstider eller produktionsstopp på grund av komponentbrist i framtiden.


Kemikalieinnehållet i komponenterna är något du också behöver ta hänsyn till vid val av komponenter. Det finns komponenter på marknaden som innehåller kemikalier som t.ex. inte är tillåtna enligt RoHS eller måste informeras om enligt REACH.

⇒ Kap. "4.1.1 Design for Compliance"

Slutanvändarintyg kan krävas för att du ska få använda vissa avancerade komponenter i en konstruktion. Det innebär att Produktägaren skriver på ett Slutanvändarintyg som tillhandahålls av komponenttillverkaren och oftast ska innehålla både vad produkten gör/ används till och vilka länder den kommer att säljas till. Detta för att förhindra spridning av avancerade komponenter, t.ex. vissa signalprocessorer, FPGA-er m.m. till önskade stater.

 Håll nere antalet olika värden på standardiserade chipkomponenter, E12 eller E24-seriens värden räcker oftast för motstånd.

 Dina komponentval kan medföra att offerterna du får från olika Tillverkare varierar i pris och ledtid då olika Tillverkare jobbar olika tätt med olika komponentleverantörer.

 Ha en tydlig överenskommelse om vem som ansvarar för olika delar av inköp av och förhandling om pris på komponenter. Om någon aktör har särskilda överenskommelser med komponenttillverkare eller distributörer ska man förstås utnyttja detta.

Life Cycle Management, handlar om att förvalta en produkt under hela dess livslängd. Observera att behovet av att producera de kretskort som ingår i produkten kan finnas i många år efter det att produkten slutat säljas för att garantera tillgången till reservdelar. Då är det viktigt att ha en plan för reservdelsförsörjning och service till sina kunder.

Medan en produkt är i produktion handlar det oftast om att hålla koll på när de olika komponenterna som ingår i produkten når EOL (End Of Life) eller när nya direktiv lanseras eller redan befintliga direktiv uppdateras så att komponenter inte längre kan användas. ⇒ Kap. "3. Produktregelverken". Om det inte finns godkända Second Sourcekomponenter vid dessa tillfällen kan det bli aktuellt med omkonstruktion.

Ett alternativ du har när en komponent når EOL är att köpa på dig ett lager innan datumet för LTB (Last Time Buy). Ett annat är att vid ett senare tillfälle gå ut på spotmarknaden och köpa överblivna komponenter där. Var då beredd på att du måste kvalitetssäkra komponenterna så att det verkligen är rätt komponenter du köpt och att de fungerar. Bäst är att ha en dialog runt detta med den Tillverkare du anlitat för produktionen av ditt kretskort.

4.1.3 Design for Manufacturing/ Production, DfM/DfP

Begreppen Design for Manufacturing och Design for Production används för samma sak, vilket innebär att man under konstruktionsfasen tar hänsyn till att produkten ska gå så lätt som möjligt att producera. Man talar ofta om producerbarhet. Ett mönsterkort kommer att passera många process-steg innan det är ett

färdigt kretskort och i det här kapitlet ger vi en överblick av dessa.

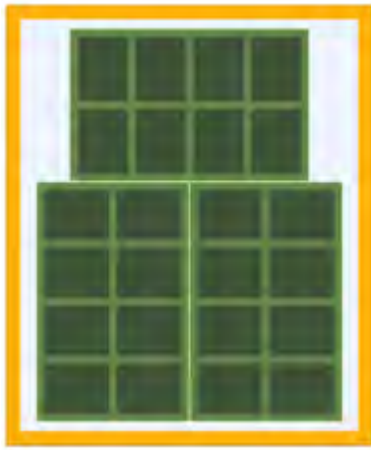
Mönsterkorterna levereras normalt i form av paneler vars storlek är anpassad efter Tillverkarens maskinpark, det är av största vikt att både Utvecklaren och Tillverkaren har en god dialog med mönsterkortstillverkaren så att råmaterialet kan utnyttjas så optimalt som möjligt. Detta gynnar både prisbild och miljöbelastning, se exempel nedan. När mönsterkorterna har bestyckats

med sina komponenter kan panelerna delas till separata kretskort. Eventuella efterbehandlingar och tester kan ske både innan panelerna delas och efter.

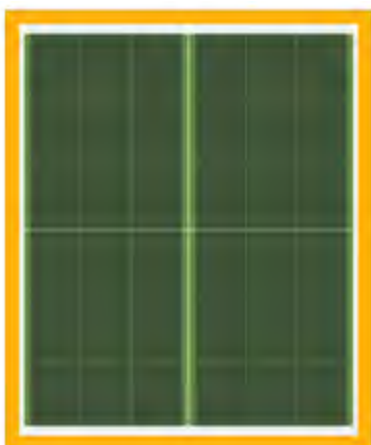
⇒ Kap. "4.1.4 Tumregler för konstruktion av mönsterkort och kretskort"

⇒ Kap. "6.3.5 Panelritning"

Exempel på hur samma kortstorlek men på olika leveranspaneler påverkar utnyttjandegraden av mönsterkortstillverkarens produktionspanel.



Kortstorlek om 70*90 mm på en kundpanel som är 210*330 mm vilket ger ett utnyttjande av 48,9%.



Kortstorlek om 70*90 mm på en kundpanel som är 226*270 mm vilket ger ett utnyttjande av 73,3%.

SMT (Surface Mount Technology), d.v.s. ytmontering, är oftast kärnprocessen i dagens nyutvecklade elektronikprodukter och med kretskort där nära 100% av komponenterna är ytmonterade har man redan här en kostnadseffektiv produkt. I processen ingår delprocesser i form av dispensering och/eller screentryckning av lodpasta, komponentplacering, omsmältningslödning samt ett antal kontrollsteg. Kontrollsteg som t.ex. SPI (Solder Paste Inspection), AOI (Automated Optical Inspection) och AXI (Automated X-ray Inspection) kan inkluderas In-line som en del av processlinan alternativt har man dessa kontroller Off-line.

Referenspunkter eller siktmärken på kretskortet är ett standardkrav för att få till en optimerad ytmonteringsprocess. All produktionsutrustning stödjer inte alla varianter av utseende på referenspunkter så här kan man få tips av Tillverkaren, se exempel nedan på två rekommenderade varianter som oftast fungerar. Referenspunkter används också för att centrera korten i många andra processer (t.ex. screentryck och avsyning). Notera att referenspunkter ska vara på båda sidorna på ett dubbelsidigt mönsterkort även om komponenter bara monteras på en sida. Lägg in två-tre siktmärken på kortet, inte fyra. Med fyra likadana märken symmetriskt placerade kan kortet vridas hur som helst av misstag.



Rekommenderade utformningar av referenspunkter.

Dispensering kan antingen ske genom att använda en laserskuren eller etsad plåt, där lodpasta screenas på mönsterkortet alternativt kan direkt dispensering (jetting) användas.

Även lim kan dispensereras i senare steg när lodpasta har applicerats.

Det finns ett stort antal parametrar kring denna process i form av tryck, hastighet, rakel-utformning och rengöringsintervall, som är kritiska för att få ett fullgott resultat.

Placering av komponenterna (Pick and place), sker genom att en ytmonteringsmaskin vanligen plockar och placerar komponenterna med hjälp av nozzlar (vacuum). Monteringsnoggrannhet och repeterbarhet varierar beroende på utrustning och skall väljas och matchas utifrån produkternas komplexitet. Vissa komponenter kan på grund av storlek, form eller vikt kräva komponentunika plockverktyg.

Okapslade komponenter, till exempel "flip chip", monterar man direkt på mönsterkortet, med kontaktytorna nedåt, där man sedan löder denna wafer direkt mot mönsterkortet. Man kan även placera en wafer med kontaktytor uppåt på ett mönsterkort, men då krävs en helt annan process som sker efter SMT-processen, se Chip-on-Board längre fram i detta kapitel.

Lödningen av SMT-komponenterna utförs vanligen genom omsmältning vilket kan ske med en varmluftsugn (reflow) alternativt ångzonsugn (kondensationslödare).

Vid omsmältning är temperaturen i de olika värmezoner, hastighet på transportbandet och effekt på ugnen några viktiga parametrar som måste samverka för att få ett fullgott lödresultat.

Styrning av SMT-processen sker genom en rad kontroller i form av SPI, AOI, AXI

och X-Ray. Dessa finns beskrivna i
⇒ Kap. "6.2 Beskrivning av olika tester".

THT (Through Hole Technology), d.v.s. hålmontering, används fortfarande även om den är svår att automatisera. Det är helt enkelt så att det fortfarande finns komponenter som inte kan göras om till ytmonterade. Hålmonterade komponenter bör om möjligt undvikas då hanteringen är mer omständlig eller rent av kräver manuell montering. I processen ingår en rad delprocesser såsom preparering, maskering, förmontage, montage och lödning. Kontroll kan ske med AOI alternativt manuell avsyningskontroll.

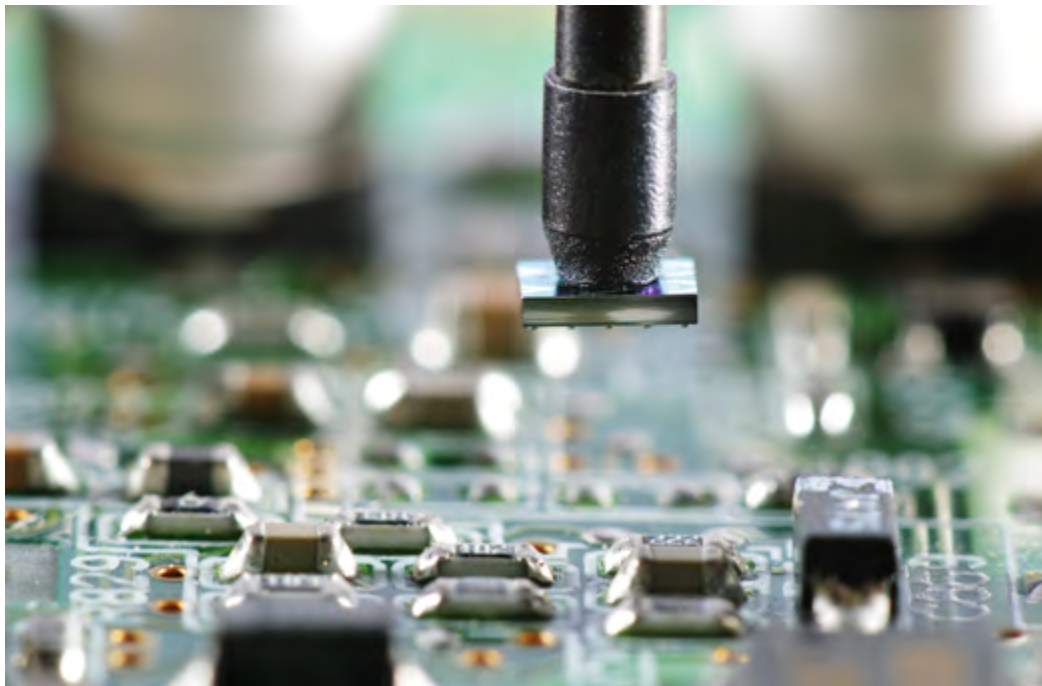
Preparering innebär klippning och formning av komponenternas ben. Allt från manuell formning och klippning till helautomatiserade maskinlösningar finns att tillgå.

De enklare prepareringsmaskiner som vanligen används, klipper bandade kom-

ponenter för direktapplicering dikt an mot mönsterkortet. Lite mer avancerade maskiner kan forma komponenterna så att de placeras på ett visst avstånd ovanför mönsterkortet. Detta är ett alternativ till att använda färdiga distanser som finns att köpa. Även specialformning av komponentben förekommer, där komponentunika verktyg och lösningar behöver tas fram.

Förmontage gör man på snäpp-in-komponenter samt komponenter som kräver fästelement.

Montage görs sedan av de komponenter som ska lödas. I princip allt montage i Sverige sker idag manuellt, om inte produktunika volymlösningar tas fram. Förr användes ofta automatiska placeringsmaskiner men dessa har försvunnit i samband med att de flesta komponenterna idag är ytmonterade.



Ytmonteringsmaskin som monterar SMT komponenter med vacuumverktyg.

Lödning av hålmonterade komponenter sker med våglödning, selektivlödning eller med manuell handlödning.

Våglödning sker i öppen ram alternativt i en selektiv lödrum där man endast öppnar upp de områden som skall lödas. Val av fluss, värmeprofil, hastighet, lutning och utformning av vågen är viktiga parametrar för lödprocessen. Det är vanligt förekommande att man i lödprocessen använder kväve (kvävehuv) för att skapa en inert miljö och för att förhindra oxidering under lödningen (ökat processfönster). Non-clean fluss är det vanligast förekommande flussmedlet som gör att man inte behöver rengöra kretskortet efter lödprocessen. Selektivlödare är specialanpassade för att löda dubbelsidigt monterade kretskort där både hålmonterade och SMD-komponenter förekommer på mönsterkortet.


Vid handlödning är temperatur, val av spets, utbildning och erfarenhet viktiga parametrar. Många komponenter kräver idag att lödarbetet sker under mikroskop.



Ett modernt kretskort med en blandning av yt- och hålmonterade komponenter.

Förutom THT- och SMT-processer finns det en rad andra processer som används vid kretskortstillverkning såsom paneldelning, tvättning, chip-on-board, underfill, coating och pressfit.

Non-clean fluss behöver i regel inte tvätt, men vissa applikationer har extra krav på renhet och kan därför kräva tvätt. Även inför lackning kan det ibland krävas tvätt. Det finns en rad olika tvättmetoder där den enklaste, men också minst effektiva är tvätt med avjoniserat vatten. Det finns även mer avancerade tvättmetoder som inkluderar kemikalier och allt från industridiskmaskiner till mer avancerad utrustning.

Chip-on-board innebär att man placerar en wafer direkt på mönsterkortet och använder sedan wirebonding,  Bilaga "Litteraturlänningar", där man sedan oftast kapslar in komponenten med en globtop-massa. Processen kräver renrum och inkluderar samma teknologi som vid tillverkning av många IC-kretsar.

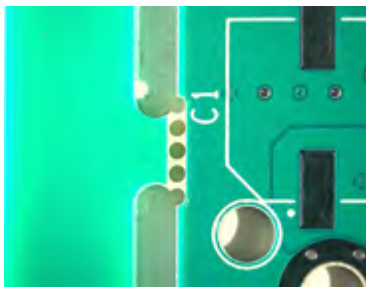
Underfill används ofta för att mekaniskt stärka upp BGA-kretsar genom att låta en underfill-massa rinna in under kretsen. Sidefill kan användas på liknande vis, på komponenter som ligger dikt an mot mönsterkortet, t.ex. QFN.

Pressfit används för vissa höghastighetskontaktbänkar och även en del andra komponenter istället för lödning. Komponentbenen är utformade för att pressas mot kanten på monteringshållet och skall tryckas ned med en kontrollerad kraft i mönsterkortet. Verktyg eller fixtur krävs som fixerar både komponenten på ovasidan av mönsterkortet och håller emot på undersidan.

Silikonering, lackning och ingjutning är några sätt att skydda kretskorten mot bl.a. fukt.

Lack kan appliceras manuellt genom doppning, pensling eller spray, alternativt automatiserat med hjälp av robot.

Paneldelning för brytnabbar bör, trots dess namn, ske med fräs. Stans eller handverktyg skall användas i undantagsfall och då med stor försiktighet. Paneldelning av V-cut görs med speciella knivblads-delare. Det är viktigt att man väljer rätt verktyg och metod för att dela paneler, så att man inte får sprickor i lödfogar eller komponenter efter delning.



Exempel på brytnabb.



Exempel på V-cut.

☛ S.k. MELF-komponenter (Metal Electrode Leadless Face) skall om möjligt undvikas då de gärna rullar iväg på mönsterkortet under produktionsprocessen. Deras lödfog är mindre och därmed mekaniskt mindre stabil än andra ytmonterade komponenters.

☛ Får man plats med en ytmonterad komponent med större kapsling är detta att föredra mot en mindre då de är lättare att montera och lättare att inspektera efter genomförd lödning. T.ex. använd 0603-storlek istället för 0402 och 0201 om möjligt.

☛ IPC-A-610 innehåller mycket nyttig kunskap om elektronikmontering.

4.1.4 Tumregler för konstruktion av mönsterkort och kretskort

Detta kapitel hänger tätt samman med föregående kapitel, Design for Manufacturing, och är tänkt som en checklista med tumregler för konstruktion av kretskort och mönsterkort för att underlätta producerbarhet och säkerställa kvaliteten. Dessa tumregler baserar sig på lång erfarenhet av elektronikproduktion och ska kunna användas av de flesta som en utgångspunkt för den egna konstruktionen. Det är dock viktigt att var och en tar ställning till om dessa tumregler ger rätt lösningar för den egna konstruktionens funktion.

Lodpastastencilens tjocklek ska huvudsakligen bestämmas av lödfogens tillförlitlighet. Erfarenhet har visat att tjockleken har stor betydelse för detta. Planhetsspecifikationen för komponenter med många anslutningar är typiskt 100 µm. Rekommenderad tjocklek för lodpastastencilen är därför 125 µm istället för den vanligare tjockleken 100 µm även för:

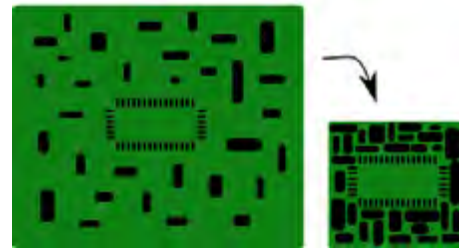
- QFN-kapslar
- Keramiska komponenter ned till och med 1005 (0402 imperial)
- Oscillatorer (kräver även ofta pastamaskförstoring för att öka avståndet något till mönsterkortet)

För öppningar i lodpastastencilen behöver man veta att:

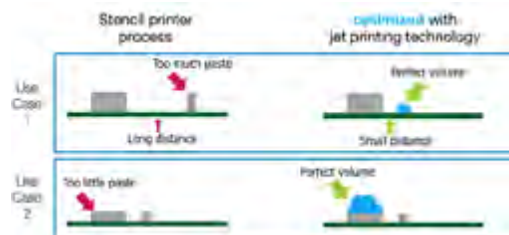
- Öppningar får inte vara större än 3,5 mm, annars skrapar rakeln bort för mycket lodpasta
- Hörnen på stencilens öppningar bör vara rundade med en rekommenderad radie på 125 μm för att lodpastan ska släppa bättre från stencilen
- Det finns metoder (s.k. nano-coating) för att ytbehandla stencilen så att öppningarnas väggar blir slätare för att ytterligare förbättra släppet
- För BGA bör pastaöppningen vara större än lödön. Det ger ett ökat avstånd mellan komponenten och mönsterkortet vilket gör det lättare att tvätta kretskortet om behov av detta finns. En kvadrat med samma sida som lödöns diameter ska användas

Jet printing eller "Jetting" är ett alternativ till att använda lodpastastencil. Jet printing använder en teknik som liknar hur en bläckstråleskrivare fungerar. Med hjälp utav piezo-teknik eller pneumatik skjuter man med hög hastighet ut lodpasta på mönsterkortet. Fördelarna med denna teknik är att den är helt mjukvarustyrd, vilket möjliggör snabba iterationer av en ny konstruktion, optimering och korrigerig "on the fly" i produktionen och väldigt snabba byten mellan olika jobb.

Förutom snabbheten att ställa om mellan olika jobb så löser denna teknik problematiken med att många komponenter egentligen behöver olika tjocklek på lodpastan för att lödfogen ska bli optimal. Med lodpastastencil är tjockleken ofta en kompromiss mellan olika komponenter, då man ofta strävar efter att endast ha en tjocklek på lodpastastencilen.



Med Jet printing slipper man denna typ av problem då varje individuell lödö kan volymanpassas och konstruktionen av kretskortet kan optimeras för att bli mindre och mer kompakt utan att behöva ta hänsyn till lodpastastencilens begränsningar. Volymen på varje lödö byggs upp av det minsta antalet skott som behövs för att uppnå målvolymen samtidigt som hänsyn tas till storleken och positioneringen på lödön.

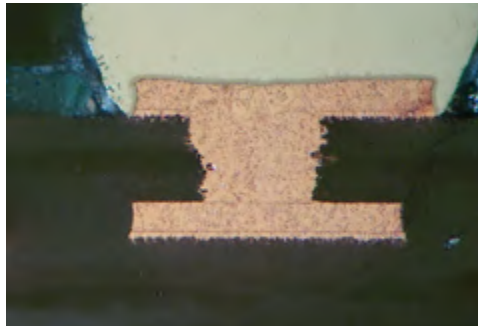


Med Jet printing vinner man i flexibilitet på bekostnad av tid i jämförelse med lodpastastenciler, men vid högvolymsproduktion kan det vara fördelaktigt att kombinera lodpastastencil med jet printing. Genom att kombinera båda teknikerna åtnjuter man den höga hastigheten vid användning av lodpastastencil och får flexibiliteten och volymnoggrannheten hos jet printern.

Vior i lödöar bör undvikas för att inte minska lödfogens tillförlitlighet.

- Vid genomgående och blinda borrhål vior suges lodet ned i viahålen och resulterar i för lite lod på ytan.

- Vid genomgående vior kan dessutom lodet bilda ojämnheter som kan skapa problem på motstående sida, exempelvis om man vill använda en kylfläns eller trycka lodpasta i en andra lödning
- Vid användning av mikroviar bildas luftinneslutningar som expanderar och som är en potentiell risk under lödprocessen. Mikroviar i lödytor ska därför fyllas med ledande material t.ex. koppar.



Kopparfylld mikrovia.

- Vior i termiska lödytor rekommenderas inte och bör minimeras om de inte pluggas, d.v.s. fylls med epoxy eller liknande enligt IPC 4761 metod VI eller VII. Däremot kan vior med fördel läggas utanför själva lödön, skyddad av lödmask, om det finns plats.

Lödöar

- BGA-lödöar på mönsterkortet ska vara lika stora som på BGA-kapseln om de är lödmaskdefinierade. Om de är koppardefinierade ska diametern minskas till 85%. Detta gäller om de är lödmaskdefinierade på BGA-kapseln, vilket de i allmänhet är. Om de är koppardefinierade på BGA-kapseln bör de vara det även på mönsterkortet med samma diameter som på BGA-kapseln. Det är olämpligt att blanda lödmaskdefinierade och koppardefinierade lödöar inom samma BGA-kapsel.

- För chipkomponenter som är 1608 (0603 imperial) eller mindre ska lödöarnas kopparanslutningar ha samma termiska massa. Det rekommenderas att använda "thermal relief" lödöar om anslutningen ligger i plan. Annars finns risk för "gravstenseffekten" (s.k. tombstones).
- För att minska risken för överlödningar är rekommendationen att ha lödmask mellan lödöarna på QFP:er utan att reducera storleken på lödön. Rekommenderad minsta bredd är 0,08 mm men är leverantörsberoende, rådgör med tänkt mönsterkortsleverantör.
- Det är inte att rekommendera att lödmasken kommer upp på lödön (undantag: lödmaskdefinierade lödöar), även om detta tillåts av IPC på alla lödytor förutom BGA lödöar. För att ta hänsyn till tillverkningsstoleranser måste lödmasköppningen vara 100 µm (50 µm per sida) större än själva lödön.

Komponentmontering

För att underlätta monteringen av ett kretskort finns det vissa tumregler man bör hålla sig till.

- Komponenter äldre än 12 månader bör inte användas i serieproduktion om de inte förvarats korrekt. Korrekt förvaring innebär inert miljö som exempelvis vakuum eller kvävgas.
- Vid pin-in-paste-teknik ska pinnarna inte sticka ut mer än 0,5 mm genom mönsterkortet. Lodpastan kan annars bilda en droppe som i värsta fall ramlar av i ugnen och skadar den. Följden blir även för lite lodpasta i lödfogen.

- Vid dubbelsidig bestyckning ska stora skillnader i antal komponenter på topp- och botten sida (>20%) undvikas. Kostnaden minskar eftersom monteringsmaskinen får lättare att optimera monteringen.
- Vid dubbelsidig bestyckning bör man se till att det finns marginaler mellan hålmonterade komponenters ben och ytmonterade komponenter för att underlätta handlödning, selektivlödning eller selektiv våglödspanel. Krav från Tillverkaren ligger vanligen på ungefär 4 mm.
- Komponenter bör av avsyningsskäl placeras roterade 0° eller 90°.
- Kapslar som ligger direkt an mot mönsterkortet, exempelvis QFN, ska inte monteras på sida som ska våg- eller selektivlödning. QFN-kapseln måste skyddas från lödvågen. Flussmedlet som sprayas innan selektivlödning kan tränga in under kapseln och orsaka elektrokemisk migration (ECM).
- Kretsar med hög impedans ska inte placeras på den sida av ett mönsterkort som ska selektivlödning. Flussmedel kan vara korrosivt och orsaka elektrokemisk migration (ECM) eller ändra impedansen för känsliga kretsar.
- Höga (>5 mm), tunga och hålmonterade komponenter såsom elektrolytkondensatorer och induktorer ska placeras bara på ena sidan av mönsterkortet för att underlätta monteringen. Tung och hålmonterade pin-in-paste-komponenter måste sitta på samma sida annars ramlar de av vid omsmältningslödning. Tänk även på att ugnen kan ha begränsat med utrymme nedåt.
- Komponenter som till hög grad absorberar röntgenstrålning (t.ex. komponenter med hög densitet) ska vid dubbelsidig monterning inte överlappa komponenter som monteras i andra omgången. Inga komponenter får placeras under en BGA som skymmer sikten för BGAs lödningar eftersom röntgenstrålningens synfält skuggas. Minimera antalet små komponenter (avkopplingar) som skymmer lödfogar.
- Vissa komponenter (t.ex. kontaktdon) måste placeras med komponentkroppen utanför mönsterkortets kant. Detta är inte tillåtet om inte komponenten sitter fast mekaniskt eller om komponenten stör monteringslinans transportband. Diskutera och utforma panelen ihop med vald EMS för att inte försvåra produktion av kretskortet.
- Tänk på att inte placera komponenter för nära kanten. Minst 2 mm från mönsterkortets kant är en bra tumregel. Komponenter nära kant utsätts oftare för stress och kan sitta i vägen för monteringslinans transportband.
- Man bör undvika keramiska ytmonterade komponenter nära brytnabbar och V-cut. När panelerna delas längs brytnabbarna eller V-cut kan små komponenter lätt förstöras av mikrosprickor när kretskortet flexar av brytrörelsen. Om det går att ha ett kopparplan precis där brytnabben är så hjälper det till att hålla ihop laminatet vid delning.
- Tänk på att lämna tillräcklig plats för mekanik, monteringshål, kylflänsar, kontaktdon, fästvinklar, märkning och att det går att komma åt med skruvmejslar,

monteringsverktyg för pressfitkomponenter, nitverktyg m.m. under tillverkningen.

- Stäm gärna av med vald Tillverkare innan ni påbörjar ert CAD-arbete av produkten.

Selektivlödning

Blyfri selektivlödning är en process med stor risk för överlödningar. Pressfit är i många fall en bättre lösning när det gäller kvalitet och pris. Om selektivlödning ändå behöver användas, finns det saker att tänka på.

- Vid selektivlödning ska benavståndet vara minst 2,54 mm och benet ska sticka ut 0,5 mm–1,5 mm genom mönsterkortet, annars finns risk för kortslutning.
- Vid selektivlödning ska hålets diameter vara benets maximaldiameter (plustolerans) + 0,4 mm för att kapillärkrafterna ska fungera väl.
- Vid selektivlödning bör hålkragen "annular ring" vara 0,5 mm. Om komponenten löds manuellt krävs viss storlek på lödön för att denna inte ska gå sönder. Temperaturchocken vid lödning förstör lödön om den saknar tillräckligt stor fästyta mot laminatet på grund av z-expansion.
- Vid selektivlödning ska en 5 mm begränsningsyta användas som förhindrar översprutning av flussmedel på SMT-komponenter. Ej aktiverat flussmedel kan skapa elektrokemisk migration (ECM). Dessutom kan små ytmonterade komponenter dras med av den smälta lodpastan.
- Vid selektivlödning ska avståndet mellan komponent och mönsterkort vara minst 0,3 mm annars har flussmedlet svårt att gasa ut.
- Vid selektivlödning är det en fördel att använda runda ben. Runda ben har ett vidare processfönster jämfört med ben med rektangulära tvärsnitt.
- Vid selektivlödning är det angeläget att använda termisk avlastning vid anslutning till kopparplan för att uppnå en jämn uppvärmning av det pläterade hålet och säkerställa en fullgod uppflytning av lodet och underlätta avsyningen.
- Vid selektivlödning får avståndet mellan en kontakts upplinjeringspinnar i plast och ben som ska lödas inte understiga 4 mm. Upplinjeringspinnarna kan deformeras och det kan bildas tennkulor som senare kan lossna.

Lackning av kort

- Ibland måste applikationen lackas, s.k. "conformal coating". Det beror oftast på att kretskortet i sin applikation ska klara miljökrav såsom fukt och damm.
- Tänk på att lacken har en maximal temperatur som den tål. Vissa komponenter på kretskortet kan bli varmare än så, speciellt om kretskortet är inkapslat, och därmed påverka lacken.
- Tänk på att lacken med sina elektriska egenskaper kan störa kretsens funktion, t.ex. RF-kretsar.
- Lackning kan störa den mekaniska monteringen av kretskortet i dess kapsling. Därför bör man definiera ett begränsningsområde för lackningen för kretskort som ska monteras i mekanik.

- Den vanligaste appliceringsmetoden är att lacken robotsprayas ner mot kortet genom ett munstycke som sprider lacken. Konstruktören bör se upp med komponentplaceringen, för att undvika att komponenter som inte ska lackas översprutas. Det finns också en risk att lacken kan studsas från höga komponenter. Därför bör en lackritning skapas som beskriver de områden och komponenter som ska lackas. Maskning av kretskort kan också vara en lösning, men bör om möjligt undvikas eftersom det är kostsamt.
- Tänk på att vidhäftningen mellan lacken och lödmasken kan variera mellan olika fabrikat, rådgör med vald mönsterkortsleverantör för bästa resultat. Ibland kan praktiska prov vara nödvändigt för att verifiera slutligt resultat.
- Vissa komponenter måste täckas över under lackningen för att inte fyllas med lack, t.ex. sumrar, kontaktdon, m.fl. Då måste det finnas utrymme att komma åt att sätta dit eller ta bort skyddstejp m.m.
- Försök behålla kortet i produktionspanel vid lackning, det underlättar hanteringen.
- Det finns forskningsrön om att lack kan göra blyfria lödfogar mindre tillförlitliga.

 Bilaga "Litteraturhänvisningar"

 Kap. "5.1 Några Riskområden"

Underfyllnad av BGA'er (underfill)

- En metod för att minska stressen på lödningar för en BGA är att efter lödprocessen förankra komponenten med ett lim. Detta i synnerhet om konstruktionen utsätts för kraftiga vibrationer eller

stötar. Limmet appliceras med dispenser och tränger in under komponenten med hjälp av kapillärkraft.

- Om underfyllnad behöver användas krävs ett visst avstånd mellan BGA'n och närliggande komponenter, dels för att komma åt att utföra själva limningen, dels för att limmet ska vandra i rätt riktning. Diskutera med vald Tillverkare för att undvika problem.
- Vissa BGA'er har inte en hel matris av lodkuler. Det kan skapa problem med luftfickor eftersom kapillärkrafterna inte klarar av att fylla ut under hela BGA'n. Om kretskortet inte har tvättats eller om det finns flussrester kvar under BGA'n efter tvättningen kan flussresterna också orsaka luftfickor.

Allmänna rekommendationer

- En konstruktionsgranskning av producerbarheten (DfM/DfX) utförs lämpligen av Utvecklaren/Tillverkaren/Mönsterkortstillverkaren tillsammans. De avvikelser som inte går att åtgärda med nya underlag behöver Tillverkaren godkänna. Dokument med signerade avvikelser ska bifogas beställningsdokumentationen.
- Mönsterkorts materialet för styva mönsterkort bör refereras i enlighet med IPC 4101 standarden. Om inte särskilt syfte finns så bör man undvika att specificera ett unikt fabrikat. En kravbild kan t.ex. se ut enligt följande: "FR4 material enligt IPC-4101/99"
- Parametrar som påverkar valet av basmaterial är t.ex. antal lager, korttjocklek, koppardtjocklek, hålstrukturer, antal lödprocesser, driftmiljö, blyad/blyfri lödprocess.

- Rådgör gärna med vald mönsterkortstillverkare om materialval.
- Undvik högre krav än +/- 0,15 mm på mönsterkortets yttermått.

Mönster på mönsterkort

- För att reducera risken för böjda och vridna kort, "bow and twist", ska kopparytorna vara balanserade inom 20%. Gäller både inom ett lager och för hela lageruppbyggnaden.
- För att undvika lödmaskrester i ej pläterade hål bör det finnas en frigång i lödmaskfilerna som är hålets diameter plus 0,2 mm.
- För att säkerställa en god lödmasktäckning av ledare/koppar måste lödmasken överlappa kopparen med minst 75 µm.
- Minsta storlek för genomgående borrar via som inte driver extra kostnad är 0,25 mm efter plätering (gäller kortjocklek upp till 1,6 mm)
- Minsta storlek för en laserborrad via som inte driver extra kostnad är 0,1 mm.
- Minsta rekommenderade ledarbredd/avstånd mellan ledare är 100 µm/100 µm som inte driver extra kostnad. Vid baskoppartjocklekar större än 18 µm (1/2 oz), rådgör med vald mönsterkortstillverkare för rekommendationer på lämplig ledarbredd/avstånd mellan koppar.
- Vid behov av mindre ledarbredder/avstånd mellan ledare, rådgör med vald mönsterkortstillverkare.

- Alla anslutningar till vior och lödöar till en BGA eller pressfit skall ha kragförstärkningar ("teardrops") om det finns plats. Kragförstärkningar minskar risken för brottanvisning och ökar registrerings toleransen för borr. Kort som konstrueras för att uppfylla IPC klass 2 skall ha kragförstärkningar.

- Rekommenderad hålkrag skall vara minst 0,3 mm större än hålets diameter.
- För laserborrade hål skall hålkragen vara minst 0,2 mm större än hålets diameter.

4.1.5 Design for Test/DfT

För att nå önskad kvalitet på det kretskort som man avser att producera ska man tänka "Design for Test". Olika produktionsmetoder ställer nämligen olika krav på konstruktionen för att kunna utföras. När ett mönsterkort är färdigutvecklat är det kostsamt att börja anpassa det för olika tester, så gör detta redan från början.

Man bör göra en testtäckningsanalys på sin konstruktion för att kunna bestämma lämplig(a) testmetod(er) och i och med det bygga in förutsättningar för att enkelt utföra de valda testerna. Anpassningar mot tänkta testgränssnitt får inte glömmas bort, exempelvis styrhål, testpunkter, siktmärken, testkontakter m.m. Annat att tänka på är om kretskorten ska testas i panel eller som separata kort när panelerna är delade.

⇒ Kap. "6.2 Beskrivning av olika tester"

Begreppen Test och Verifiering används ibland om vartannat. Men när man talar om verifiering menar man vanligen det arbete som Utvecklaren gör för att säkerställa att den framtagna konstruktionen

uppfyller ställda krav. Det kan både handla om funktionsverifiering och en bredare verifiering, t.ex. av miljökrav eller EMC-krav.


Testning syftar vanligen på den provning som Tillverkaren gör på tillverkade produkter för att säkerställa att tillverkningsprocess, kretskort och komponenter fungerar.

Testerna görs antingen på alla tillverkade produkter/kretskort eller bara på stickprov. Här måste Produktägaren komma överens med Tillverkaren om vad som ska göras och vem som ska betala för eventuell testspecifik hårdvara och mjukvara. Det är ganska vanligt att man inledningsvis testar alla tillverkade kretskort, men att man går över till stickprov när tillverkningen blivit tillräckligt stabil och felutfallen är få.


Spårbarhet är en viktig kvalitetsparameter och man bör vara överens om hur testresultat ska sparas så att det är möjligt att vid behov gå tillbaka och se trender eller hitta enskilda individer som t.ex. uppvisar fel i fält. Det senare kräver att varje kretskort har ett unikt serienummer redan under tillverkningen, som också registreras vid testningen.


Vem ska utveckla testerna och testverktygen? Detta kan göras av Produktägaren, Utvecklaren, Tillverkaren eller av någon extern part som är specialiserad på testutveckling. Se bara till att ni är överens om detta så tidigt som möjligt i projektet då testverktyg är förenade med extra kostnader.


Vem äger testverktygen och testprogramvaran? Och vem är ansvarig för underhåll och framtida uppgraderingar? Detta är viktiga frågor att vara överens om innan serieproduktionen drar igång.


 Bilaga "Litteraturhänvisningar"


Testtips


 I vissa fall kan man få tester "på köpet" när andra moment utförs. Ett exempel är om du låter Tillverkaren ladda ner programvara på ditt kort. Då får du automatiskt en kontroll utförd av att vissa delar av kretskortet fungerar.


 Besök den Tillverkare du tänkt använda och titta på deras processer och produktion. Då kan du lättare utveckla en produkt som är rationell att producera.

 Om ICT-testning skall användas, säkerställ att det finns ett tillräckligt avstånd mellan SMD/THT lödöar och ICT-punkter så att inte testnålarna kontamineras med rester från flussmedlet.

 Glöm inte bort anpassningar mot tänkta testinterface! Exempelvis siktmärken, styrhåll, testpaddar, testkontakter m.m. samt huruvida kretskortet ska testas på panel eller separat.

 Vem äger och vem underhåller testutrustningen? Produktägaren eller Tillverkaren? Se till att det framgår tydligt i ert avtal.







 Välj om möjligt anslutningar och kontaktdon i testutrustningen som tål att anslutas många gånger eller inkludera särskilt konstruerade slitdelar som byts ut med jämna mellanrum innan de ställer till med problem i produktionen.

 Om kretskortet ska lackeras, försök att utforma testet så det går att utföra utan att ta isär produktionspanelen. Detta underlättar testningen och hanteringen av de lackade kretskorten.



4.1.6 Design for Failure/ Värsta misstagen


Detta kapitel ska förstås tolkas skämtsamt; ingen vill konstruera en dålig produkt men det händer ändå alltför ofta att lanseringen fördröjs eller än värre att produkten inte fungerar som den ska hos kunden. Vad är det då som kan ligga bakom? Här nedan finns en lista med ett antal vanliga misstag som härstammar från många års samlade erfarenheter. Misstagen listas utan inbördes ordning.


Hur man förlorar tid i produktutvecklingen:


-  Återanvänd aldrig en fungerande lösning.
-  Läs aldrig komponenttillverkarnas datablad.
-  Lägg ingen onödig tid på tekniska diskussioner och granska framför allt inte varandras arbete. Konstruktör, layoutare och Produktägare jobbar separat och ingen granskar vad den andra gör, så att alla felaktiga antaganden upptäcks i slutet av projektet.
-  Involvera inte mekanikkonstruktör, inköpare, produktionstekniker eller någon som kan EMC förrän konstruktionen är klar.
-  Börja fundera på hur produkten ska testas i serieproduktion när den är färdigkonstruerad.
-  Vänta med att kolla upp vilka regulatoriska krav som finns på produkten till precis före lansering då produkten ska CE-märkas.


Tips på hur man åstadkommer svårösta tekniska problem:

-  Strunta i avkopplingskondensatorer eller placera dem långt bort från berörd komponent samtidigt som konstruktionen saknar jordplan.
-  Gör alla ledare på kortet riktigt tunna, speciellt de ledare som bär mycket ström eller de ledare som jordar en komponent som hanterar höga frekvenser.





 Skippa lageruppbyggnad på mönsterkortsritningen och låt mönsterkortstillverkaren göra lite som den vill. Kan förstärkas genom att byta mönsterkortstillverkare då och då så att uppbyggnaden av mönsterkorten blir olika från gång till gång.

 Impedansanpassning låter jobbigt, det struntar jag i.





 Håll nere antalet lager i mönsterkortet till ett absolut minimum med väl perforerade spänningsplan och jordplan som följd. Eller strunta helt i ett homogent jordplan.

 Gör switchnoden i en egenkonstruerad DC/DC-krets så stor som möjligt och omringa helst känsliga och högimpediva komponenter med denna nod.

Tips på hur man försvårar produktunderhållet:

-  Välj komponenter som befinner sig i slutet av sin livscykel.
-  Använd filnamn utan koppling till revision så att varje fil måste öppnas för att veta vilken revision den har.
-  Höj bara revisioner när någon stor ändring gjorts; mindre förändringar kan skötas per mail med tillverkaren.
-  Se till att det inte går att spåra vilken mönsterkortsartikel du håller i handen. Undvik t.ex. att lägga till artikelnumret som text etsat i koppar.

Kontakttonsspecial:

-  Placera kontaktton riktigt nära varandra, så att kablaget inte går att ansluta.
-  Det är fusk att markera pinne 1 i screentryck. Roligare är att låta montören gissa!
-  Granska kontaktpinning bara på kretskortet. Den sida som kablaget ska ansluta till är någon annans problem.
-  Välj samma kontaktton till flera, gärna helt olika funktioner, så att användaren enkelt kan koppla fel. I bästa fall brinner konstruktionen upp helt och hållet, så slipper du få jobbiga retur.

4.2 Schema

Ett **Schema**, (även kallat kopplingschema eller kretsschema) är en grafisk representation av en elektrisk krets. Schemat visar ingående komponenter och förbindelserna mellan dessa med hjälp av standardiserade symboliska representationer.

Scheman används för konstruktion och för underhåll av elektrisk och elektronisk utrustning. Tillverkaren behöver egentligen inte det elektriska schemat för att tillverka kretskortet, men om Tillverkaren ska ansvara för framtagning av produktionstester eller för felsökning är det nödvändigt.

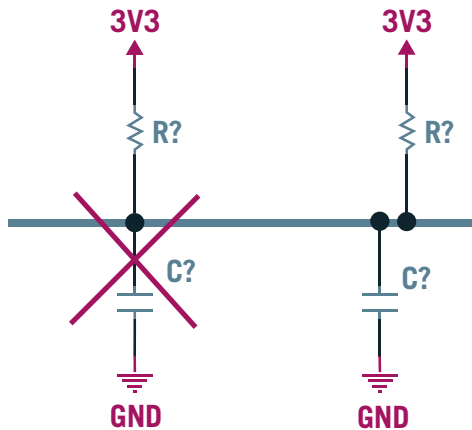
För konstruktion av scheman används CAD-program, se ➔ Kap. "4.3.2 CAD och layout" och ➔ Kap. "4.4. Utvecklingsverktyg". Förutom att skapa den grafiska bilden av kretslösningen skapas även underlaget för konstruktion av mönsterkortet med samma verktyg. Valet av CAD-verktyg och formatet på sparade filer måste därför gå att överföra till de verktyg som används när layoutarbetet på mönsterkortet ska göras.

Ett schema bör innehålla direktiv till mönsterkortskonstruktören som ska göra layoutarbetet. Men elektronikkonstruktören kan och bör normalt vara delaktig i layoutarbetet, eftersom hen vet hur hen har tänkt under konstruktionsarbetet och bidrar därmed med viktig information. Det är viktigt att elektronikkonstruktören går igenom konstruktionsunderlag och schema med mönsterkortskonstruktören. Prata igenom svårigheter, risker och förväntningar på ett tidigt stadium.

Hur man ritat ett schema är mycket en smaksak och beror även på vilket CAD-program man använder, men nedan listas ändå några tips som kan vara bra att tänka på:

- Övergripande tips är att komma ihåg att schemat är till för att förstå den elektriska funktionen.
- Om schemat omfattar flera sidor, försök att gruppera funktioner så att varje sida kan få en kort rubrik.
- Signaler ska i möjligaste mån gå från vänster till höger.
- Packa inte sidorna för fulla.
- Håll schemasidorna i liggande A3 eller A4, så blir de läsbara på utskrifter och på helskärm.
- Försök få ett flöde i schemat som motsvarar funktionen. Lägg exempelvis avkopplingskondensatorer i schemat nära de pinnar som de ska avkoppla.
- För komponenter som har utbytbara pinnar, exempelvis GPIO (General Purpose Input/Output) på processorer, välj pinnar efter vad som blir bra i layouten snarare än vad som faller sig naturligt i schemat.
- Välj signalnamn så att de säger något om vad signalen är och ha inte flera namn som är förvillande lika men olika, undvik t.ex. att använda både "+5V" och "5V".
- Skriv information i schemat som underlättar granskning, t.ex. hur höga strömmar block eller utgångar är dimensionerade för.
- Märk ut isolationsbarriärer och farliga spänningar om sådana finns.
- Strukturera numreringen av komponenter på ett stringent sätt, t.ex. att alla komponentnummer börjar på 100 på sidan 1 och 200 på sidan 2 etc. Fördelen är att i BOM och layout får komponenterna automatiskt med sig viss information om vilket funktionsblock de hör hemma i och var i schemat man kan hitta dem.

- Undvik fyrvägskorsningar. De går att förväxla med två ledare som korsas utan att anslutas.



Simulering

Eftersom framtagningen av prototyper oftast är en betydande kostnad i ett projekt vill man undvika onödiga uppdateringar och ändringar av kretskortet sent under utvecklingsarbetet. Ett sätt att minska risken för felkonstruktion är att använda sig av simulering.

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) är en industristandard för simuleringsverktyg där varje komponent har en SPICE-modell som tillhandahålls av komponenttillverkaren.

SPICE-verktyget kan vara en mer eller mindre integrerad del av CAD-programvaran.

4.3 Konstruktion av mönsterkort

Mönsterkortet är den elektriska representationen av elektronikkonstruktörens schema och som tidigare nämnts en av de absolut viktigaste komponenterna i produkten. Konstruktionen av mönsterkortet ska effektivt lösa den elektriska funktionen men det finns en närmast oändlig mängd kombinationer av material och produktionssätt att ta ställning till. Ibland ritar elektronikkonstruktören sitt eget mönsterkort, men ofta görs det av en mönsterkortskonstruktör (i vardagspråk "caddare") som är expert på just mönsterkorts konstruktion. Då krävs det en bra introduktion och tät kontakt mellan de båda för att mönsterkortet ska uppfylla kraven.

Alla de olika mönsterkortsegenskaperna kräver aktiva val av ingående material och tillverkningsmetod vid produktionen av mönsterkortet. Observera att olika mönsterkortstillverkare har olika processer som lämpar sig olika väl för att producera en specifik typ av mönsterkort, vilket kan

påverka priset och ledtiden. Se [⇒](#) Kap. "4.3.5 Kostnader för mönsterkort" och [⇒](#) Kap. "6.3.4 Beställning av Mönsterkort/PCB".

Alla olika kombinationer av egenskaper ger det färdiga mönsterkortet olika egenskaper och prestanda. Exempel på egenskaper är isolationsavstånd, ledarbredder, impedansanpassning vid högre frekvenser, tålighet mot högre temperaturer, tålighet mot vibration, signalintegritet osv.

4.3.1 Krav på mönsterkort

Kvalitetsstandard/Acceptansnivå. Det bästa är att hänvisa till en etablerad kvalitetsstandard som de allra flesta mönsterkortfabriker är bekanta med och som deras kvalitetsavdelning/processkontroll/avsyning redan arbetar efter.

IPC-6010 serien är just en sådan standard som hela branschen följer ända från

leverantörerna av de ingående materialen till producenterna av själva kortet. Undvik t.ex. den gamla danska standarden PER-FAG. Den innehåller ungefär samma sak som IPC-6010 men är inte lika spridd.

Fördelen med en standard är att det finns en bra acceptansnivå av godkänt/icke godkänt.

Om det finns punkter där man känner att standarden inte räcker till så går det alltid att komma med kompletterande krav eller det som IPC definierar som AABUS, (As Agreed Upon Between User and Supplier).

IPC ger även utrymme för vissa modifieringar, lagningar och bättringar av mönsterkortet och det är viktigt att sätta sig in i vad det innebär. Ändringar utöver dessa måste specificeras i mönsterkortsspecifikationen.

För att nämna två exempel:

- **Kragförstärkningar, "tear-drops" på viapaddar.** Här tillåter IPC-6012 att mönsterkortsleverantören får lägga till kragförstärkningar om det saknas i layoutfilerna. Denna tillåtelse gäller alla klass I och II kort. Om detta inte ska vara tillåtet av någon anledning så måste det nämnas i mönsterkortsspecifikationen.
- **'Non-functional paddar" (NFP) på innerlager.** Här tillåter inte IPC-6012 att mönsterkortsleverantören får ta bort dessa paddar/lödöar utan kundaccept. Dock så finns det många fördelar både elektriskt och produktionsmässigt att dessa tas bort, så här är det bra att antingen konstruera utan NFP eller ge accept på borttagande i mönsterkorts-specifikationen.

	IPC Klass I	IPC Klass II	IPC Klass III
Produktkategori	Konsumentelektronik	Dedikerad elektronik	Elektronik med extra hög tillförlitlighet
Produktexempel	Persondatorer, mobiltelefoner, surfplattor, TV, DVD, Satellitmottagare, Radiomottagare.	Industriella datorer för inbyggnad, bilelektronik, Industriell kontrollelektronik, medicinsk utrustning, viss flygelektronik, viss militär elektronik.	Medicinska system, rymdelektronik, försvarselektronik med höga krav på funktion även när produkterna utsätts för vibrationer, termiska chocker etc.
Förväntad livslängd	Begränsad livslängd.	Längre livslängd	Lång livslängd
Tillförlitlighetsförväntningar	Lägre tillförlitlighet accepteras.	Kontinuerlig drift, oavbruten service önskad, men inte kritisk.	Kontinuerlig drift eller prestanda är kritisk, inga driftstopp kan accepteras

Standarden definierar tre kategorier av kort.

Testkrav/Deklaration. Även om IPC har en omfattande lista av tester som skall utföras på korten kanske produkten kräver att

ytterligare tester behöver göras. Det kan t.ex. vara verifiering med AOI av inner- och ytterlager, verifiering av impedanser, Hi-Pot

tester, speciella renhetstester eller miljötester. Detta måste då nämnas i kravbilden. Utöver detta kan automatiska eller manuella funktionstester vara önskvärt för att säkerställa den slutgiltiga kvaliteten.

Om automatisk testning av korten ska ingå kan det vara nödvändigt att lägga till specifika testpunkter för det. Se ➔ Kap. "6.2 Beskrivning av olika tester".

Regulatoriska krav påverkar även mönsterkortet. Se ➔ Kap. "3 Produktregelverken".

Krav på märkning och spårbarhet. Märkning läggs in både i konstruktionsfilerna och vid mönsterkortstillverkningen och syftar till spårbarhet för slutprodukten.

Märkningen bör innehålla:

Konstruktion (CAD):

- Artikelnummer
- Revision
- Regulatorisk märkning, CE m.fl.
- Återvinningsinformation, t.ex. WEEE

Mönsterkortstillverkning:

- Tillverkningsvecka och årtal
- Fabrikslogga
- Eventuellt CTI/UL/RoHS etc.

Detta kräver förstås att det finns plats för uppgifterna på mönsterkortet och att märkningen fortfarande är synlig när alla komponenter monterats. Tydliga instruktioner kan behövas om var och hur märkningen skall utföras. Tänk på att vid små kort kan det bli svårt att få rum med full märkning.

Krav på specifikation av basmaterial. När det gäller basmaterial så bör detta väljas

med omsorg så att det är anpassat efter applikationen så att slutprodukten lever upp till den kvalitet och livslängd som du önskar. När det gäller standardlaminat avsett för hårda kort så är IPC-4101 en bra specifikation som innehåller en rad olika materialkvaliteter och vilka egenskaper du kan förvänta dig av dessa.

Eftersom de flesta mönsterkort utsätts för fler värmecykler så kan det vara bra att studera sådana parametrar som t.ex.:

- **Tg = Glasomvandlingstemperatur.** Tg-värdet är den temperatur då materialet går från att vara ett styvt material till ett mer elastiskt och böjbart material. Materialets egenskaper förändras avsevärt när temperaturen överstiger detta värde. När Tg-värdet överskrids påverkar det framför allt expansion i Z-led (tjockleken) vilket ökar belastningen på pläteringarna i vior och hål.
- **Td = Nedbrytningstemperatur.** Td-värdet har att göra med materialets degenerering och är satt till när materialet förlorar 5% av sin vikt. Denna temperatur är inget absolut värde utan mäts under en temperaturstegring (10°C/min) i en syrefri miljö. Värdet är av speciellt intresse för kort som skall klara många lödprocesser.
- **CTE = Utvidningskoefficienten.** CTE är ett mått på hur mycket kortet expanderar vid upphettning. Det anges normalt som ppm/°C före och efter Tg. Det kan även anges som procenttal över ett temperaturområde (normalt 50-260 °C). Vid en blyfri lödprocess är Z-leds-expansion en speciellt viktig parameter, felaktiga val kan leda till avbrott i pläteringar för vior och hål samt delaminering.
- **T260 = Tid till delaminering vid 260°C.** Den tid det tar för basmaterialet att delaminera vid 260°C.
- **T288 = Tid till delaminering vid 288°C.** Den tid det tar för basmaterialet att delaminera vid 288°C.

Alla dessa parametrar är viktiga för att mönsterkortet skall klara såväl lödoperationer under tillverkning som de temperaturvariationer kortet utsätts för monterat i sin tilltänkta applikation.

Det rekommenderas starkt att istället för att peka på ett unikt material välja en kategori av material från IPC-4101. Då anges kategorin i specifikationen som exempelvis "Material enligt IPC-4101/126" där /126 är kategorin (som i det här fallet är ett hög-Tg FR4-material anpassat för blyfri lödning med ett lågt CTE).

Något som är värt att nämna är att även om FR4-material avsedda för blyfri lödning är mer värmetåliga än de äldre versionerna av FR4, så är de tyvärr markant sprödare på grund av ett annat härdarsystem. I en krävande miljö kan det lättare uppstå sprickor i materialet vilket skapar problem.

Det är Produktägarens ansvar att ta reda på om materialet är tillräckligt bra och ger den livslängd som är tänkt, även om man tar hjälp från en mönsterkortstillverkare i diskussion och beslut.

Koppartjocklek/plätering. När det gäller koppartjocklek så används en väldigt gammal definition där koppartjockleken på folien uttrycks i ounce/ft². De vanligaste tjocklekarna som används är:

1/3 Oz = 12 µm

1/2 Oz = 18 µm

1 Oz = 35 µm

2 Oz = 70 µm


3 Oz = 105 µm

Det bästa är att specificera basfolietjockleken på ytter och innerlager, och sedan använda de bra tabeller som finns i både IPC-6012 och IPC-A-600. Dessa visar vilken minsta koppartjocklek du kan förvänta dig på de pläterade lagren (normalt ytterlager) och även på de enbart etsade lagren

(normalt innerlager). Det vanligaste är att ytterlagrens tjocklek blir ca. 20 µm tjockare med plätering enligt IPC klass II och ca. 25 µm tjockare med plätering enligt IPC klass III, så baskopparen plus kopparplätering brukar ibland anges som slutlig koppartjocklek eller "finished copper".


Den koppartjocklek som kan betraktas som standard och som normalt fungerar för de flesta mönsterkort är 35 µm på innerlager och 18 µm på ytterlager.

Kopparfolien finns i många kvaliteter och är normalt definierad enligt IPC-4562. På standardkort är det ofta överkurs att specificera foliens egenskaper. På kort med höga signalhastigheter (>5 GHz) och längre ledare så kan det vara en nödvändighet att ange vilken kopparfolie som önskas för att minimera signalförluster.

 I de fall diskussioner om specifika lösningar har förts mellan Utvecklare/Tillverkare/mönsterkortstillverkare under utvecklingsarbetet så måste den informationen komma med i offertunderlaget.

 Bilaga "Tillförlitlighet hos mönster och kretskort"

4.3.2 CAD/layout

Normalt gör den som konstruerar mönsterkortet också tillverkningsunderlaget. Underlaget måste bl.a. ta hänsyn till fabrikernas kapacitet och applicerbara toleranser enligt kravsatt standard för att få robusta och tillförlitliga mönsterkort. Det är av avgörande betydelse att underlagen är entydiga för att Tillverkaren ska kunna producera mönsterkortet utan fördröjning och Produktägarens aktiva medverkan. Se  Kap. "6.3.4 Beställning av mönsterkort".

Här kommer några ställningstaganden som den som layoutar mönsterkortet kan behöva från kretskonstruktören för att säkerställa ett robust och tillförlitligt mönsterkort:

- Definiera strömkapacitet och impedansanpassningar för kritiska ledare i ett tidigt skede. Detta påverkar parametrar som t.ex. ledarbredder, isolationsavstånd, koppertjocklek, materialval och antal lager. Här är det viktigt att man tar hänsyn till de toleranser som standarden ger utrymme för på ledarbredder och koppertjocklek för att säkerställa en tillräcklig strömkapacitet för funktionen.
- Om komponenttillverkaren har layoutrekommendationer i databladet eller "application notes" bör dessa följas så långt det är möjligt.
- Definiera kritiska delar på kortet där t.ex. jord- och spänningsplan behöver vara så hela och rena från andra ledare som möjligt.
- Förstå driftmiljön för applikationen vilket kan påverka materialval, ytbehandlingsval och täckning av viahål.
- Undersök om behov av testning finns där särskilda testpunkter behöver adderas till layouten.

Layoutaren måste även säkerställa symmetri i kortupbyggnaden när det gäller placeringen av lagren, dielektrisk separation, folietjocklek och kopparbalans.

4.3.3 Viakunskap

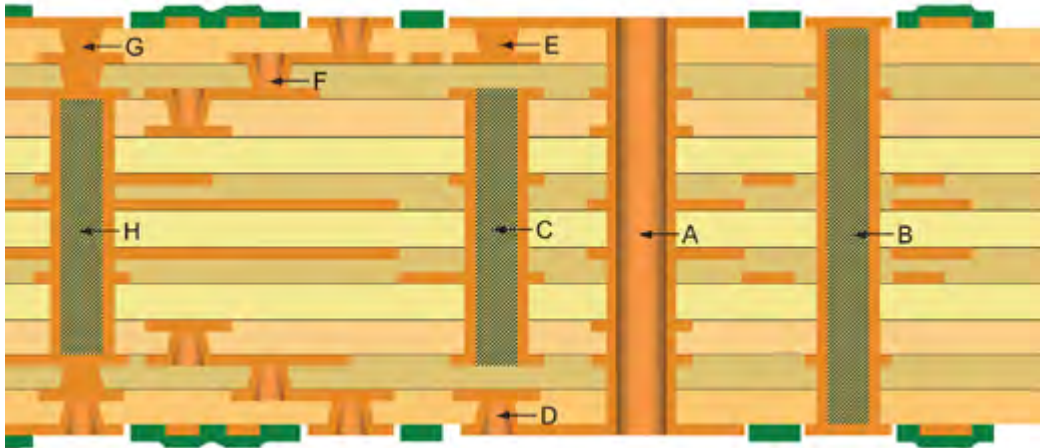
Det här kapitlet handlar om viahål, vars syfte är att elektriskt förbinda olika lager i mönsterkortet. Några exempel på användningsområden:

- förbinda ledare på olika signallager
- skapa jordförbindelser eller spänningsanslutningar mot ett eller flera innerlager
- termisk avledning
- skärmning av känsliga områden

I enklare kort används bara vanliga genomgående vior då de är enklast att tillverka och därmed billigast. På mönsterkort som har många lager, är trånga eller där det är viktigt att ha obrutna spänningsplan, behövs andra sorters vior som beskrivs nedan. Användning av olika viatyper på ett kort kräver ett ökat antal processteg vilket medför att kostnaden för mönsterkortet ökar.

Viahål kan vara öppna eller pluggade med olika material såsom lödmask, epoxy eller elektriskt/termiskt ledande massa. En dialog med mönsterkortsleverantören hjälper dig att avgöra vilka viahålstrukturer som är möjliga att kombinera på ditt kort och som samtidigt är kostnadseffektiva.

Exempel på olika sorters vior



Typ A: Genomgående viahål

Som namnet antyder är detta ett viahål som går rakt igenom kortet. För bästa tillförlitlighet bör viahål av denna typ lämnas antingen helt öppna eller helt stängda. Det räcker inte att endast stänga dessa viahål i lödmasken och sen förvänta sig en fullgod täckning/pluggning. Pluggningen bör istället kravsättas enligt IPC-4761 typ VI, antingen med lödmask eller med epoxyharts. Rådgör med din mönsterkortsleverantör vilka hålstorlekar som är möjliga att plugga, detta kan variera mellan olika tillverkares kapabilitet.

Typ B: Genomgående viahål med pluggning och överplätering

Som namnet antyder så är detta ett viahål som går rakt igenom kortet och som pluggas och överpläterats med ett lock av koppar. Denna typ av viahål kan med fördel användas när viahålen placeras direkt i lödöar, testpunkter eller såpass nära lödöar att risk finns för att lodet dräneras ner i viahålet från lödytan. Pluggningen med epoxy-harts och överplätering kravsätts enligt IPC-4761 typ VII och IPC-6012 kravsätter tjockleken på överplätering.

Rådgör med mönsterkortsleverantören vilka hålstorlekar som är möjliga att plugga vilket varierar mellan olika tillverkares kapabilitet. Metoden driver kostnad jämfört med hål enligt Typ A, speciellt på kort med få lager. ➔ Kap. "4.3.5 Kostnader för mönsterkort"

Typ C: Begravda viahål med epoxyfyllning

Ett viahål som skapar elektrisk förbindelse mellan innerlager och som endast finns inuti kortet. Höga krav ställs på fyllningen med epoxyharts där inneslutningar av luft i värsta fall kan resultera i delamineringar. Som inom all mönsterkorts konstruktion är symmetri mellan lagren en kritisk faktor. Därför måste de begrävda viahålen placeras symmetriskt i förhållande till mitten av kortet för att möjliggöra den planhet som IPC kräver. Det finns dock ett flertal fördelar med att använda begrävda vior som t.ex. att det frigörs area på ytterlagren för komponentmontage, EMC egenskaper förbättras, osv.

Typ D: Blinda hål, mikroviar

Detta är ett viahål som går från ett ytterlager och ner i, men inte genom, mönsterkortet. Den vanligaste typen av blinda hål

är utan tvekan mikroviior. Enligt den senaste definitionen i IPC-T-50M är en mikrovia definierad som en blind struktur med en maximal "aspect ratio" (förhållandet mellan hålets diameter kontra dess djup) på 1:1, som ansluter ner mot en pad som ligger på ett maximalt djup på 0,25 mm mätt från ytan. Typiskt är en håldiameter på 0,1 mm och ett avstånd till ett anslutande lager på max 0,1 mm. Det normala är att hålen borras med laser men traditionell borrar i CNC-maskiner med extremt god precision i Z-led förekommer.

Typ E: Blinda hål, mikroviior med kopparfyllning

När mikroviior placeras i lödöar för komponenter bör dessa kopparfyllas för att uppnå ett optimalt lödresultat och minimera voids i lödfogarna. För BGA-kretsar med mikroviior i lödöarna och även på andra komponenter med hål i små "footprints" är denna process nödvändig. Det förekommer också att man fyller mikroviorna med epoxy och överpläterar dessa med koppar. Processen är dock svårare att kontrollera jämfört med att kopparfylla mikroviior och ger dessutom en sämre elektrisk och termisk ledningsförmåga jämfört med kopparfyllda mikroviior.

Typ F: "Staggered vias", blinda/begravda mikroviior

"Staggered vias" är stackade vior som är placerade i ett trappmönster. På detta vis behöver man inte fylla innerlagrens mikroviior i en separat process utan hartset från lamineringen fyller dessa vior. Denna metod förordas i IPC-2226 på kort som skall användas i krävande miljöer som exempelvis inom bilindustrin. Nackdelen är att denna typ av viahål bryter sönder planlager lite mer än stackade mikroviior på grund av den sidoförskjutning som krävs. Det primära

användningsområdet för denna typ av hål är för att leda ut signalerna från BGA-komponenter där traditionella viahål inte får plats.

Typ G: Stackade viahål, blinda/begravda mikroviior

Stackade viahål som placeras ovanpå varandra används huvudsakligen där minimering av storleken på mönsterkortet är en extremt viktig parameter. Tillverkningsprocessen är betydligt svårare att styra jämfört med "staggered vias" vilket gör stackade vior mindre lämpliga att använda i krävande miljöer. Fördelen är dock att denna typ av viahål inte bryter sönder planlager lika mycket som staggrade mikroviior. Det primära användningsområdet för denna typ av hål är för att leda ut signaler från BGA-komponenter där traditionella viahål inte får plats.

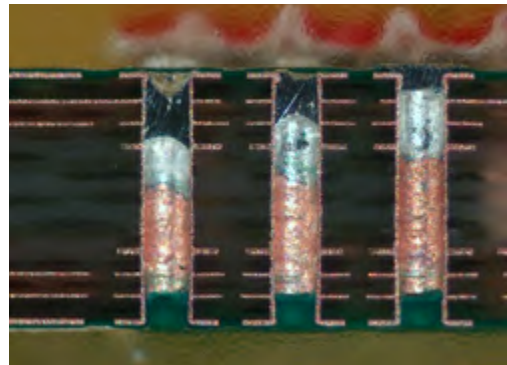
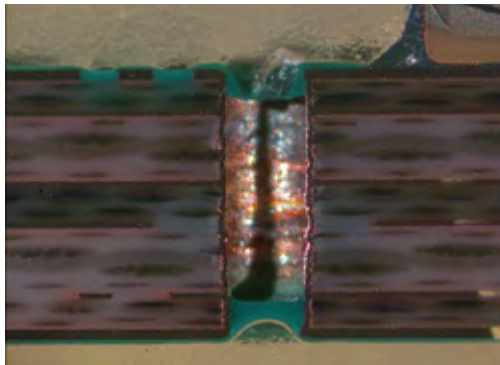
Typ H: Begravda överpläterade viahål med stackade mikroviior ("VIPPO")

Detta är en typ av viahål som ofta kallas "VIPPO" och som innebär att mikroviior placeras ovanpå ett begrävt viahål som har pluggats och överpläteras. Fördelen är att man kan nå längre ner i mönsterkortet och ändå använda komponenter med liten "pitch". Tillverkningsprocessen är mycket krävande och ställer stora krav på processkontroll, framför allt när det gäller pluggningen och överplätering av de begrävdade viahålen. Konstruktionen är mindre lämplig för kort i krävande driftsmiljöer.

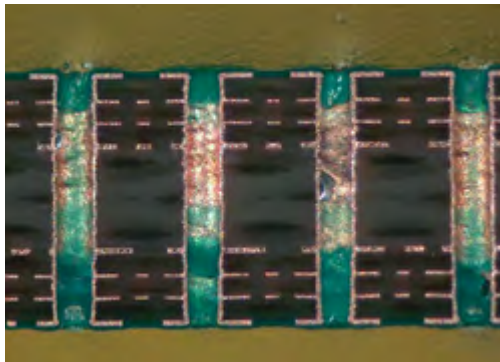
Förskräckliga vior

Här har vi tagit med bilder på viahål där processen/kravställningen/förståelsen på olika sätt har brustit. Detta för att öka insikten beträffande de problem som kan uppstå, vilka i värsta fall kan leda till allvarliga kvalitetsbrister. Komponenthålen fylls normalt med lod under lödprocessen och

därmed erhåller dessa ett gott miljöskydd. Viahålens miljöskydd är däremot ofta ett förbisett kapitel. Här är kravställningen av yttersta vikt för att undvika problem på både kort och lång sikt i form av kontaminering, korrosion, migration med mera.



1. Här har specifikationen brustit eftersom kortet saknar öppningar i lödmasken ("tenting") för viahålet på bilden. Det har resulterat i att hålväggen har ett bristfälligt korrosionsskydd. Vid uppvärmning kommer luftbubblan att expandera och orsaka spänningar och sprickor. Den här vian hade behövt pluggas enligt IPC-4761 typ VI-b eller lämnas helt öppen från bägge sidorna.
2. Här saknar kortet öppningar i lödmasken för viahålen på ena sidan och har endast en mindre öppning på andra sidan. Kortet har specificerats med HASL som ytbehandling vilket leder till att lodet varken förmår fylla hålet eller kan blåsas ur, för att viahålen är blockerade från ena sidan med lödmask. Risken är även här bristfälligt korrosionsskydd. Vid uppvärmning kommer luftbubblan att expandera och kan skjuta ut små kulor av lod som kan orsaka kortslutningar. IPC rekommenderar ingen typ av enkelsidig täckning/pluggning. De här viorna hade behövt pluggas enligt IPC-4761 typ VI-b eller lämnas helt öppna från bägge sidorna.



3. Här har specifikationen brutit eftersom kortet saknar öppningar i lödmasken ("tenting") för via-hålet på bilden. Detta har resulterat i att lödmask har trängt ner i hålen och delvis har täckt/pluggat hålet. Mindre rester av lod har också lyckats tränga ner i hålet, troligtvis kan det också finnas rester efter processkemi inkapslade i hålen. De här viorna hade behövt pluggas enligt IPC-4761 typ VI-b eller lämnas helt öppna från bägge sidorna.



4. Ännu ett på försök till "tenting" av via-hålen. Detta har resulterat i att lödmask har trängt ner i hålen i varierande mängd och delvis har täckt/pluggat hålen. Kulor av lod har också fastnat i vissa hål. Vid uppvärmning kommer luftbubblan att expandera och kan skjuta ut små kulor av lod som kan orsaka kortslutningar. De här viorna hade behövt pluggas enligt IPC-4761 typ VI-b eller lämnas helt öppna från bägge sidorna.

4.3.4 Ytbehandling

Ytbehandling av mönsterkort är ett område där det finns en hel del alternativ att välja mellan och alla olika ytbehandlingar har sina för- och nackdelar och även olika prisbilder.

Ett bra tips är att i samråd med mönsterkortsleverantör och/eller den som ska göra CAD-arbetet välja det lämpligaste alternativet utifrån den givna kravbilden.

IPC-6012 har generella krav på ytbehandlingar. För mer specifika krav på

tjocklekar och utförande av kemiskt tenn, kemiskt silver och ENIG kan man referera till IPC-4550 serien. För SnPb och blyfri HASL samt för OSP saknas krav på tjocklek men IPC-6012 har krav på att ytbeläggningen ska vara lödbar. Standarden har hänvisning till hur lödbarheten ska testas. För HASL finns dessutom krav på att ytbeläggningen ska vara täckande men inga kriterier för hur det ska bedömas.

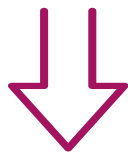
Lista över för- och nackdelar med de på marknaden vanligast förekommande ytbehandlingarna:

HASL – Tenn/bly varmförtening

Typisk tjocklek 1 – 40 μm . Lagringstid: 12 månader



1. Mycket god lödbarhet
2. Låg kostnad
3. Tillåter stort processfönster
4. Beprövad ytbehandling
5. Multipla lödoperationer



1. Skillnad i tjocklek/ytstruktur mellan stora och små lödöar
2. Passar inte för <math><508 \mu\text{m}</math> (20 mil, imperial) pitch SMD & BGA
3. Risk för överbrygning mellan små isolationer
4. Låg ytisolationsresistans p.g.a. flussrester från varmförteningen
5. Inte idealisk för HDI-produkter

LF HASL – Blyfri varmförtening

Typisk tjocklek 1 – 40 μm . Lagringstid: 12 månader



1. Mycket god lödbarhet
2. Låg kostnad
3. Medger stort processfönster
4. Beprövad ytbehandling
5. Multipla lödoperationer




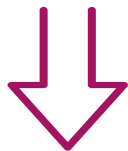
1. Skillnad i tjocklek/ytstruktur mellan stora och små paddar
2. Hög processtemperatur 260–270°C
3. Inte lämplig för <math><508 \mu\text{m}</math> (20 mil, imperial) pitch SMD & BGA
4. Risk för överbrygning mellan små isolationer
5. Låg ytisolationsresistans p.g.a. flussrester från varmförteningen
6. Inte idealisk för HDI-produkter

ENIG – kemiskt guld

Typisk tjocklek 3 – 6 µm Nickel / 0,05 – 0,125 µm Guld. Lagringstid: 12 månader



1. Mycket god jämnhet
2. Lämpligt för mindre ledar/BGA/mindre komponenter
3. Beprövad process
4. God lödbarhet
5. Bondbart (AL wedge)  Bilaga "Litteraturhänvisningar"



1. Kostnadskrävande ytbehandling
2. "Black pad" problematik (speciellt vid BGA)
3. Aggressiv mot lödmask – större lödmaskbrygga föredras
4. Undvik lödmaskdefinierad BGA-design
5. Plugga/täck inte enkelsidigt

Kemiskt tenn

Typisk tjocklek $\geq 1,0$ µm. Lagringstid: 6 månader



1. Kemisk ytbehandling = mycket god jämnhet
2. Lämpligt för fina ledare/BGA/mindre komponenter
3. Medelhög kostnad för blyfri ytbehandling
4. Lämplig för pressfit
5. Bra lödbarhet



1. Mycket känslig hantering – handskar måste användas
2. Risk för whiskers – trådutväxter av tenn
3. Aggressiv mot lödmask – lödmaskbrygga ska vara ≥ 127 µm (5 mil, imperial)
4. Bakning före lödning kan ha en negativ effekt på lödbarheten
5. Minskad lödbarhet vid multipla löpoperationer
6. Avdragbar lödmask rekommenderas inte
7. Plugga eller täck aldrig enkelsidigt

Kemiskt silver

Typisk tjocklek 0,12 – 0,40 µm. Lagringstid: 6 månader



1. Kemisk ytbehandling = mycket god jämnhet
2. Bra för fina ledare/BGA/mindre komponenter
3. Medelhög kostnad för blyfri ytbehandling
4. Kan omarbetas
5. Medelgod hållbarhet om de förpackas väl



1. Kräver speciell hantering/känslig för repor – handskar måste användas
2. Kräver speciell förpackningsrutin – om förpackningen öppnas och alla kort inte används måste återförsegling ske snabbt
3. Tiden mellan multipla lödoperationer måste hållas kort
4. Avdragbar lödmask rekommenderas inte
5. Plugga eller täck aldrig enkelsidigt

OSP (Organic Solderability Preservative)

Typisk tjocklek 0,20 – 0,65 µm. Lagringstid: 6 månader



1. Mycket god jämnhet
2. Lämplig för fina ledare/BGA/mindre komponenter
3. Låg kostnad
4. Kan omarbetas
5. Ren, miljövänlig process



1. Väldigt känsligt för hantering, handskar måste användas och repor undvikas
2. Tiden mellan multipla lödoperationer måste hållas kort
3. Olämplig där multipla lödoperationer krävs
4. Begränsad lagringstid – passar inte vissa fraktsätt och lång lagerhållning
5. Mycket svår att avsyna
6. Tvättning av feltryckt lodpasta kan ha en negativ effekt på ytbehandlingen
7. Bakning före lödning kan ha en negativ effekt på lödbarheten

4.3.5 Kostnader för mönsterkort

Det finns en rad olika faktorer som påverkar prisbilden på ett mönsterkort. I detta kapitel har vi försökt sammanställa så många som möjligt av de faktorer som kommer att ha en avgörande påverkan på slutpriset.

Ledtiden

En av de största kostnadsdrivarna är utan tvekan ledtid eller kanske snarare bristen på rimlig ledtid, vilket alltid leder till ett förhöjt pris eftersom mönsterkortstillverkaren kommer att behöva forcera produktionen. I värsta fall kan den förväntade leveranstiden vara så kort att man hamnar i en situation att endast någon enstaka mönsterkortstillverkare kan möta den och då kommer man att få betala dyrt för detta. Normalt sett är förväntad leveranstid som mest kritisk i samband med prototyper och då antalet mönsterkort oftast är litet i dessa fall kanske inte prisbilden är den mest avgörande. Ett bra tips är att om möjligt försöka planera för 7-10 dagars ledtid på enklare prototypkort och 12-15 dagar på mera komplexa prototypkort vilket ofta innebär att en lägre tillverkningskostnad är möjlig.

Kvalitetskrav & UL-godkännande

De krav som ställs på mönsterkortet avseende kvalitet och tillförlitlighet har en direkt kostnadspåverkan. Ställs till exempel krav på produktion och kvalificering enligt IPC klass 3/3A, kravbilder enligt MIL-31032, NADCAP & ESA kan det innebära en kraftigt ökad prisbild. Detta beror på att det reducerar antalet godkända fabriker som kan tillverka mönsterkortet drastiskt samt den ökade mängd tester som måste utföras. Dessa kravbilder kan även begränsa var mönsterkortet får produceras.

UL-krav kan ha en effekt på kostnaden, framförallt på mönsterkort där konstruktionen hamnar utanför ramen för fabriken godkänn-

ande. Detta gäller speciellt flex-rigida kort, hybridkort med mixade material och i viss mån även kort producerade i RF-material.

Rekommendationen är att ta reda på vilka krav som verkligen måste ställas på mönsterkortet för att uppfylla kraven på slutprodukten. Ett exempel är vad slutproduktskategorin kräver när det gäller UL-godkännande. Många gånger kan det räcka med att råmaterialet uppfyller en brandklassning som till exempel V1 eller V0. Här är det viktigt att kommunicera mellan Produktägare, Utvecklare och Tillverkare.

Materialval och teknologinivå

Materialval och val av komplexitet är något som kommer att påverka kostnaden på mönsterkortet under hela produktens livslängd. Därför är det viktigt att fatta rätt beslut i början av utvecklingsprojektet.

Val av material påverkar inte kostnaden alltför mycket (se tabellen nedan) så länge det rör sig om standardmaterial. När det däremot gäller specialmaterial kan det påverka prisbilden med flera hundra procent. En tät dialog med mönsterkortstillverkaren är viktigt eftersom det ofta finns ekvivalenta material till en betydligt lägre kostnad.

Andra val som också är nödvändiga och som påverkar kostnaden är:

- Tjocklek
- Antal lager
- Koppertjocklek
- Ledarbredd
- Enkelsidig eller dubbelsidig montering
- Antal viahål mellan lagren och om dessa är dolda eller inte
- Hålstorlek och antal olika hålstorlekar
- Impedanskrav
- Isolationskrav
- Ytbehandling

Nedan är en tabell som ger en indikation om hur mycket de olika faktorerna påverkar kostnaden på mönsterkortet. Tabellen är baserad på en orderkvantitet motsvarande

10 m² och en normal ledtid på 3-5 veckor. Denna tabell ska endast ses som en indikation eftersom varje mönsterkort måste analyseras för att ge en korrekt prisbild.

Antal lager	2	4	6	8	10	12	14	16
Kostnadsindex	= 1,00	* 1,40	* 2,00	* 2,75	* 3,50	* 4,10	* 5,00	* 6,00
Material FR-4.0 Tg130	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Material FR-4.0 Tg150	5%	5%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
Material FR-4.0 Tg170	20%	15%	12%	10%	6%	6%	4%	3%
ENIG	25%	18%	13%	9%	7%	6%	5%	4%
Kemiskt Silver	14%	10%	7%	5%	4%	3%	3%	2%
Kemiskt Tenn	14%	10%	7%	5%	4%	3%	3%	2%
Blyad HASL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Blyfri HASL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OSP	-4%	-3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alla lager med 70 µm basfolie	20%	29%	30%	29%	29%	29%	28%	27%
Alla lager med 105 µm basfolie	40%	57%	60%	59%	58%	59%	55%	54%
Lödmask pluggning	4%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pluggning enligt IPC-4761 typ VI (epoxy)	19%	13%	9%	7%	5%	5%	4%	3%
Pluggning enligt IPC-4761 typ VII (epoxy)	56%	40%	28%	21%	16%	14%	11%	9%
Korttjocklek 1.0 mm	-6%	-6%	-6%	-5%	-4%	N/A	N/A	N/A
Korttjocklek 2.0 mm	13%	9%	6%	5%	0%	0%	0%	0%
Korttjocklek 2.4 mm	25%	18%	13%	-9%	0%	0%	0%	0%
Avdragbar lödmask	6%	4%	3%	2%	2%	2%	1%	1%
Andra lödmask färger än grönt	6%	4%	3%	2%	2%	2%	1%	1%

Tabell över prispåverkande faktorer.

Kostnadsindexet är baserat på dessa parametrar:

1. Korttjocklek 1,60 mm
2. Koppertjocklek 18 µm eller 35 µm basfolie
3. Lödmask färg Grön
4. Minsta ledarbredd 0,125 mm
5. Minsta isolationsavstånd 0,125 mm
6. Minsta hålstorlek 0,300 mm
7. Ytbehandling HASL
8. Kvalité enligt IPC-6012 klass 2

Prisexempel för beräkning av kostnad

Utgångspunkten i detta exempel är ett mönsterkort som har 2 lager och följer de åtta basparametrarna ovan. Det innehåller inte några kostnadsdrivare enligt tabellen ovan. Detta exempelkort antar vi kostar 10 SEK/kort, för att ha något att utgå ifrån.

Det nya mönsterkortet kommer att ha 6 lager, vara 2,00 mm tjockt och skall produceras i ett mellan-Tg material och ha ENIG som ytbehandling.

Detta ger en kostnadsökning enligt tabellen ovan:

2 lager -> 6 lagers	= 2.0X
HASL -> ENIG	= 13%
Standard Tg -> Mellan Tg	= 3%
1,60 mm -> 2,00 mm tjocklek	= 6%

Ökningen av antalet lager kommer att höja baspriset från 10 SEK till 20 SEK. Övriga tillägg är totalt 22% (13 + 3 + 6) vilket ger ett totalpris i det här exemplet på cirka 24,40 SEK.

4.4 Utvecklingsverktyg

Dagens CAD och CAM-verktyg är mycket kraftfulla och underlättar arbetet för Utvecklaren och Tillverkaren. CAD-program, Computer Aided Design, används av Utvecklaren för schemaritning och mönsterkortslayout under konstruktionsarbetet. CAM-program, Computer Aided Manufacturing, används av mönsterkorts-tillverkarna för tillverkning av mönsterkort. Gränssnittet mellan CAD och CAM-programmen är ofta Gerberfiler eller ODB++ (innehåller mer information).

Det finns många olika CAD-program, allt från enkla gratisprogram till mycket avancerade. Hur du ska resonera vid valet av program beror bland annat på hur avancerad din elektronikkonstruktion kommer att bli samt vilken budget du har till förfogande för att skaffa licens till ett program.

Gratisprogram kan man definitivt använda som student, hobbyist eller för enkla konstruktioner, speciellt på försöksstadiet. Uttrycket "man får vad man betalar för" gäller i hög grad även CAD-program. Det finns ett stort utbud av gratisprogram så

vi har svårt att peka på några som är bättre eller mer vanliga.

Några saker att ta i beaktande när du ska välja CAD-program:

- Hur komplex är konstruktionen? (Många lager, höga hastigheter, etc.)
- Kan du specificera allt du behöver i programmet?
- Ska andra kunna jobba i samma underlag?
- Är import- och exportformaten 100% kompatibla med andra program? Finns de vanligaste moderna filformaten?
- Vilka stödfunktioner finns? Exempelvis simulering, felkorrigering och andra varningar.
- Hur kompletta blir produktionsunderlagen?
- Hur tillgängligt är programmet över tid? Finns det kvar om du behöver gå tillbaka till dina underlag om några år och göra förändringar och uppdateringar?

- Hur sköts uppdateringar av programmet? Exempelvis anpassning till uppdateringar i Windows.
- Finns det hjälp att få? För de flesta program finns användarforum som ofta räcker långt, men finns det riktigt kvalificerad support och kan du få den när du behöver den?
- Känns utformningen av programmets olika funktioner logiska och lättanvända?
- Finns komponentbibliotek med footprint för schema och layout att tillgå?

Tyvärr är det inte ovanligt att det sent i ett projekt uppstår stora problem som härrör från att man valt ett alltför enkelt CAD-verktyg.

Ett alternativ till rena gratisprogram kan vara att använda en testversion av ett professionellt program. De är kostnadsfria men har då vissa begränsningar i funktionaliteten. Det kan trots detta räcka utmärkt till mindre eller enklare konstruktioner. Om projektet senare växer så kan du välja att

köpa en licens och därmed få tillgång till utökad funktionalitet utan att behöva byta verktyg.

Ytterligare ett alternativ till att köpa ett eget CAD-verktyg är att lägga ut mönsterkortsstrukturen på en Utvecklare med expertkompetens inom mönsterkorts-konstruktion som har tillgång till kompletta komponentbibliotek.

Vad är det som kostar i ett CAD-program? Vad får man för pengarna?


- Möjlighet att hantera många lager
- Möjlighet att hantera stora eller komplexa mönsterkort
- Möjlighet att köpa komponentbibliotek
- Referensdesigner görs ofta i de större verktygen
- Inbyggd simulering (det finns även separata simuleringsprogram) och andra analysfunktioner
- Kompatibilitet med andra verktyg såsom PDM-system och revisionshanterings-system.



Pågående layoutarbete.

5. Tillförlitlighet

Arbetet med tillförlitlighet innebär i grund och botten riskhantering, det vill säga att identifiera de största riskerna och arbeta för att minimera att dessa risker skapar felutfall under produktens livstid. Att följa befintliga standarder är en miniminivå för bra kvalitet, men inte nödvändigtvis tillräckligt för att säkerställa tillförlitlighet vid användning. Enda sättet att veta att man valt rätt komponenter, mönsterkort, lödmetod, lackning/ingjutning m.m. är att testa. Tillförlitlighet bygger på att man genom testning eller simulering verifierar att man uppfyller specificerade tillförlitlighetskrav för konstruktionen.

Kvalitet och Tillförlitlighet sammanblandas ofta. Se  Kap. "2.2 Kvalitet"

Tillförlitligheten på komponenter och material för kretskortstillverkning styrdes fram till 80-talet till stor del av militärindustrins behov. Idag är det inte längre militärindustrin som leder utvecklingen av ny teknik utan det gör den kommersiella marknaden och då främst för produkter med kort förväntad livslängd och relativt låga tillförlitlighetskrav, som spelkonsoler, datorer och mobiltelefoner. Fokus är på så hög funktionalitet som möjligt till så lågt pris som möjligt. För de flesta halvledarkomponenter innebär detta att man har gått från benförsedda komponenter till benlösa komponenter som BGA- och QFN-komponenter.

För vissa branscher finns standarder för kvalificering, t.ex. för fordons- och militärelektronik, men för flertalet andra branscher finns inte motsvarande, så där får man ta fram egna riktlinjer.

Det traditionella arbetssättet för att säkerställa kvalitet (OBS! inte tillförlitlighet) är att konstruera, producera och testa enligt standarder baserade på "best practice" för mogen teknik. Eftersom de är baserade på "best practice" för mogen teknik finns det stor risk att de inte är relevanta vid användning av ny teknik. Nya standarder

för tillförlitlighetsprogram under produktutveckling har därför tagits fram (IEEE P1332 och SAE JA1000). Fokus i dessa nya standarder är att konstruera in producerbarhet och framförallt tillförlitlighet från början. Detta innebär att konstruktionslösningar hela tiden måste värderas inte enbart utifrån hur de påverkar funktionalitet utan även hur de påverkar producerbarhet och tillförlitlighet.

Det finns fler standarder än de som nämns i detta kapitel.

Bilaga "Litteraturhänvisningar"


I de fall det inte finns tillgängliga standarder för tillförlitlighet kan man använda IEEE och SAE-standarderna som generellt beskriver hur arbetsgången ser ut för att ta fram ett tillförlitlighetsprogram. Detta är ett kunskapsbaserat arbetssätt som kräver djupare kunskap om de felmekanismer som kan påverka tillförlitligheten och hur man ska testa på ett relevant sätt. Det kan vara svårt till och med för större företag att upprätthålla den kompetensen.

Det bästa man kan göra om man inte har möjlighet att ta fram ett eget tillförlitlighetsprogram är att försöka använda mogen teknik så långt som möjligt. Ett exempel är att välja benförsedda kompo-

nenheter, t.ex. QFP eller SOIC istället för benlösa som BGA och QFN, om komponenterna finns i dessa utföranden.

 Bilaga "Tillförlitlighet hos mönsterkort"

Det finns litteratur i form av artiklar och forskningsrapport i ämnet på Svenska om man vill studera ytterligare.

 Bilaga "Litteraturhänvisningar"

5.1 Några Riskområden

Man bör vara extra uppmärksam på de PCN (Product Change Notification) som skickas ut från komponenttillverkare och göra en egen bedömning om de förändringar som har gjorts kan påverka tillförlitligheten av ens egen produkt. Även om komponenttillverkaren anger att "form, fit, function, reliability and quality" inte har påverkats så kan man inte säkert lita på det. Ofta har de i PCNen utelämnat information om hur "reliability and quality" påverkas trots att det ska finnas med. I dessa fall finns det än större anledning att vara misstänksam.

Förändringar i tillverkningsprocessen hos komponenttillverkarna förekommer ibland. Det kan innebära att en komponent behåller samma artikelnummer trots att ändringar har gjorts i tillverkningsprocessen som påverkar "form, fit, function, reliability and quality". Ett exempel på detta är ingjutningsplasten man använder i komponenttillverkningen, där man vid en tidpunkt förändrade flamskyddsmedlet i IC-kretsar och tillsatte kiseldioxid, vilket gjorde kapslarna styvare, vilket i sin tur påverkade livslängden av lödfogarna. Sådan information är inte alltid helt enkel att få från komponenttillverkarna.

Kortare livslängd hos lödfogar är ett ökande problem för produkter med lång förväntad livslängd. Några exempel:

- **Pitch**

Vid minskande pitch hos BGAer minskar livslängden för lödfogarna. För pitch på 0,5 mm eller mindre kan tillförlitligheten bli ett problem också för produkter med betydligt kortare förväntad livslängd och även för relativt små komponenter. I dessa fall kan det krävas att man applicerar underfill under komponenterna för att förbättra livslängden på lödfogarna. Det är dock en kostsam process som man helst vill undvika och det är därför viktigt att man har kunskap att kunna bedöma när det krävs underfill och vilken typ av underfillmaterial som är bäst lämpat för applikationen.

- **Vätning av lödytor på QFN**

QFN:er har i allmänhet lödytor som är exponerade både under och på sidorna av komponenten men det är bara på undersidan som lödytorna har en skyddande plättering, i allmänhet Sn eller Ni/Pd/Au. På sidorna är kopparn exponerad och oxideras lätt. Lödbarheten på sidorna sjunker därför snabbt vid lagring vilket resulterar i sämre uppvätning på sidorna. Detta kan resultera i att komponenten kan komma att sitta snett i höjldled. Detta är ett större problem vid blyfri lödning eftersom vätningen är sämre med blyfria lod. Detta kan minska livslängden med 70 procent. Trots detta så har IPC:s standarder för lödda kretskort inga krav på vätning på sidorna av QFN:er.

• **Skyddslack**

Resultat från testning av lackade kort (både publicerade och icke publicerade resultat) har visat att lackning av QFN- och fine-pitch BGA-komponenter kan minska lödfogars livslängd med upp till 85 procent.

Av de vanligast använda lacktyperna har Akryllack störst negativ inverkan.

 Bilaga "Litteraturhänvisningar"

5.2 Exempel på andra viktiga tillförlitlighetsrisker

Det finns ett antal kemiska defekter som har direkt påverkan på tillförlitligheten hos mönsterkort. När dessa defekter uppstår orsakar det ofta svåridentifierade fel. Detta kapitel innehåller en beskrivning av dessa.

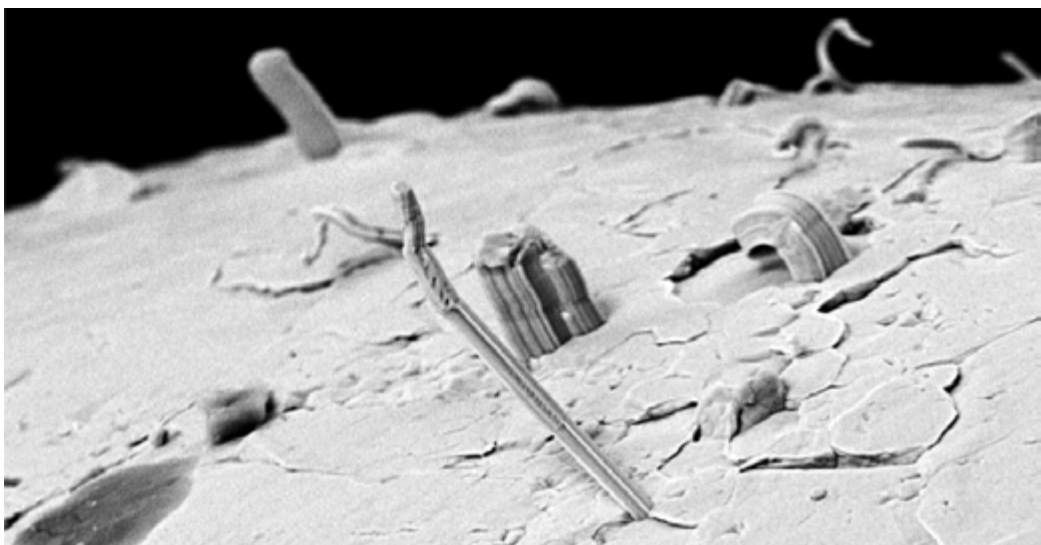
Whiskers

En tillförlitlighetsrisk som har blivit vanligare sedan RoHS-direktivet infördes är Whiskers. Detta på grund av att man inte längre får blanda in bly i lödtennet. Den drivande kraften bakom formeringen av whiskers är stress i tennskikt, t.ex. i löd-

fogar, förtenta ben, tenntermineringar och ytskikt på mönsterkort. Stress i tennskiktet kan orsakas av intermetallisk eller mekanisk påverkan genom:

- böjning
- formning
- termomekanisk stress

Whiskers kan anta många olika former och framväxten kan ta många månader, vilket gör att felen uppträder långt efter att verifiering eller produktionstestning gjorts.



Exempel på Whiskers sedda i stark förstoring med ett svepelektronmikroskop.

CAF (Conductive Anodic Filament)

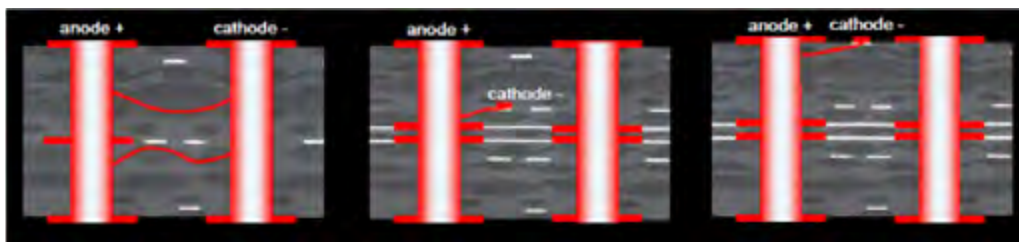
CAF uppstår när en elektrolyt bildas inuti mönsterkortsmaterialet och skapar kontakt mellan anod och katod genom svagheter i laminatet. En trådlik ledande struktur byggs upp och isolationsresistansen mellan anod och katod minskar kraftigt och eventuellt kan en kortslutning uppstå. Produktionsprocesserna har större påverkan på risken för uppkomst av CAF än materialval och då speciellt borrar av via-hål. Dålig kvalitet på borrarerna orsakad av t.ex. slitna borrar ger upphov till mikrosprickor i laminatet som underlättar uppkomsten av CAF.

Tre förutsättningar behöver samverka för att CAF skall uppkomma:

- Potentialskillnad
- Fukt
- Föroreningar t.ex. salt

Tips för att minska risken för CAF:

- Maximera avståndet mellan viahål (avstånd hålvägg - hålvägg >0.64 mm)
- Placera viahålen staggered.
- Välj mönsterkortsmaterial med tunna trådar i glasfiberväven, hög Tg, låg vattenupptagningsförmåga. Alternativt använd CAF-resistent material.
- Hög temperaturtålighet för att minska risken för delaminering.



Principskiss som visar var CAF kan uppstå.

Electrochemical Migration (ECM)

ECM är upplösningen och migrationen av metalljoner på mönsterkortets yta i närvaro av elektrisk potential, fukt och joniska föroreningar vilket resulterar i att dendritstrukturer växer mellan anod och katod.

Processen ger en signifikant reduktion av isolationsresistansen mellan ledare som i värsta fall kan ge upphov till kortslutning.

I närvaro av kondenserad fukt kan ECM gå mycket snabbt.

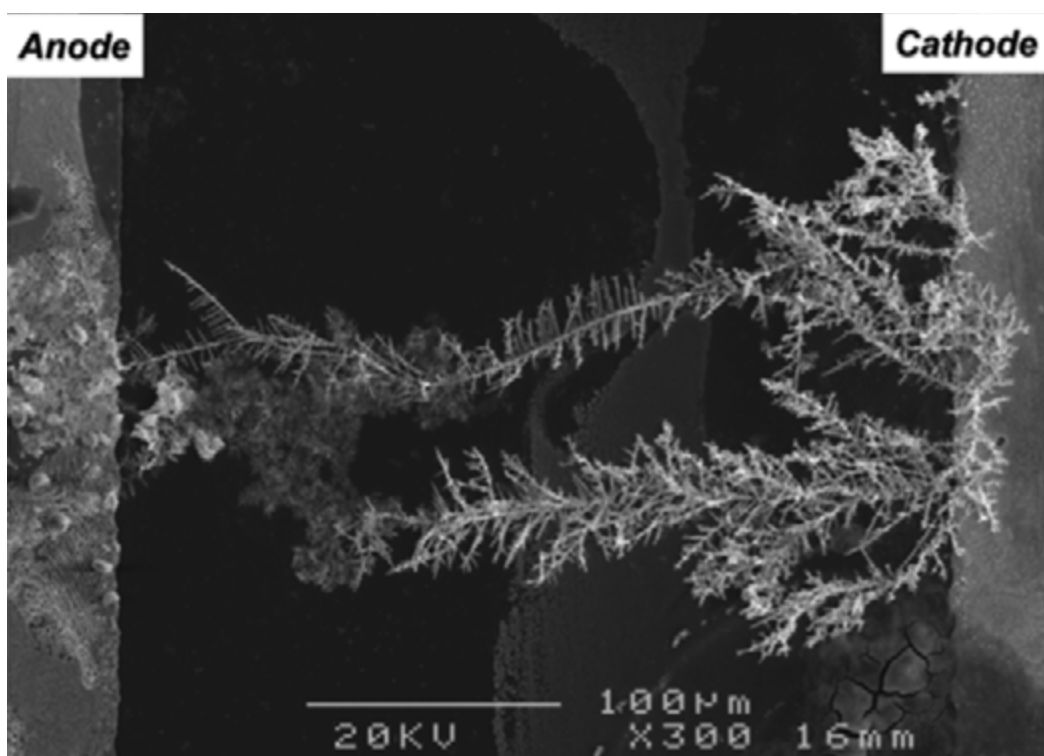
Vanligtvis involverar processen flera steg:

- vattenupptagning
- upplösning av metall vid anoden
- jonackumulering
- jonmigration till katoden
- utfällning av metall vid katoden och uppbyggnad av dendriten

Vid kondensation av vatten på kortytan kan uppbyggnaden av dendriten ta delar av en sekund och resistansen mellan anod och katod minskar till i det närmaste noll.

För att minska risken för ECM måste en eller flera av ovanstående förutsättningar minska.

- Reducera exponeringen mot fukt med t.ex. conformal coating eller på annat sätt skydda elektroniken.
- Ett renare kort minskar risken. Minimera flussresterna om kortet inte tvättas.
- Det gäller även att minska potentialskillnaden mellan ledarna genom att öka isolationsavståndet.



Exempel på CAF sedda i stark förstoring med ett svepelektronmikroskop

Tennpest

Detta problem kan bara uppstå om man använder rent tenn vilket är ovanligt.

Beta-tenn eller vitt tenn är, om det är helt rent, stabilt ned till +13 °C. Vid lägre temperaturer kan en förändring av atomstrukturen ske och de metalliska egenskaperna förändras och bildar ett grått kristallint pulver, alfa-tenn. Alfa-tenn leder inte ström och kan uppträda som gråaktiga fläckar på metallytan.

Temperaturen inverkar kraftigt på uppkomsten av tennpest men processen är mycket långsam med lång inkubationstid och det tar lång tid innan angreppen är märkbara. Även mekanisk åverkan eller vibrationer påskyndar processen. Tillsatser av olika ämnen som bly, koppar, silver eller antimon gör att omvandlingstemperaturen sänks.

6. Inför Tillverkning

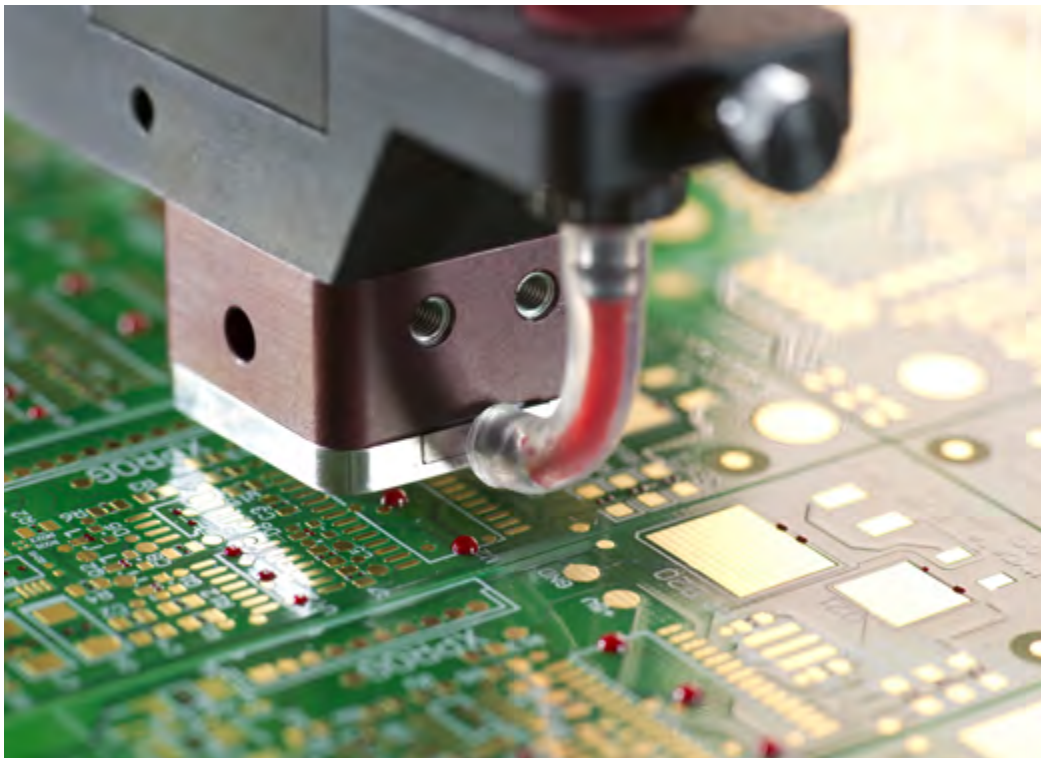
Tillverkningskapitlet är kärnan i denna handbok och inleds med en mycket kortfattad beskrivning av hur produktionen av ett kretskort går till. Det finns naturligtvis mycket mer djuplodande information att ta del av, men det faller utanför ramarna för denna handbok. Kapitlets huvuddel utgörs av beskrivningar av nödvändiga produktionsunderlag, och exempel på dessa finns även bland mallarna.

Om du står i begrepp att beställa ett kretskort och aldrig har besökt en kretskortsfabrik; ta chansen att göra det. Om du har möjlighet att gå igenom produkten och underlagen med tillverkaren på plats i fabriken så kommer det att vara mycket lärorikt.

Tidsperioden då produkten eller prototypen tillverkas kan uppfattas av Produktägare och Utvecklare enbart som en vänte-

tid, men det är en god idé att höra av sig till Tillverkaren ibland och kolla om det finns oklarheter.

Det är viktigt att Tillverkaren har tillgång till kontaktpersoner att fråga om oklarheter eller uppkomna problem. Även under semestertider! Resultatet blir bäst med en pågående dialog, i synnerhet om det är den första prototypen som ska tillverkas.

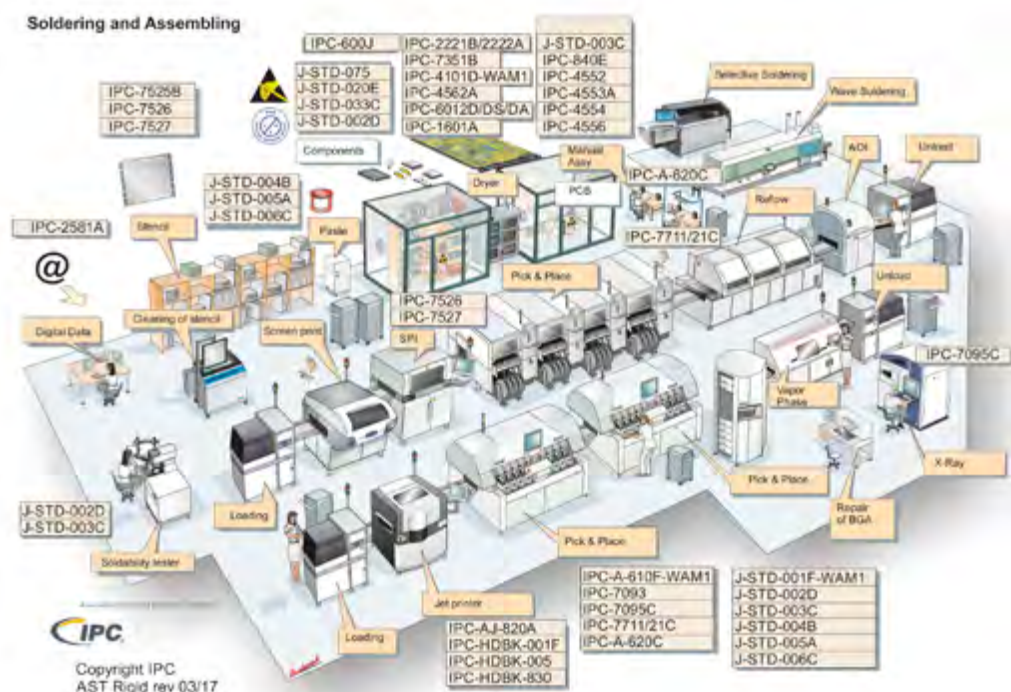


Bilden visar en maskin bestyckad med ett dispenserhuvud för kontaktfri dispensering av lim.

6.1 Beskrivning av elektroniktillverkning

Tillverkning av elektronik är idag en modern processindustri med trevlig arbetsmiljö då processen är tyst och kräver klimatreglering. Att i ord beskriva alla moment och handgrepp som ingår i elektroniktillverkning i detalj är en alltför omfattande uppgift. För att få en så god förståelse som möjligt för hur tillverkning går till rekommenderas ett besök hos den tillverkare du planerar att anlita i ditt projekt. Att Sverige har hög kunskap inom elektroniktillverkning understryks inte minst av att det i landet finns en världsledande tillverkare av produktionslinjer för kretskortstillverkning.

Kärnverksamheten hos Tillverkarna är naturligtvis tillverkning av kretskort. Men ofta är denna tillverkning kompletterad med tjänster som testutveckling, utförande av tester, sammansättning av kretskort till system, inkapsling, reparationer, reklamationshantering, inköp, lagerhållning och distribution (logistik) samt många fler tjänster som en Produktägare kan utnyttja beroende på hur behoven ser ut. Eftersom elektronik finns i fler och fler utrustningar och apparater så har också Tillverkarna utökat sitt erbjudande och tillverkar idag ofta helt färdiga produkter till sina kunder. Detta innebär att förutom elektroniken hanteras plast- och metalldetaljer, kablage, mätare, knappar, displayer, märkning, förpackningar etc.



Bilden visar en schematisk tillverkningsanläggning och det är en bra illustration av alla de steg som krävs innan det blir ett kretskort. Bilden visar även de relevanta IPC-standarderna som berör varje moment.


6.2 Beskrivning av olika tester

Produktägaren bör ha en utvecklad och överenskommen teststrategi för företagets kretskort. För varje utvecklat kretskort måste Utvecklare/Produktägare nämligen tidigt ta beslut om hur det ska testas i en framtida produktion.

Teststrategi. Det är förstås svårt att ta fram ett test för ett kretskort som inte är färdigutvecklat, men teststrategin är ett viktigt hjälpmedel i strävan att ta fram ett produktionstest i tid. Det är inte ovanligt att det kan ta ungefär lika lång tid att ta fram ett tillförlitligt test som det tar att ta fram den första prototypen av ett kretskort, så ha detta i åtanke. Teststrategin bör besvara (enkla) frågor som:

- Hur testas enkla kort (kopplingskort)?
- Hur testas kort med digital/analog funktion?
- Hur testas kort med processor?
- Hur testas kort som är power-supply?
- Hur testas kort där det förekommer hög spänning/höga strömmar?
- Hur ska testdata lagras?
- Hur ska åtkomst av testdata hanteras?
- Vilka standarder är applicerbara på testsystemet (farliga spänningar, klämrisk etc)?

Välformulerade och realistiska krav på tester är avgörande för att uppnå hög kostnadseffektivitet. Genom att samarbeta med kontraktstillverkaren i formulering och granskning av testkraven säkerställer man att kraven är praktiskt genomförbara. Det är viktigt att tidigt göra en avvägning mellan planerad seriestorlek och kostnader för testerna. Låt gärna Tillverkarens testpersonal komma med synpunkter på din konstruktions testbarhet redan under kon-

struktionsarbetet. Då kan Tillverkaren vara med och påverka produktens kvalitet och producerbarhet t.ex. genom att välja rätt ingående komponenter och rätt testmetod, samt säkerställa att komponenterna monteras på ett säkert och effektivt sätt. 

Vidare bör ett produktionstest inte bara bedömas och kvalificeras mot en specifikation. Testsystemet bör köras mot en eller flera produktionsbatcher för att ställa in korrekta testgränser för testat kort.


Efter en tids produktion kan det vara en god idé att analysera var (i vilket test) felen på ett specifikt kretskort upptäcks. Alla tester kanske inte behövs eller det kan tvärtom vara bra att utöka testandet för att ytterligare fintrimma produkten och uppnå optimalt produktionsutfall.


Tester som är mer eller mindre vanligt förekommande:

AOI (Automated Optical Inspection)

- **Vad?** En kamera med vision-program analyserar monterat kretskort och bedömer huruvida monteringen har gått bra jämfört med kretskortsunderlagen. Med AOI kan man se om komponenter är monterade eller ej, samt om de är korrekt monterade och korrekt vända där polariteten spelar roll. Vidare kan lödfogar bedömas. För vissa komponenttyper är det omöjligt för AOI att bedöma om det är rätt komponent som är monterad eller om den är felvänd, t.ex. om komponenten saknar text eller annan identifikation.
- **När?** Utförs vanligen när tillverkningen av ett kretskort stabiliserats och är ett utmärkt hjälpmedel för att hitta fel tidigt

i produktionslinan. Kan även sättas upp och användas med tidiga prototyper. AOI är inget som normalt krävs av Utvecklare/Produktägare men är ett bra hjälpmedel för en Tillverkare att styra processer kring produktion för att tillsammans med Produktägaren få en billigare produkt.


 Om komponenter sitter för nära varandra på kretskortet kan AOI:n få svårt att upptäcka fel. Kameran behöver en viss vinkel för att kunna avsyna ordentligt. En konservativ vinkel som de flesta kameror klarar är 30 grader.

 Om det inte spelar någon roll för konstruktionen, välj då en komponent som är enklare att avsyna. Det är t.ex. lättare att avsyna en operationsförstärkare i en större SO-kapsel än i en QFN (Quad Flatpack No leads) eller i en CSP (Chip Scale Package).

Boundary scan

- **Vad?** En i huvudsak digital testmetod som går ut på att på ett liknande sätt som ICT (beskrivs senare i detta kapitel) påföra signaler och stimuli till kretsar under test. Typiskt har kretskortet en eller flera kretsar utrustade med en så kallad JTAG-port som det går att kommunicera med via ett speciellt protokoll.
- **När?** Boundary scan är ett utmärkt hjälpmedel för att testa avancerade digitala kretsar som annars är omöjliga att testa, t.ex. BGA-kretsar. Via JTAG-porten kan testvektorer sändas till kretsarna på kortet och via sinnrika testmönster kan kretsarnas funktion och deras anslutning till mönsterkortet testas. Även om kretsarna inte kan gå med full hastighet under test är testfrekvensen mycket högre än vad som är möjligt med t.ex. ICT. Viss analog

testning är också möjlig om kretskortet eller testutrustningen har DA-omvandlare som kan styras via kretsar med JTAG-port.

 Koppla ihop JTAG-porten på alla kretsar på kretskortet som är utrustade med en sådan så underlättar det testandet.


Burn-in test


- **Vad?** Belastningsprov som utförs på färdig produkt. Det kan röra sig om tester i förhöjd temperatur, accelererade tester på kort tid eller tester under en längre tid. Målet är att förvissa sig om att varje individ av produkten kommer att fungera i sin applikation.
- **När?** I stabil serieproduktion, för produkter som kommer att belastas hårt i drift och där felutfall i fält orsakar stora problem.


FCT (Functional Circuit Test)

- **Vad?** Funktionstest är ett bra hjälpmedel för att testa en slutgiltig produkt eller flera kretskort som ICT-testats och sedan satts samman. Det är ofta en god idé att testa en produkt så snart värdeadderande åtgärder vidtagits. FCT kan innebära lite allt möjligt. Vanligen utgörs ett FCT av ett funktionsprov som liknar det produkten utsätts för i sin applikation. FCT-utrustningen utför en rad tester som utvecklare/produktägare krävställer i en specifikation,  se mall för Test Data Specification.
- **När?** Främst i stabil serieproduktion men även under uppstartsfasen av nya produkter. FCT är normalt ett krav från Utvecklare/Produktägare men är även ett bra hjälpmedel för en Tillverkare för

att säkerställa att produkten kommer att fungera i sin applikation. Se till att ha en bra dialog tidigt kring FCT och följ upp testtäckning och felutpekning och hur dessa kan maximeras.

 Ett bra skäl till att specificera ett funktionstest är när det kommer att gå höga strömmar genom kretskortet i applikationen. Det går visserligen att testa kontinuitet på ledarbanor och fram till kontakter på ett kort i ett ICT, men det finns ingen bra möjlighet att testa höga strömmar genom lödningar och kontakter.

 Ett annat tillfälle då det krävs ett funktionstest är när vissa standarder kräver detta i t.ex. elsäkerhetsavsnitt. Ett sådant tillfälle är produkter som hanterar farlig spänning. Dessa produkter måste vanligtvis isolationstestas och jordanslutningen kontinuitetstestas för att få sättas på marknaden.


 Produkter som även utgör reservdel kräver samma test som när produkten testas tillsammans med övriga delar av det totala systemet. Därför måste reservdelar också funktionstestas. Exempel: En maskin sluttestas i produktion med avseende på isolation och jordkontinuitet. Då måste även ingående del som levereras enskilt som reservdel isolationstestas och kontinuitetstestas.


FPT (Flying Probe Test)

- **Vad?** Testprober gör nedslag på mönsterkortets lödöar eller på kretskortet med monterade komponenter. Med hjälp av probarna går det att mäta att mönsterkortet är korrekt enligt mönsterkortsunderlaget eller att rätt komponenter är monterade enligt kretskortsunderlaget,

jämför med ICT. Även delvis monterade kort kan testas om det finns åtkomliga ytor för proberna.

- **När?** Vanligtvis utförs ett så kallat "Eitest" på mönsterkortet redan i mönsterkortsfabriken. Detta test är ett utmärkt sätt för en mönsterkortstillverkare att ta reda på om det producerande mönsterkortet stämmer överens med mönsterkortsunderlagen. Det finns typiskt två nivåer på detta test. Antingen tar man reda på om ett kort är "likadant" som alla andra och kortet passerar testet, eller så testas kortet mer tillförlitligt mot dess korrekta nätlista. Det senare kräver, såklart, att maskinen är programmerad med kortets nätlista.

 Testutrustning för Flying probe finns tillgängliga vars testprober kan testa ytor så små som 50 µm x 50 µm.

 För små volymer kan denna typ av test vara ekonomiskt försvarbar även för test av monterade kretskort; det tar längre tid att testa med FPT jämfört med ICT men FPT kräver å andra sidan ingen nåldyna.

ICT/ICA (In-Circuit Test/In-Circuit Analysis)

- **Vad?** Det färdigmonterade kretskortet eller en hel panel spänns fast i en fixtur, så kallad "nåldyna", i en testutrustning. Denna testutrustning ger stora möjligheter att testa både enskilda komponenter och funktionen hos hela eller delar av kretslösningen på kretskortet. Testutrustningen kopplar via nålarna i nåldynan in olika drivare och sensorer så att rätt stimuli kan genereras och resultatet sedan mätas av testprogramvaran i testutrustningen. Beroende på hur avancerad testutrustningen är kan det finnas stora


möjligheter till olika typer av avancerade tester. Dock ska man tänka på att avancerade tester tar tid vilket höjer produktionskostnaden. För att nå en så hög testbarhet som möjligt måste man anpassa sin konstruktion väl till ICT-test genom att se till att det finns plats att placera ut relevanta testpunkter.


Fixturen, nåldynan, är specifik för varje kretskort. Det innebär att om kortet i ett senare skede behöver ändras kan det medföra att även fixturen behöver ändras. Ju större ändring desto mer kostsam. Se till att det också finns styrhål i kretskortet som passar fixturen för att göra testningen snabbare och mera säker.


Testpunkternas placering kräver planering. Sätt inte testpunkter för nära varandra, dels för att det finns ett minimimått som utvald Tillverkarens ICT-utrustning kan hantera, dels för att det blir svårare att komplettera fixturen om nya korevisioner kräver det. Dock bör testpunkterna sitta så nära den krets som ska testas som möjligt för att undvika att ledarens resistans eller kapacitans ska påverka mätningen. Av denna anledning kan det ibland krävas flera mätpunkter på samma ledare.

Testpunkternas utformning kan vara avgörande, en fyrkantig testpunkt kan vara att föredra framför en rund då den totala arean blir större och testpunkten lättare att träffa för nålen. Kommunicera med utvald Tillverkare hur stora testpunkterna måste vara. Ett konservativt mått som funkar för de flesta ICT-utrustningar är 1 mm i diameter eller fyrkant. Tänk också på att sprida testpunkterna så jämt det går över kretskortet för att undvika att de fjäderbelastade nålarna skapar alltför ojämnt tryck över kretskortet vilket kan resultera i sprickbildning i mönsterkortet eller komponenter. Testpunkterna ska också vara fria från lödmask.

• **När?** I stabil serieproduktion. Eftersom denna testmetod kräver att man utvecklar testerna för varje specifikt kretskort och tar fram en fixtur (som är relativt dyr, räkna med 50 000–100 000 SEK) så väntar Utvecklare/Produktägare gärna med att införa ICT tills kortet är mer stabilt och färdigutvecklat. Användningen av ICT specificeras av Utvecklare/Produktägare men det är också ett bra hjälpmedel för en Tillverkare att styra sina processer kring produktionen, när den väl finns på plats. Allt för att tillsammans med Produktägaren få en produkt med lägre felutfall som därmed sparar pengar. Se till att ha en bra dialog kring ICT och följ upp testtäckning och felutpekning och hur dessa kan optimeras.

 Varje Tillverkare har en specifik ICT-utrustning. Det går vanligtvis inte att flytta produktionen utan att göra en ny (dyr) fixtur som passar den nya Tillverkarens ICT-utrustning.

 Om mönsterkortet behöver modifieras efter att nåldynan tillverkats, se till att inte flytta på gamla testpunkter. De kommer då inte kunna användas/testas med mindre än att du modifierar din fixtur eller tillverkar en ny.

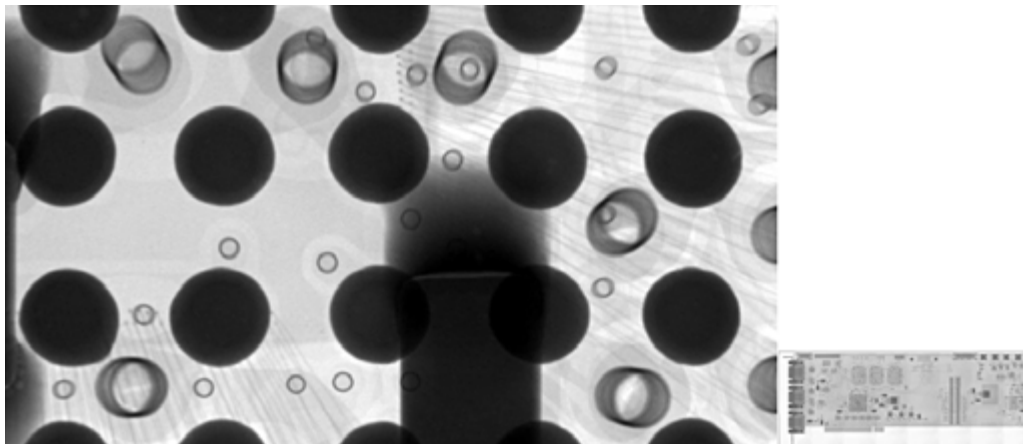
 Om ICT:n har full tillgång till alla pinnar på en processor eller annan programmerbar logik kan den styra denna och verifiera dess funktion. Om det behövs kan ICT:n stänga av de klockor och oscillatorer som finns på kretskortet och generera en egen klocka under pågående test. För att underlätta detta och för att öka testtäckningen bör kretsarnas styrsignaler förses med pull-up eller pull-down motstånd mot matnings-spänning respektive jord.

Manuell avsyning (kallas ibland HOI, Human Optical Inspection, jämför med AOI)


- **Vad?** En operatör granskar och avsynar kretskortets komponenter och lödningar manuellt.
- **När?** Framför allt i små serier när det inte lönar sig att programmera AOI. Risk för att fel missas föreligger dock då operatörens uppgift lätt blir monoton och risken för mänskliga misstag ökar.

ROSE/SEC (Resistivity of Solvent Extract/ Solvent Extract Conductivity)


- **Vad?** Analysmetod för att analysera mängden joniska föroreningar på mönster – och kretskort. Flera IPC-standarder som IPC-6012 för rigida mönsterkort och J-STD-001 för lödda kretskort har krav på renhet mätt med denna metod.
- **När?** Även om IPC har standarder med krav på renhet är detta inte en relevant metod för att bedöma att korten är tillräckligt rena för att vara tillförlitliga. Det är dock en användbar metod för att verifiera att inte renheten förändras över tid i löpande produktion.



Röntgenavsyning/AXI (Automated X-ray Inspection)

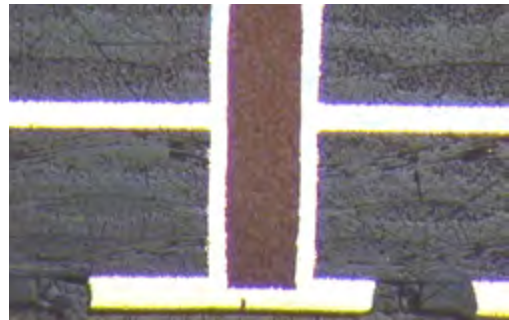
- **Vad?** Det färdigmonterade kretskortet analyseras med röntgenutrustning. Analysen av röntgenbilden sker med hjälp av mänskliga ögon och kräver erfaren personal. Röntgen är ett av få sätt att upptäcka dolda fel på lödningar under t.ex. en BGA-krets. AXI är en mer avancerad version av Röntgenutrustning.
- **När?** I serieproduktion eller för felsökning av enstaka kretskort. Lödning av BGA-kapslar kan endast inspekteras med röntgen. Även innerlager på PCB och bondtrådar på IC-kretsar kan avsynas om utrustningens upplösning tillåter.  Bilaga "Litteraturhänvisningar" Förfalskade komponenter (rätt kapsel men fel eller inget kiselchip) kan avslöjas. AXI är inget som normalt krävs av Utvecklare/Produktägare men är ett bra

hjälpmedel för en Tillverkare att styra processer kring produktion för att tillsammans med produktägaren få en billigare produkt.

 Varje Tillverkare har en specifik Röntgen- /AXI-utrustning. Hur fina detaljer som går att upptäcka beror på utrustningens upplösning.

SPI (Solder Paste Inspection)

- **Vad?** En kamera med vision-program analyserar påstruken/jettad (dispenserad) lodpasta på omonterat kretskort och bedömer huruvida applicerad lodpasta stämmer överens med kretskortsunderlagen.
- **När?** Utförs vanligen när produktionen av ett kretskort stabiliserats och är ett utmärkt hjälpmedel för att hitta fel tidigt i produktionslinan. Kan sättas upp även med tidiga prototyper. SPI är inget som normalt krävs av Utvecklare/Produktägare men är ett bra hjälpmedel för en Tillverkare att styra processer kring produktion för att tillsammans med Produktägaren få en billigare produkt.



Snitt (i kretskort)

- **Vad?** Detta är ett förstörande test. En Mönsterkortstillverkare har ofta utrustning för att analysera ett tvärsnitt av ett kretskort på begäran av en Utvecklare. En utvald del av ett kretskort gjuts då in i plast och det önskade tvärsnittet slipas fram och analyseras i ett mätmikroskop. Kortets geometrier, vior och ledningsbanor kan på så sätt analyseras.
- **När?** Vissa applikationer (t.ex. medicinska) kan kräva att detta test utförs på varje mönsterkortsbatch eller att s.k. testkuponger sparas för senare analys vid behov. Ett annat tillfälle att använda snitt kan vara för att utreda fel som uppstått på ett kretskort och som inte syns på dess yta. Denna analys görs främst för att förvissa sig om att kretskortets geometrier stämmer överens med mönsterkortsunderlagen. Man får då t.ex. svar på följande frågor:
 - Är impedansstyrda ledare korrekt utförda?
 - Är planlagren anslutna som det var tänkt?
 - Har vior tillräckligt tjocka väggar?

Testtäckningstabell

Feltyp	Felorsak,bacerat på IPC	X-ray	B-scan	ICT	Flying Probe	AOI	ATE
Komponentfel	Komponent Defekt (elfel)		X	X	X		X
	Komponent Fel värde			X	X		X
	Komponent ben ligger i spänn						
	Komponent obearbetad						X
	Komponent skadad	X	X	X	X	X	X
	Komponent ej programmerad		X				X
	Komponentben Böjt		X	X	X	X	X
	Komponentben fel bockningsradie						
	Komponentben står inte i linje (koplanaritet)					X	
	Komponentben felaktig benformning						
	Komponentben/kabel längd felaktigt						
	Komponentben böjda under kroppen	X		X	X		X
	Komponentben ej förtennade						
	Lod dålig lödbarhet					X	
	Kort Foliefel			X	X		X
	Kort Basmaterial skadat						
	Kort Blåsor, measling, skrynkling						
	Kort buktigt eller skevt						
	Kontakt skadad	X	X	X	X	X	X
	Guld ej avlägsnat	X					
	Felaktig spänningsavlastning						
	Stift Fläns felaktig						
	Felaktigt isolationsavstånd						
	Isolering eller ledare skadad						
	Märkning felaktig						
	Kabel felaktigt tillverkad						X
	Tråd skadad						
Tråd ej förtennad (när krav finns)							
Tråd Utfläkning							
Mjukvarufel, ej programmerad komponent			X			X	
Monteringsfel	Lod Lodkolor, lodstänk	X					
	Lack saknas						
	Lack skrynklig						
	Lack där det inte ska vara lack			X	X		X
	Lim där det inte ska vara lim			X	X		X
	Lim för lite lim						
	Lim för mycket lim						
	Gjutmassa ohärdad						
	Gjutmassa saknas						
	Gjutmassa där det inte ska vara gjutmassa						X
	Gjutmassa skrynklig						
Placeringsfel	Kort ej rent						
	Komponent Saknas	X	X	X	X	X	X
	Komponent Felvänd	X	X	X	X	X	X
	Komponent Billboard	X				X	
	Komponent Tombstone	X		X	X	X	X
	Komponent fel höjd					X	
	Komponent felplacerad, sid, änd, täöverhäng etc					X	
	Komponent felmonterad (fel värde)		X	X	X	X	X
	Komponent/delar/hårdvara lös/saknas/fel						
	Komponent upp och ned					X	
	Krimpning fel						
	Felaktig montering						
	Minsta isolationsavstånd inkräktas						
	Monteringshöjd överskriden						
Anslutningsfel	Kabel Felkopplad						X
	Tråd felkopplad						X
	Komponent lackmenisk i hålet 7.3.5.8						
	Komponentben felaktigt benutstick						
	Lod Porer, utgasningar, håligheter	X					
	Lod Lodbygga	X	X	X	X	X	X
	Lod oacceptabel vätning					X	
	Lod Olödd anslutning	X	X	X	X	X	X
	Lod Ingen tydlig vätning					X	
	Lod Lodspetsar 5.2.10	X					
Lod Lödning rubbad							
Lod Otillräckligt Lod					X		
Lod Lödfog sprucken 5.2.9	X						
Lod Kallödning			X	X	X	X	








6.3 Underlag för elektronikproduktion

De dokument som beskrivs i detta kapitel är de dokument som behövs som underlag för en så problemfri process som möjligt, både fram till produktion och under själva produktionen. Några av dokumenten beskrivs mer detaljerat i kommande kapitel.

Viktiga dokument vid beställning:

- **Inköpsorder/Beställning** av elektronikproduktion genereras oftast i beställarens affärssystem och hanteras av Inköpsorganisationen. Uppgifter som artikelnummer, revision, antal, pris, referensnummer, önskat datum för leverans, m.m. brukar finnas med i dokumentet. För att en beställning av elektronikproduktion ska bli riktigt bra skall den också innehålla generella krav på tillverkningen, t.ex. IPC-klass, RoHS-deklaration samt att även processspecifika krav kan anges. Om dessa tillverkningspecifika uppgifter inte finns i affärssystemet, se till att de kommer med i ett separat dokument. Gäller beställningen prototyper kan beställningen vara enklare och mindre detaljerad. 
 - **Dokumentöversikt och revisionshantering** är viktigt att ha på plats från början. Om någon använder gamla och/eller felaktiga underlag för tillverkning får det stora konsekvenser.   Kap. "6.3.1. Dokumentöversikt och revisionshantering"
 - **Mönsterkortsunderlag** inklusive underlag för pastamask i form av Gerber- eller ODB++ fil utgör ihop med BOMen den viktigaste byggstenen till det slutliga kretskortet. Blir det fel här så går det sällan att rädda situationen. Säkerställ att underlagen kravställer korrekt mot
- den tänkta tillverkningsprocessen och att referenspunkter för maskiner och fixturer finns.   Kap. "6.3.4 Beställning av Mönsterkort/PCB"
- **Mönsterkortsritning/mönsterkortsspecifikation.** Utöver Gerber- eller ODB++ filer behövs en specifikation av mönsterkortet med t.ex. lagerupbyggnad och materialkrav. Denna kan antingen tas ut ur CAD-programmet i form av en ritning och kompletteras med en specifikation, eller så beskrivs mönsterkortet i ett textdokument. 
 - **BOM-fil** bör tydligt ange vilken komponent som avses för respektive position. Där det är tillåtet att välja fritt inom ramen för givna data kan du med fördel ange generella krav i början på BOM:en (eller i produktspecifikationen), exempelvis tolerans, spänning, effekt, och dielektrikum, t.ex. för komponentgrupper såsom motstånd och kondensatorer.   Kap. "6.3.3 Bill Of Material/BOM"
 - **Komponentplaceringsritningens** text skall vara läsbar, det skall tydligt framgå vilken komponent som texten på ritningen avser och hur komponenten är polariserad.
 - **Koordinatdata** (Pick and Place-fil) för komponenter till monteringsmaskiner krävs för beredningen av kortet, normalt hanterar tillverkaren de flesta format på data. Origopunkten utgörs ofta av ett siktmärke som sedan relaterar vidare till centrum på komponentkroppen för respektive komponent.

Dokument vid behov:


- **Produktbeskrivningen** är en allmänt hållen beskrivning av vad produkten ska utträta.   Kap. "6.3.2 Produktbeskrivning"
- **Specifikationer för custom-komponenter.** Om det finns komponenter på kortet som inte är standardartiklar (t.ex. induktiva komponenter, skärmar, mekanik) måste specifikationer/ritningar för dessa finnas med.
- **Panelritningen** visar hur mönsterkorten ska placeras på panelen. Panelritningen tas normalt fram av Tillverkaren.  Kap."6.3.5 Panelritning". Om det finns krav som påverkar panelen, t.ex. områden där brytpunkter inte får placeras, så inkluderas detta i tillverkningsunderlagen.
- **Testspecifikation** beskriver vilka tester som ska utföras. En bra testplan går inte att skapa i produktion, den utvecklas under produktutvecklingen. Utan test kan inte Tillverkaren garantera funktion.   Kap. "4.1.5 Design for Test (DfT)" och  Kap. "6.2 Beskrivning av olika tester"
- **Testinstruktion** är i regel kopplad till en testutrustning och beskriver hur testförfarandet går till.
- **Schema** används i första hand då det ingår test av produkten. Schemat kan också fungera som ett hjälpmedel i kommunikation med beställaren eller identifiera tänkbara problem vid felutfall.  Kap."4.2 Schema"
- **Monteringsanvisning** är beställarens möjlighet att förmedla instruktioner

till tillverkaren, här kan man beskriva sekvensordning för montage, mekaniska montage, moment som skruvar skall dras med osv.

- **Lackinstruktion** beskriver vilka ytor som skall skyddslackeras, om kortet skall tvättas, vilka komponenter som behöver maskeras m.m.
- **Ingjutningsinstruktion** beskriver hur ingjutningen av kretskortet skall utföras, t.ex. fyllnadsgrad, krav på maskering m.m.

6.3.1 Dokumentöversikt och revisionshantering

Att inte ha ordning på sina dokument och vilken revision av dessa som är den senaste har orsakat enorma kostnader och förseningar i många projekt.

En dokumentöversikt över alla dokument som hör till produkten och deras senaste revisionsstatus är mycket viktigt. Detta minskar risken betydligt för att någon använder ett felaktigt dokument som underlag. Det finns en uppsjö av system för att hantera revisionslägen på ett dokument. Vilket du väljer eller om du använder ditt eget hemgjorda system är inte det viktigaste, utan det är att du använder ett system för revisionshantering. 

Kommunicera alla ändringar och uppdateringar av underlag skriftligt. Vid ändringar och uppdateringar av underlag har e-post den fördelen att du får en automatisk tidsstämpel när meddelandet skickades. Att referera till "det senaste dokumentet" är inte en tillförlitlig metod.

Ändringshantering under pågående serieproduktion hittar du mer information om i separat kapitel. ➔ Kap. "7.4 Ändringshantering"

💡 En enkel form av revisionshantering kan vara att filnamnet innehåller datum, ex. BOM_170304. Tänk på att revisionen också ska synas inuti filen.

6.3.2 Produktbeskrivning

Produktbeskrivningen är avsedd att sätta in kretskortet som ska tillverkas i ett sammanhang så att alla i värdekedjan kan bidra med sina kunskaper och erfarenheter och kunna komma med förslag på alternativa lösningar och förbättringar. Även om kravspecen är det dokument som formellt bestämmer en produkts egenskaper är det mycket värdefullt att produktägaren kompletterar med en produktbeskrivning som leder Utvecklaren och Tillverkaren på rätt spår.

En bra produktbeskrivning kan också hjälpa Utvecklaren att hitta brister i kravspecen, som annars kan bli mycket kostsamma. Om Produktägaren i exemplet nedan exempelvis glömt att inkludera amerikansk radiocertifiering i kravspecen skulle Utvecklaren kunnat upptäcka det tack vare att produktbeskrivningen nämner att produkten skall säljas i Nordamerika.

Exempel. Produkten är en navigationsdator för marint bruk med touch-skärm, inbyggd GPS-mottagare och Wifi...

Miljö: Datorn kan placeras antingen i sittbrunnen eller inomhus. Den kan användas vid starkt solljus men även vid mörkernavigering i både tropiskt, tempererat och arktiskt klimat...

Användarna: Våra kundundersökningar visar att de som köper våra produkter är datorvana, kvalitetsmedvetna fritidsbåtägare som inte accepterar teknikstrul...

Marknad: Prognosen är en årsvolym på 10 000 enheter om två år. Tillverkningskostnaden vid den volymen bör vara högst 1 200 kr. Produkten kommer att säljas i Europa och Nordamerika...

Livscykel: Produkten kommer att säljas i ungefär 4 år utan omkonstruktion. Garantitiden är 2 år. Enheter kommer att repareras och supportas i minst 5 år. 📄

6.3.3 Bill Of Material/BOM


BOM (Bill of Material) är ett dokument där det går att spara mycket framtida besvär om man lägger tid på det och håller det uppdaterat.

Ju mer information du inkluderar i BOM:en desto mer precis offert får du i retur från Tillverkaren när du skickar ut din offertförfrågan. Ditt projekt sparar också mycket tid på alla frågor som Tillverkaren slipper ställa. Sannolikheten att ditt kretskort fungerar som du tänkt ökar då rätt komponenter med rätt värden monteras på rätt plats. För komponenter där fabrikatet är kritiskt för kretsens funktion är det viktigt att fabrikatet är tydligt markerat i BOMen så Tillverkaren vet att det inte får bytas ut.

Det finns två mallar att ladda ner som är uppbyggda på lite olika sätt. Du använder den som passar dig bäst. Båda mallarna ska ses som en bra utgångspunkt och behöver du fler kolumner lägger du bara till dessa. 📄 BOM_A, BOM_B


Ofta utformas BOMen så att alla komponenter med samma specifikation samlas på en rad (så kallad summa-BOM) som innehåller information om position(er), komponenttillverkarens namn och artikelnummer, tillverkarens artikelnummer, elektriska prestanda, kort beskrivning och gärna Second Source om det finns någon. Minst lika viktigt som Second Source är att det tydligt framgår om komponenten inte får bytas ut på grund av att dess egenskaper är unika för funktionen.


Ett annat sätt att utforma BOM:en kan ses i mallen BOM_B. I denna listas en komponent per rad oavsett hur många gånger denna komponent förekommer. Det blir lättare för Tillverkaren att sortera ut specifika attribut med denna typ av BOM, t.ex. är det lätt att sortera ut alla komponenter som ska monteras på primärsidan. Om du kan välja, prata med din Tillverkare och kom överens om vilken typ av BOM som din Tillverkare föredrar.

AML och AVL (Approved Manufacturer List och Approved Vendor List). Olika Produktägare har olika strukturer för BOM och AML. Vissa har BOM- och AML-informationen i samma dokument medan andra väljer att skilja dem åt. 

Revisionshantering är mycket viktigt! Att bara referera till "det senaste dokumentet" kan få katastrofala följder. Alla ändringar ska göras skriftligt. Muntliga överenskommelser måste bekräftas skriftligt för att minska risken för missförstånd eller att något glöms bort. Ta för vana att alltid uppdatera relevanta dokument och se över din revisionshantering så att de är aktuella.

Filformat. BOMen är både ett arbetsdokument och ett original, därför kan man skicka den i både PDF- och Excelformat. Då får Tillverkaren ett dokument som enkelt kan bearbetas för att jobba så rationellt som möjligt samtidigt som originalet i PDF-format finns där som säkerhet. Istället för Excel fungerar även kommaseparerat ASCII-format hos de flesta Tillverkare.

 Skicka BOMen i både PDF- och Excelformat till Tillverkaren.


 Se till att det för varje komponent finns information om komponenten är yt- eller hålmonterad och om den är monterad på primär eller sekundärsidan. Denna information underlättar mycket för Tillverkaren.

6.3.4 Beställning av Mönsterkort/PCB

I dokumentationen som Utvecklaren överlämnar till Tillverkaren ska all information finnas som gör att Tillverkaren i sin tur kan beställa mönsterkortet från en mönsterkortsleverantör. För att tillverkningen av mönsterkortet ska kunna ske utan Produktägarens eller Utvecklarens aktiva medverkan måste underlagen vara kompletta. Se också till att det inte förekommer dubbel/motsägelsefull information i underlaget. Det är inte ovanligt att det finns olika information i Specifikationen, Gerber- eller ODB++ filer och textfiler vilket leder till onödiga tekniska frågor och fördröjer tillverkningen. Se  Kap. "4.1.3 Design for Manufacturing/ DfM" och  Kap. "4.3 Konstruktion av mönsterkort"

Tillverkaren ser till att rätt information, inklusive panelritning, skickas till mönsterkortsleverantören.

Följande behöver ingå:

- Mönsterkortsspecifikation, här lämnas information om IPC-standard, kortuppbyggnad, koppertjocklek, plätering, ytbehandling m.m.
Se  "PCB Specification"
- Gerberdata + Borrddata alternativt ODB++/IPC-2581, beskriver ledarna på varje lager, lödöar (footprint), screentryck, borrhål m.m.

Tillverkaren behöver komplettera med följande information:


- Storlek/Design på panel om sådan önskas
- Placering av siktmärken för panelen
- Utformning av brytpunkter
- Eventuellt en definierad yta för lödbarhetstest

I retur från mönsterkortstillverkaren förväntas, förutom själva mönsterkortet, även:

- Pastafil, denna fil innehåller ett repeterat gerberunderlag för pastaplåtbeställning.
- PCB-certifikat (CoC, Certificate of Conformance), detta dokument innehåller mönsterkortsleverantörens deklARATION att definierade standarder är uppfyllda.

6.3.5 Panelritning

För att effektivisera tillverkning och montering av kretskort så placeras de normalt i större paneler vilka innehåller ett flertal kretskort. Standardiserade storlekar på mönsterkort (paneler) minskar antalet omställningar av monteringsmaskinerna vilket gör tillverkningen effektivare. En annan effekt är att mönsterkortstillverkarna i sin tur kan optimera sina processer.

 Kap. "4.1.3 Design for Manufacturing/ Production, DfM/DfP"

Utformningen av paneler bör du som Utvecklare låta din Tillverkare ta hand om, baserat på din kravställning. Det är viktigt att panelerna utformas så att de blir så stadiga som möjligt då ostadiga paneler medför en stor osäkerhet i tillverkningsprocessen. Vanliga standardstorlekar som mönsterkortstillverkarna tillhandahåller är 130×200, 180×200, 200×270 och 270×420 mm och det är på dessa panelstorlekar dina kretskort placeras in. Lösa mönsterkort kan hanteras direkt av monteringsmaskinerna ner till storlekar av ungefär 80×80 mm, men hanteringen blir oftast mycket mer rationell om man använder hela paneler.

Det finns ett antal saker att ta i beaktande vid utformningen av paneler:

Maskinprogrammering och avsyning förenklas om korten är symmetriskt placerade i panelen. Om inga produktionsmässiga aspekter hindrar bör exempelvis spegelvända, roterade och förskjutna panelrader undvikas.

Korten måste sitta stabilt i panelen därför att:

- Screen-tryckningen blir problematisk om korten inte ligger dikt an mot plåten.
- Komponenter fjädrar mot kortet och rubbas lätt ur sitt läge om korten sviktar under montering.
- Ostadiga kort slår sig ytterligare i ugnen vilket medför problem vid fortsatt hantering och verifiering, exempelvis för montering på kortets sekundärsida.
- Den automatiska avsyningen blir problematisk eller i vissa fall omöjlig att genomföra med skeva paneler.
- Den mekaniska stress som böjning och skevning innebär leder till att korten inte uppnår sin beräknade livslängd.

Kanternas utformning på panelerna är viktig för att panelerna ska kunna hanteras utan problem i transportsystemet. Är hörnen för skarpa riskerar panelerna att fastna i maskinerna och kraften i transportsystemet är fullt tillräcklig för att skada korten. Om korten ska ha raka kanter och skarpa hörn kan man sätta en avrundad brytlist på främre kanten, se figur nedan. Din Tillverkare kan ge besked om rekommenderad radie.



Avrundad brytlist mot färdriktningen.

Minimivstånd till lödtytor, komponenter och referenspunkter bör också beaktas då panelen hanteras i maskinerna. Den Tillverkare du valt att arbeta med kan ge besked om erforderligt minsta avstånd för aktuella maskiner.

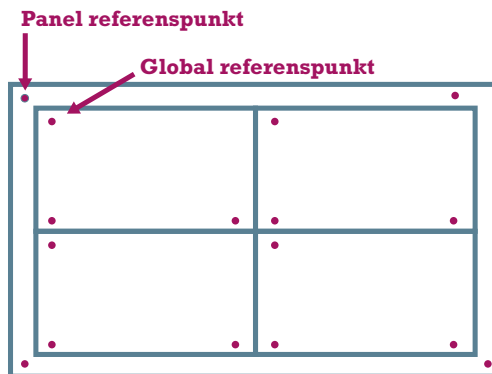
Brytpunkter. Kort placerade i paneler skall ha brytpunkter utplacerade så att kortet sitter stadigt i panelen och hindras från att röra sig under hantering. Antalet brytpunkter bestäms av kortets storlek, tjocklek, tyngd, material, hur stora hål som borras i brytpunkterna och kortets design. Din Tillverkare kan ge besked om lämplig utformning och placering av brytpunkterna så de passar aktuell monteringsmaskin. Placering av brytpunkter kan även påverka layouten.

Referenspunkter eller Fiducials, används av monterings- och avsyningsmaskinerna för att uppnå en tillräcklig noggrannhet. Saknas referenspunkter försämras noggrannheten vilket påverkar resultatet och i värsta fall omöjliggörs montering och automatisk avsyning helt. Det finns tre olika typer av referenspunkter:

- **Panel** – Används för att hitta själva panelen och verifiera att den är rätt vänd i maskinen.
- **Global** – Används för att få en bättre noggrannhet på varje kretskort i en panel. För att underlätta montering och avsyning bör man placera minst två, helst tre globala referenspunkter per kretskort. Fler referenspunkter än tre fyller ingen funktion.
- **Lokal** – Används för kretsar med fin benindelning vilka kräver särskild noggrannhet för sin placering och avsyning.

Placeringen av referenspunkterna är viktig då man kan utnyttja dessa till att förenkla tillverkningsprocessen och förebygga problem som exempelvis felmontering. Figuren nedan visar hur Panel- och Globala referenspunkter bör placeras för att uppnå ett gott resultat. För att uppnå högsta möjliga noggrannhet bör avståndet mellan referenspunkterna vara så stort som möjligt, bäst är att placera punkterna nära kortets hörn. För att eliminera möjligheten att kortet vänds fel i monteringsmaskinerna, bör referenspunkter placeras osymmetriskt. På dubbelsidiga kort bör punkterna vara placerade så att punkterna inte kan hittas om korten placeras med fel sida upp. Tiden som varje panel upptar i montering minskar om referenspunkternas placering framgår av koordinatdata (pick and place-fil) och på placeringsritningen.

Referenspunkterna bör placeras minst 5 mm från kortkanten, annars riskerar punkterna att döljas av maskinernas kortfixeringsstöd.



Panel med fyra singelkort

Referenspunktens utförande är lika viktig som dess placering. Felaktigt utförda referenspunkter kan resultera i att maskinerna inte lyckas lokalisera dessa. Det är rekommenderat att använda referenspunkter utformade som en punkt eller ett plus-tecken, se figur nedan. De bör inte vara mindre än 1,0 mm i diameter, och inte större än 2,0 mm. Rekommenderad storlek är 1,5 mm. Det är viktigt att punkterna är utförda så att de tydligt kontrasterar mot mönsterkortets färg, eftersom det annars kan uppstå problem att urskilja referenspunkten mot bakgrunden.

Ytan på referenspunkten skall vara jämn. Med tenn/bly-belagda (HASL) mönsterkort erhålls ofta referenspunkter med konvex yta. Dessa resulterar i dålig noggrannhet vid avläsningen. Ställ krav på noggrannhet från PCB-leverantören eller använd exempelvis kemiskt tenn eller guld som beläggning vilket ger helt plana punkter. Normalt kan samma oxidskydd användas på referenspunkten som på övriga kortet. Ytan måste dock fortfarande vara plan.

Punkter under 1,0 mm i diameter, fyrkanter och cirklar med hål kan hanteras men bör undvikas, se figur nedan. Referenspunkter utformade som dubbla plus-tecken eller dubbla fyrkanter eller så kallade diamonds, stöds inte av alla maskiner och bör således även de undvikas. Vid användning av "multi-board" så ska alla referenspunkter på samtliga kort vara av samma typ och ha samma yta. Det bör alltså sitta referenspunkter på samtliga kort oavsett om de sitter i panel eller är singelkort. Detta för att man skall kunna säkerställa en mer exakt fixering av kortet.



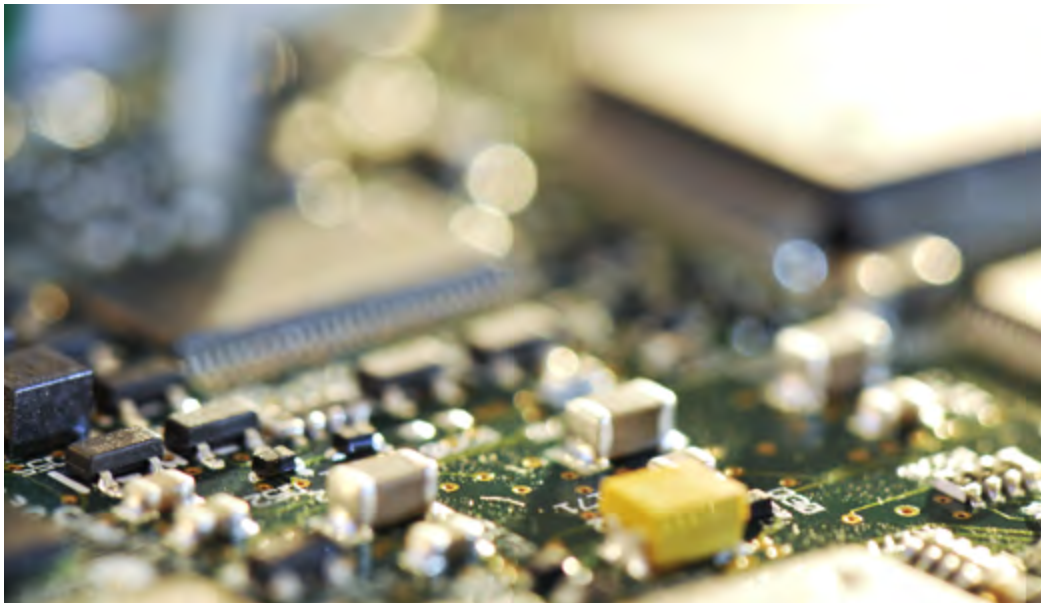
Rekommenderade utformningar av referenspunkter.



Utformningar av referenspunkter man bör undvika.

7. Uppföljning av Tillverkning

Tillverkningen är klar och produkten har levererats! Om det handlar om serietillverkning är detta en rutinmässig händelse men är det en prototyp som levererats är det kanske första gången Produktägaren och Utvecklaren får se sin vision i verkligheten, vilket kan kännas som rena julafton! Handbokens syfte är inte att beskriva hur du utvärderar en prototyp, men detta kapitel ger dig några tips du kan ta med dig till perioden efter tillverkningen.





7.1 Ankomstkontroll och verifiering

Tillverkaren har normalt bra koll på sina processer men ibland kan något ha blivit fel, så kontrollera åtminstone ett eller några stickprov av levererat gods.

Om det är prototyper som inte fått individmärkning hos Tillverkaren; sätt en etikett med ID-nummer på produkten så fort den plockas ut ur förpackningen så har du skapat ett minimum av spårbarhet. Om du inte har ett mer avancerat serienummer-system kan det räcka med "P1-1", "P1-2"... Det kan också vara mycket användbart med en "individlogg" där man håller koll på proto-

typerna och vilka särskilda egenskaper de har eller de förändringar som gjorts. Verifieringens omfattning kan variera enormt så här är några allmänna tips till dig:

 Dokumentera vilka tester som gjorts och på vilken revision av hårdvara respektive mjukvara.

 Om det finns skillnader i bestyckning eller funktion mellan olika individer bör det även dokumenteras vilka individer som testats och hur de testats.

7.2 Producerbarhet

Både efter första produktionsrundan och senare i volymproduktion kan du få mycket information, synpunkter och tips av Tillverkaren. De har goda möjligheter att komma med synpunkter och tips kring producerbarhet, underlag, byggsätt, komponentval osv.

- Innehåller kretskortet konstruktionslösningar eller materialval som gör slutprodukten onödigt dyr?
- Innehåller kretskortet komponenter med lång ledtid?
- Innehåller kretskortet komponenter som är svåra att få tag på?
- Finns det krav på stor MOQ (Minimum Order Quantity) från komponentleveran-

törer som gör att man måste hålla stora lager av komponenter?


- Hur stort är felutfallet i produktionen? Ett annat uttryck för detta är Yield, vilket innebär antal fungerande kretskort av totalt antal tillverkade och brukar uttryckas i %.
- Finns det tidskrävande moment?
- Går alla komponenter att montera?

Tillverkaren sitter inne med mycket kunskap och erfarenhet som de gärna delar med sig av. Missa inte att fråga om feedback och ta med synpunkterna till nästa prototypomgång eller då (serie)produkten ska uppdateras längre fram.

7.3 Återkoppling

En grundbult i arbetet med ständiga förbättringar är att använda de synpunkter som respektive kund/leverantör har på varandras utförda arbete. Det är bra om beställaren av ett kretskort aktivt ber om återkoppling på t.ex. tillverkningsunderlagens kvalitet och konstruktionens producerbarhet. På samma sätt är det viktigt att Tillverkaren får synpunkter på felaktigheter i producerade enheter, t.ex. brister i lödkva-

litet, felaktiga komponenter etc. En kontinuerlig öppen dialog är ett viktigt verktyg för ökad konkurrenskraft. På det sättet kan man med gemensamma åtgärder förbättra produktens kvalitet, korta ledtider och samtidigt sänka kostnader i produktionen.

 Återkoppla också när det går bra och fungerar! Alla människor mår bra av uppmuntrande ord.

7.4 Ändringshantering

Hur noggrann du än varit när du konstruerat din produkt så kommer den med hög sannolikhet att behöva ändras på. Detta kan t.ex. bero på att någon komponent har nått End of Life, konstruktionsfel, ny funktionalitet som ska införas eller något

annat. Mellan två prototypomgångar ändras vanligen mycket på kretskortet och då skickar man helt enkelt nya underlag till Tillverkaren som då i stort sett börjar om från början med beredningen. Om din produkt däremot går i serieproduktion eller om

det är små ändringar som ska göras kan det vara mer effektivt att bara beskriva ändringarna än att skicka alla underlag på nytt.


ECN, ECR och ECO (Engineering Change Notice, Engineering Change Request och Engineering Change Order) är vanligen de tre stegen vid förändringar i en produkt eller i ett kretskort i större organisationer. I mindre organisationer använder man oftast bara en ECO (Ändringsorder) direkt. Dokumenthanteringssystem finns i många olika varianter. Större företag med ett större antal egna produkter använder sådana system som även stödjer ändringshantering

och revisionshantering. Men om du arbetar på ett företag som saknar denna typ av system bör du ha en plan för hur du gör ändringar i dina underlag, dokumenterar dessa och kommunicerar dem med tillverkaren. Det har du mycket glädje av över tid.

Ändringsordern skickas oftast till Tillverkaren av Produktägaren eller (på Produktägarens uppdrag) av Utvecklaren. Tillverkaren kan naturligtvis föreslå förändringar av olika slag, men ändringarna bör inte införas förrän man är tydligt överens om det, t.ex. genom att en ECO skrivits och godkänts av båda parter.



Montören har valt att manuellt mata in en panel i denna ytmonteringsmaskin för efterföljande montering av komponenter. Normalt kommer panelerna åkande på transportband inne i maskinen

 Till din hjälp finns en ECO-mall som bilaga till Handboken, se kortfattad beskrivning av mallen nedan. Om du inte vill använda mallen så går det också

bra att beskriva de ändringar du vill att Tillverkaren gör i ett textdokument, men även då har du nytta av tipsen på nästa sida:

💡 Ta upp tidigt att en ändring är förestående. Då ger du Tillverkaren möjlighet att föreslå flera förbättringar som förhoppningsvis höjer kvaliteten, sänker kostnaderna eller både och.

💡 Beskriv kortfattat i fritext varför ändringarna görs.

💡 Ange kontaktperson hos Produktägare/ Utvecklare respektive Tillverkare.

💡 En ändring innebär så gott som alltid extra kostnader, förändrad process, överblivet material, etc. Säkerställ att ni är överens med Tillverkaren om kostnaderna och hur de ska fördelas.

💡 Var tydlig med när ändringen ska införas (snarast/när utbytt material slutförbrukats/annan tidpunkt) och vad som ska hända med material som eventuellt blir över (t.ex. skrotning). Rätt hanterat och i dialog med Tillverkaren kan ofta överblivet material elimineras.

💡 Påverkas redan producerade och ännu ej levererade enheter och ska de också revideras?

💡 En ECO per produkt är en bra tumregel. Om ECO'n blir komplicerad kan det bero på att du försöker täcka in många ändringar som egentligen inte har med varandra att göra i en ECO. Om du gör ändringar i flera produkter samtidigt som påverkar varandra kan du behöva ange i ECO:erna i vilken ordning de ska införas eller om alla måste införas samtidigt.

Beskrivning av ECO-mallen: Mallen är gjord i Excel, men när den skickas till Tillverkaren bör den skickas som pdf-fil.

Om du inte vet vad du ska skriva i de olika fälten; ta upp diskussionen med Tillverkaren. Exempelvis kan det vara svårt för Utvecklaren att ha koll på om en ändring påverkar produktionstester eller tillverkningsmetod.

I mallen finns tre typer av ändringar: Produktrevisionsstegning, Dokumentändring och Materialändring:

- **Produktrevisionsstegning:** De ändringar som görs är så pass stora eller betydelsefulla att produktrevisionen höjs. Genom att höja produktrevisionen går ändringen lätt att spåra, vilket är viktigt om den t.ex. påverkar kompatibiliteten med andra delar av systemet.
- **Dokumentändring:** Revisionsändringar av dokument. Det kan vara ändringar som påverkar produktrevisionen eller inte. De måste dock inte göra det, utan det kan vara förtydliganden i monteringsinstruktioner eller liknande.
- **Materialändring:** Här skrivs de detaljerade materialförändringarna in. Det kan t.ex. vara R213 som ändras från 10Ω till 15Ω eller kretskortet ABC123 som byts till kretskortet CDE456.

8. Mallar, Lästips och annat nyttigt

Mallar till handboken som finns att ladda ner utan kostnad på www.svenskelektronik.se:

Mall	(Filnamn)
1. Offert Prototyp	(Offert_Prototyp_Mall)
2. Offert Serieproduktion	(Offert_Serieproduktion_Mall)
3. Beställning av tillverkning av kretskort	(Beställning_Mall)
4. Dokumentöversikt	(Dokumentöversikt_Mall)
5. Dokumentöversikt, ifyllt exempel	(Dokumentöversikt_Mall_Exempel)
6. Produktbeskrivning	(Produktbeskrivning_Mall)
7. Produktbeskrivning, ifyllt exempel	(Produktbeskrivning_Mall_Exempel)
8. BOM, enklare version	(BOM_A_Mall)
9. BOM, enklare version, ifyllt exempel	(BOM_A_Mall_Exempel)
10. BOM, större version	(BOM_B_Mall)
11. BOM, större version, ifyllt exempel	(BOM_B_Mall_Exempel)
12. BOM & AML	(BOM_AML_Approval)
13. PCB Specification	(PCB_specification_Mall)
14. Test Data Specification (TDS)	(Test instruction Mall)
15. Ändringsorder/Engineering Change Order	(ECO_Mall)
16. Revisionsändring	(Revisionsändring_Mall)
17. Revisionsändring, ifyllt exempel	(Revisionsändring_Mall_Exempel)

Checklista

18. RFQ checklista (RFQ_Checklista)
19. Checklista för inköpare, se IPC Checklista för produktion av Rigida PCBAs sid. 12 och sid. 14
20. Generell Projektchecklista, se IPC Checklista för produktion av Rigida PCBAs sid. 8. IPC Checklista för produktion av Rigida PCBAs finns på Svenska för medlemmar i Svensk Elektronik att ladda ner på www.svenskelektronik.se. Den finns på Engelska att ladda ner från www.ipc.org. Där finns också IPC's hela sortiment av standarder till försäljning.

Bilagor som finns att ladda ner utan kostnad på www.svenskelektronik.se.

- | | | |
|-----|--|--|
| 21. | Parlör, som innehåller de flesta uttryck och förkortningar du behöver för att klara kommunikationen mellan Produktägare, Utvecklare och Tillverkare. | (Parlör) |
| 22. | Tillförlitlighet hos mönster- och kretskort | (Tillförlitlighet_hos_mönster_och_kretskort) |
| 23. | EU Direktiv och regelverk | (EU_Direktiv_och_regelverk) |
| 24. | Litteraturhänvisningar | (Litteraturhänvisningar) |

Avtal med hänvisning var de hittas på nätet. Orgalim och Incoterms tar betalt för sina dokument:

Avtal

- | | | |
|----|-------------------------------------|--|
| a. | NDA | www.svenskelektronik.se |
| b. | SEAL (2012 är senaste ver. nu) | www.svenskelektronik.se |
| c. | NL (2009 är senaste ver. nu) | www.teknikforetagen.se |
| d. | SEAL-K (2012 är senaste ver. nu) | www.svenskelektronik.se |
| e. | Orgalim (2012 är senaste ver. nu) | www.orgalim.eu |
| f. | Incoterms (2010 är senaste ver. nu) | www.incoterms.se |

Andra källor till kunskap är Utvecklarnas (Konsultbolagens) och Tillverkarnas (EMS/Legotillverkarnas) hemsidor.

Mer om Smartare Elektroniksystem och Kompetensnaven:
www.smartareelektroniksystem.se

9. Om Handboken

Smartare Elektronikhandboken 2.0 har tillkommit som ett delprojekt inom Smartare Elektroniksystem, www.smartareelektroniksystem.se, vilket är ett Vinnovafinansierat projekt. Smartare Elektronikhandboken 2.0 är en vidareutveckling av den första Smartare Elektronikhandboken som även det var ett Vinnovafinansierat delprojekt inom Smartare Elektroniksystem.

Arbetsgruppen som under 2018 och 2019 har jobbat med att ta fram den här Handboken har bestått av medarbetare från nedanstående företag och organisationer. Förutom arbetstid har de bidragit med material i form av texter, bilder och mallar som använts som underlag för denna Handbok:

- Branschorganisationen Svensk Elektronik
- Atlas Copco AB
- EK Power Solutions AB
- Eskilstuna Elektronikpartner AB
- Frikab AB
- Inission AB
- Mycronic AB
- NCAB Group Sweden AB
- Note AB
- Orbit One AB
- Prevas AB
- RISE IVF AB
- Trimble AB
- Veoneer AB
- ÅF Digital Solutions AB

Denna Handbok med Mallar och Bilagor är skriven baserad på all den samlade kunskap och erfarenhet alla i arbetsgruppen har inhämtat under sina år i elektronikbranschen. Trots att vi har gått igenom materialet noggrant ett flertal gånger kan vi inte garantera att det inte har smugit sig in felaktigheter och alla som använder sig av innehållet i Handboken gör det på eget ansvar. Arbetsgruppen tar inte på sig något ansvar för fel eller skador som uppstår inom de områden den här Handboken omfattar.

Handboken, bilagorna och mallarna finns att ladda ner från:

www.smartareelektroniksystem.se
och www.svenskelektronik.se.

Upphovsrätt. Denna Handbok får användas och spridas fritt i sin helhet. Om bilder eller delar av texterna används i andra sammanhang ska ursprunget uppges.

Bildkällor. Nämnda källor har bidragit med bilderna:

- EK Power Solutions AB
- Eskilstuna ElektronikPartner AB
- IPC
- Mycronic AB
- NCAB Group Sweden AB
- Prevas AB
- ÅF Digital Solutions AB

9.1 Revisionsbeskrivning

2019 Oktober:
Handboken 2.0 Första utgåvan.

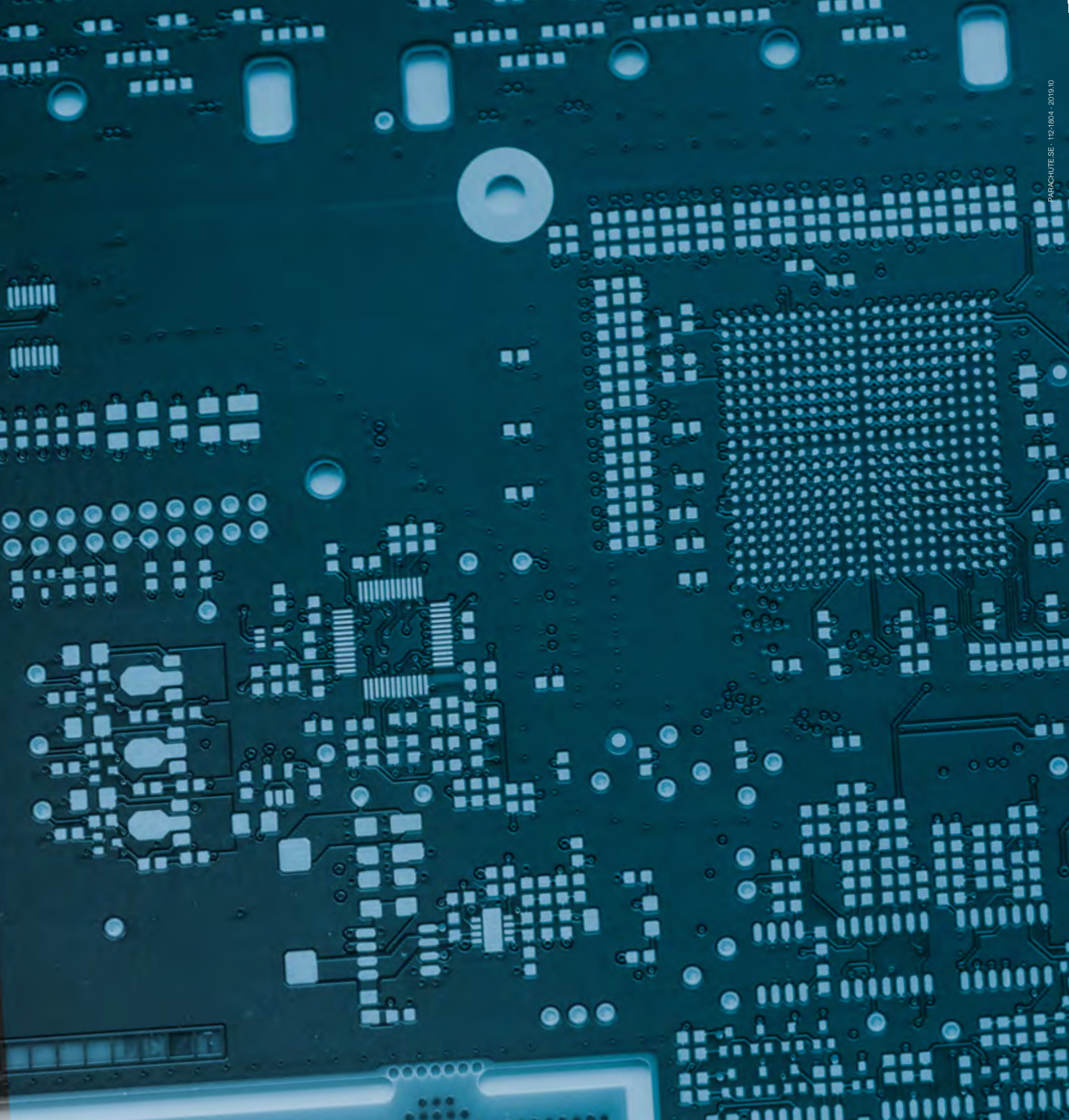
Denna Handbok med Mallar och Bilagor är skriven baserad på all den samlade kunskap och erfarenhet alla i arbetsgruppen har inhämtat under sina år i elektronikbranschen. Trots att vi har gått igenom materialet noggrant ett flertal gånger kan vi inte garantera att det inte har smugit sig in felaktigheter och alla som använder sig av innehållet i Handboken gör det på eget ansvar. Arbetsgruppen tar inte på sig något ansvar för fel eller skador som uppstår inom de områden den här Handboken omfattar.

Har du synpunkter och vill bidra till Handbokens utveckling?

Kontakta:

Maria Månsson, Ordförande i Smartare Elektroniksystems Värdekedjaråd;
maria.mansson@smartareelektroniksystem.se

Mats Andersson, Processledare för Handboken;
mats.andersson@smartareelektroniksystem.se



PARACHUTESE - 112-1804 - 2019.00

**Smartare
Elektroniksystem**
ELECTRONIC COMPONENTS & SYSTEMS

smartareelektroniksystem.se



**SVENSK
ELEKTRONIK**

svenskelektronik.se

ISBN: 978-91-985741-0-4

Pris: 375 SEK exkl. moms