

De principes van PCB-productie

Processtappen en kwaliteitsbeheersing

In dit artikel beschrijft Mark Laing, product marketing manager van Mentor Graphics, het PCB-productieproces, vanaf de kale printplaat tot een operationeel board.

MARK LAING,
MENTOR
GRAPHICS

De PCB doorloopt in een productielijn een groot aantal processen, bijvoorbeeld:

- Zeefdrukken
- Pasta inspectie
- Aanbrengen lijm
- Automatische plaatsing componenten
- Automatische optische inspectie componenten
- Golfsolderen
- Reflow-oven
- Manuele plaatsing componenten
- Automatische optische inspectie componenten/pennen
- Automatische röntgeninspectie componenten/pennen
- Flying probe test
- In-circuit test
- Boundary scan test
- Functionele testen

Deze processen worden in een vaste volgorde doorlopen, hoewel een aantal factoren afhankelijk is van de eisen en wensen in individuele productielijnen. Bij dubbelzijdige PCB's kan een tweede serie processen worden gedefinieerd, die per printzijde kan verschillen. Productie-eisen, productievolumes, en het uiteindelijke toepassingsgebied zijn ook van invloed op de exacte configuratie van de productielijn.

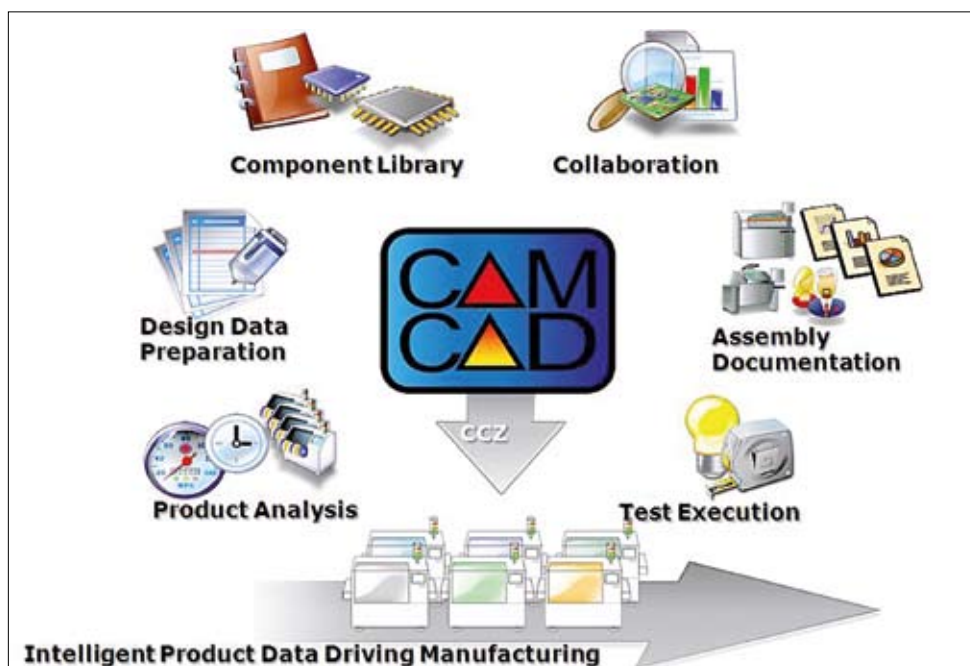
Assemblage

De meeste apparaten in een PCB-productielijn moeten individueel worden geprogrammeerd met de details van de taken die ze moeten uitvoeren. In de meeste gevallen omvat dit ook gedetailleerde informatie over de PCB oplevert, opdat die correct functioneert.

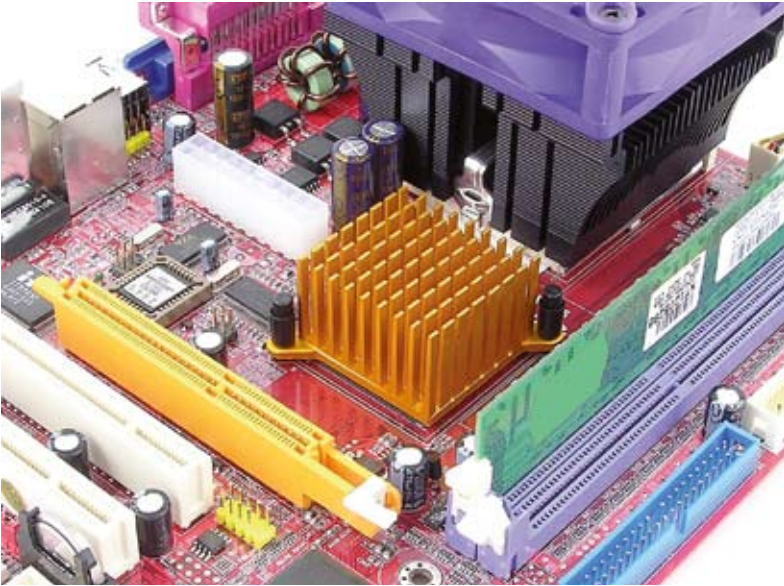
Elke afzonderlijke component wordt tijdens het productieproces fysiek geplaatst door een machine. Daarom moet worden gekozen welke machine welke component gaat plaatsen, om te komen tot een maximale doorvoer of minimale configuratiewijzigingen in de productielijn. De techniek die wordt gebruikt om te beslissen welke machines welke componenten plaatsen heet 'line balancing'. Meestal is er maar één machine die de componenten op de PCB plaatst, maar het is niet ongebruikelijk om keuzemogelijkheden te hebben voor individuele componenten – en dan moeten keuzes worden gemaakt.

Diverse factoren zijn van invloed op deze keuze. Voor de hoogste doorvoersnelheid moet de lijn zodanig worden gebalanceerd dat de invloed van de langzaamste machine of van een bottleneck-proces zo klein mogelijk is. In een high-mix omgeving, waar doorvoersnelheid minder telt, is minimale modificatie belangrijker. Hier wordt de lijn zodanig geconfigureerd dat er zo weinig mogelijk machine-setup processen nodig zijn, die moeten worden uitgevoerd als verschillende producten op dezelfde lijn worden gemaakt. Het verplaatsen van een enkele component naar een andere machine kan een significant effect hebben op de optimalisering van de individuele machine en dus de complete productielijn.

Als de componenten zijn toegewezen aan de plaatsingmachines, kan nog machinespecifieke optimalisering worden uitgevoerd, om de prestaties van de machine in de lijn te verbeteren. Het verschillende malen herhalen van machineoptimalisatie en lijnoptimalisatie om telkens een beter resultaat te krijgen, wordt iteratieve line-balancing genoemd.



CAMCAD productieflow.



Als de optimalisaties zijn uitgevoerd, kan een programma worden gemaakt waarin alle componentenplaatsingen zijn beschreven, evenals de instellingen die moeten worden gebruikt voor elke plaatsing en de volgorde van de plaatsingen.

Inspectie

Er zijn vier categorieën inspectieapparatuur voor het detecteren van productiedefecten. Dat zijn Paste Automated Optical Inspection (AOI), Pre-reflow AOI, Post-reflow AOI en Automated X-ray Inspection (AXI).

Paste AOI wordt gebruikt voor de controle van de soldeer pasta die op de PCB is aangebracht. Op dit punt zijn nog maar weinig kosten gemaakt in de vorm van dure componenten. Onvoldoende soldeer kan op dit moment heel eenvoudig worden gecorrigeerd. Pre-reflow AOI inspecteert de componenten voordat ze worden gesoldeerd. Omdat de soldeerverbindingen nog niet zijn gemaakt, kan hier alleen aanwezigheid of afwezigheid worden gecontroleerd. Ook hier kunnen correcties nog met minimale kosten worden uitgevoerd.

Post-reflow AOI controleert zowel de componenten als de soldeerverbindingen. 'Verborgen' verbindingen kunnen niet worden gecontroleerd met AOI, de verbindingen moeten zich in de zichtlijn van de inspectiemachine bevinden. Als er defecten worden gevonden, kunnen ze worden hersteld, maar de kosten zullen nu hoger zijn.

AXI kan worden gebruikt voor het opsporen van problemen op component- en aansluitpunten-niveau. Zelfs defecten binnen in de soldeerverbindingen of verborgen defecten onder componenten kunnen met röntgeninspectie worden gevonden.

Testapparatuur

Er zijn eveneens vier categorieën testapparatuur: In-Circuit Test (ICT), Boundary Scan Test (BST), Flying Probe Test (FPT) en Functionele Test (FT).

ICT werkt met elektrische testtechnieken om van elke component te controleren of de verbindingen conform het ontwerp zijn uitgevoerd, zodat de PCB theoretisch goed zou moeten functioneren. In de praktijk zijn er beperkingen door bepaalde circuitconfiguraties en functionele defecten die de totale foutdekking van deze techniek reduceren.

BST is een specifieke testtechniek die gebruik maakt van de IEEE1149-standaard om eventuele productiefouten op te sporen via extra aangebrachte circuits die daarvoor zijn ingebouwd in bepaalde typen componenten.

FPT werkt met vergelijkbare technieken als ICT, maar in plaats van een speciaal gemaakte testfixture gebruikt FPT een handvol beweegbare meetprobes die contact maken met de print. Door de bewegingen van deze probes is de testtijd met FPT aanzienlijk langer dan ICT, maar voor kleine productiehoeveelheden is het aantrekkelijk omdat er geen kosten hoeven te worden gemaakt voor een ICT-fixture.

FT omvat een groot aantal specifieke testsystemen, die primair bedoeld zijn voor het controleren van de werking van de PCB en niet voor het opsporen van productiefouten. Afhankelijk van de applicatie worden de testsystemen geselecteerd.

Nieuw product

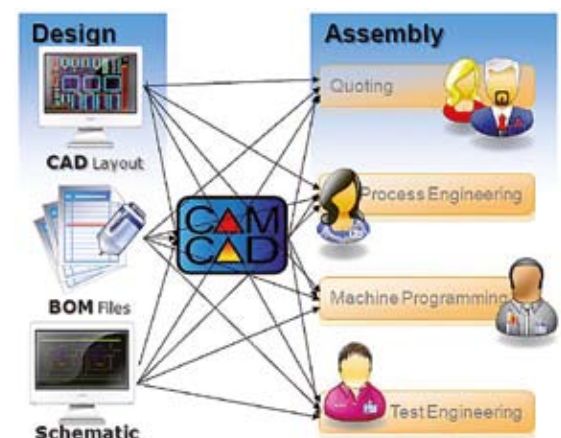
Als een product is voorbereid voor uiteindelijke PCB-productie bevindt het zich in een fase die New Product Introduction of NPI wordt genoemd. In deze fase wordt het ontwerp geanalyseerd

ten behoeve van produceerbaarheid en potentiële proefproducties. De bedoeling is om te garanderen dat een product met succes in volume kan worden geproduceerd.

De doelstelling van NPI verschilt per productie. Bij NPI krijgen snelle resultaten meestal voorrang boven het maximaliseren van productievolumes. Ten aanzien van de teststrategie gaat het dan meestal om flying probe testen en bench-top boundary scan – in tegenstelling tot In Circuit Test en embedded boundary scan. De assemblage-apparatuur kan zijn ingesteld voor kleinere series, waarbij verschillende producten kunnen worden vervaardigd met minimale aanpassingen van de setup.

Datavoorbereiding

De PCB-producent moet weten welke componenten op de print moeten worden geplaatst, waar ze zijn gepositioneerd en hoe ze elektrisch met elkaar moeten worden verbonden. Deze data komen gewoonlijk uit twee bronnen: de fysieke opmaak van de PCB wordt geleverd door intelligente ECAD layoutbestanden of niet-intelligente Gerberfiles, terwijl de componenten lijst of



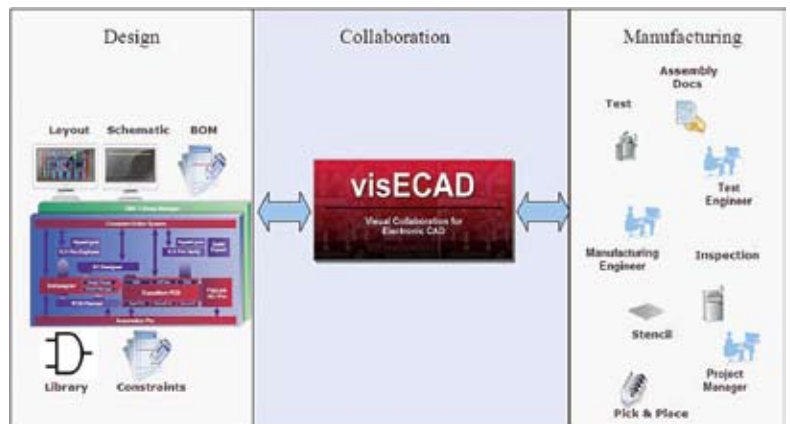
Bill Of Materials (BOM) voorziet in de rest van de data. Hoewel zo al een grote hoeveelheid data wordt aangeleverd, is er nog veel informatie die met de hand moet worden ingevoerd, om te komen tot een complete dataset die nodig is voor de productie.

De ontwerpomgeving levert gewoonlijk de BOM-files en eventuele gegevens over varianten. Maar deze lijst moet altijd worden beschouwd als de ontwerp-BOM en dit is niet noodzakelijkerwijs de informatie waarmee de print wordt gebouwd. In de huidige wereldwijde productiebedrijven betreft het bedrijf dat de print bouwt de benodigde componenten van lokale leveranciers. Deze componenten zijn weliswaar elektrisch compatibel met het ontwerp, maar kunnen qua uitvoering toch licht afwijken van de onderdelen die door de ontwerper zijn gespecificeerd. Dit introduceert een andere databron die richtlijnen geeft met betrekking tot deze vervangende onderdelen: de Approved Vendor List (AVL). Deze geeft data over onderdelen die kunnen worden gebruikt in plaats van de originele componenten in het ontwerp. Hoewel dergelijke componenten elektrisch identiek zijn, kunnen de verschillen in uitvoering wel leiden tot aanpassingen in het productieproces.

BOM-data

De Bill Of Materials kan in vele variaties voorkomen. BOM-data kunnen aan de productie worden geleverd in binair of ASCII formaat, zowel gestructureerd als ongestructureerd. Het kan tekst zijn, of HTML, PDF, Excel of zelfs een velletje papier.

Er bestaan speciale tools voor het analyseren van BOM-files. Zij transformeren die files naar gestructureerde, intelligente informatie die voor de productie kan worden gebruikt. Gewoonlijk bestaat die informatie uit velden voor componentnummer, waarde, tolerantie, omschrijving en behuizing. De BOM bevat de componenten die daadwerkelijk op de PCB zullen worden geplaatst, dus componenten die niet op de BOM staan komen ook niet op de print. De



Samenwerking tussen ontwerp en productie.

componenten worden omschreven als 'no pops' of 'not fitted' (NF). Deze NF-componenten zijn even belangrijk, want PCB-fabrikanten willen specifiek controleren dat ze niet zijn geplaatst.

Schema data

Vandaag de dag worden de belangrijkste PCB-data voor de productie gegenereerd door layout-ontwerptools. Deze data bevatten niet alle informatie die in de ontwerpomgeving beschikbaar is. Een enorme hoeveelheid elektrische informatie kan worden gevonden in de schema-ontwerptools en veel van deze informatie wordt niet doorgegeven naar de layout-tools. Die informatie komt dan ook niet in een bruikbaar formaat terecht bij de productie. Schema-data wordt doorgegeven als een circuit diagram dat wel honderden pagina's lang kan zijn, of op zijn best een doorzoekbaar PDF-bestand. Het is vrijwel onmogelijk om daarin te navigeren en extra data te vinden.

Het leveren van complete, intelligente schemagegevens aan de productieomgeving kan echter de time-to-market aanzienlijk verbeteren. Deze elektrische informatie wordt meestal 'met de hand' verzameld door de producent, maar moet worden aangeleverd in een bruikbaar formaat, dat de productie versnelt – en niet hindert.

Design for Manufacture

Design Rule Checking (DRC) wordt gebruikt om te bevestigen dat de PCB

volgens bepaalde criteria is ontworpen. Design for Fabrication (DFF) controleert en corrigeert PCB-productieproblemen die de prestaties van de uiteindelijke PCB zouden kunnen beïnvloeden. Maar er zijn ook productiespecifieke controles, die door de producent worden uitgevoerd om mogelijke procesafhankelijke problemen te vinden. Dit is het terrein van Design for Manufacturing of DFM.

Zo hebben bijvoorbeeld fiducials geen invloed op de uiteindelijke prestaties van het product, maar zij worden wel intensief gebruikt in het productieproces. Fiducials zijn kleine markeringen op de print die worden gebruikt voor de uitlijning van zowel de print als de afzonderlijke componenten. Zonder deze markeringen zou automatische plaatsing en inspectie niet mogelijk zijn.

'Tooling holes' – gaten in de print – worden gebruikt om de print in het uiteindelijke product te monteren, maar hebben ook een functie in het productieproces. Zo kunnen twee tooling holes worden gebruikt om de PCB vast te zetten op een testfixture. In het beste geval zouden deze tooling holes zich bevinden in de diagonaal tegenover elkaar liggende hoeken van de print, om uitlijnproblemen te voorkomen.

Voor het elektrisch detecteren van productieproblemen of om de werking van het product te controleren, worden testpunten aangebracht. Afhankelijk

van het ontwerp is het aantal en de positie van deze punten suboptimaal voor het gebruikte productieproces. Zoals eerder genoemd is het gebruik van vervangende componenten niet ongewoon. Dat kan leiden tot productieproblemen, bijvoorbeeld doordat de configuratie van de aansluitpennen niet precies overeenkomt met de soldeervlakken op de print. In het ergste geval past de component helemaal niet. Dat zijn zeker zaken die moeten worden ontdekt voordat de PCB in volume wordt geproduceerd.

Design for Test

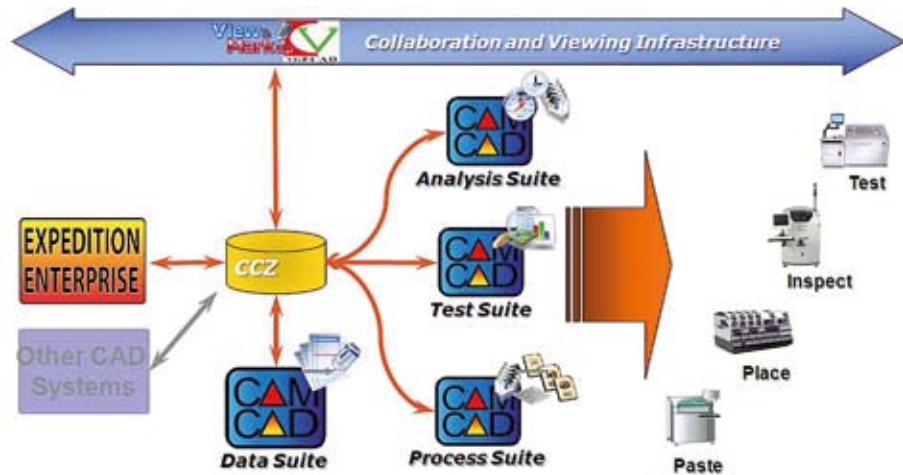
Design for Test analyse (DFT) betreft twee gebieden binnen de productie: elektrische DFT en fysiek DFT. De eerste kan worden uitgevoerd in de ontwerp-omgeving, maar is even nuttig in de productie. Ook hier kunnen ontwerpeisen een vergaande invloed hebben op de produceerbaarheid van het product. Bij normaal functioneren zou een component altijd 'enabled' moeten zijn, dus de ontwerper kan de Chip Enable pin altijd aan voeding of aan aarde leggen. Voor normaal functioneren van de print is dat absoluut acceptabel, maar om voldoende testbaarheid van de desbetreffende component of zelfs de omliggende componenten te krijgen moet de testtechnicus de component indien nodig ook kunnen 'disablen'. Door het toevoegen van een simpele weerstand tussen de CE-pen en de voedings- of aardrail met een testpunt krijgt de testtechnicus de gewenste toegang en kan het totale productierendement verbeteren.

Fysieke DFT-analyse wordt gebruikt om een schatting te krijgen van de fysieke toegankelijkheid van de PCB voor de testtechnicus. Als het ontwerp compleet is kan een verdere analyse worden uitgevoerd om een teststrategie vast te stellen, gebaseerd op de doelen van de productie.

Gedurende het NPI-proces kan DFT-analyse worden gebruikt om vast te stellen of en in welke mate een boundary scan kan worden toegepast. Ook kan worden onderzocht hoe flying probe tests kunnen worden uitgevoerd en er kunnen zelfs programma's worden gegenereerd voor de besturing van het FPT-systeem.

Stencilvervaardiging

Als de uiteindelijke lagen met soldeereilanden en soldeermaskers zijn vervaardigd, kunnen stencillagen worden gecreëerd – ofwel van de pastalagen



ofwel afgeleid van de soldeereilandjes. Zij worden gebruikt om het stencil te maken dat wordt gebruikt om soldeer-pasta op de juiste plaatsten en in de juiste hoeveelheden aan te brengen. De stencilopeningen kunnen verschillende maten hebben – bijvoorbeeld een bepaald percentage kleiner dan het soldeereiland of een bepaalde vorm die niet zozeer afhangt van het onderliggende koperpad, maar meer van de behuizing die wordt geplaatst.

Centroids

Een van de meest frustrerende problemen in de PCB-productie is het bepalen van de juiste rotatie van een component op de print. Dit lijkt een eenvoudige taak, omdat de rotatie is gespecificeerd in de PCB layout-data. Echter, de rotatie is de rotatie van de geometrie van een component in relatie tot de rotatie van de print. Zodoende kunnen twee 1206 SMT-componenten die moeten worden geplaatst met pen 1 naar het westen en pen 2 naar het oosten twee verschillende rotatiewaarden hebben, afhankelijk van de definitie van de plaatsingsgeometrie.

Om het nog gecompliceerder te maken: de component heeft in de automatische plaatsingsmachine ook een specifieke toevoerrotatie. Dit moet worden omgerekend tot de uiteindelijke rotatie die de machine gebruikt bij het plaatsen.

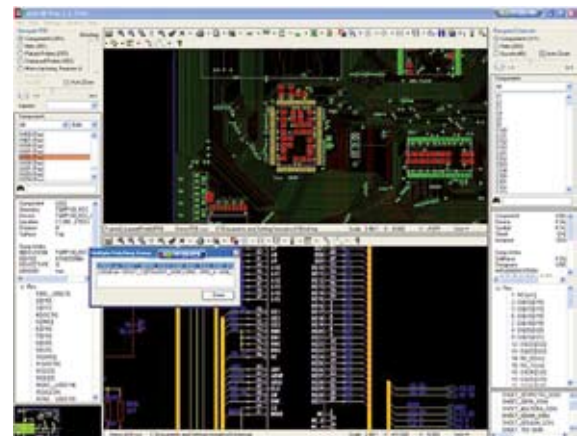
Softwareoplossingen als CAMCAD Professional van Mentor Graphics gebruiken een normalisatiealgoritme op de bron-data, die een centreermarker creëert voor elke plaatsing. Deze kan afzonderlijk van de rotatie van de plek waar de component moet komen, worden gepositioneerd en geroteerd. Voor rotatiebestanden ten behoeve van de assemblage wordt deze markering

gebruikt om de juiste positie en rotatie van de component te bepalen om de feeder mee aan te sturen.

Volumeproductie

Bij volumeproductie wordt de lijn vooral afgeregeld voor grotere productieseries, maar dat hoeft niet per se te betekenen: voor de hoogste snelheid. Soms worden afzonderlijke producten vervaardigd in speciale productielijnen die 24/7 draaien. In dit geval is lijnoptimalisatie nodig om binnen een bepaalde tijd zoveel mogelijke boards te kunnen produceren. Het kan echter nodig zijn om af en toe te vertragen, bijvoorbeeld omdat verschillende varianten van de PCB moeten worden gemaakt, zonder dat de configuratie van de lijn significant verandert.

'Line utilization' is een aanduiding voor de mate waarin de lijn PCB's produceert in verhouding tot de tijd gedurende welke de lijn niet produceert. In de praktijk varieert de line utilization in de meeste PCB-productielijnen tussen de 20 en 35%. Met andere woorden: het grootste deel van de tijd is de lijn niet



ViseCAD viewer.

