

Altium: Så konstruerar du rigid-flexkort



Benjamin Jordan Sr. Manager, Content Marketing Strategy, Altium

Redan som åttaåring inledde Ben Jordan sin elektronikkarriär efter att ha fått en lödkolv i present av storebor, plus en multivibrator med blinkande dioder. Ben Jordan tog sin kandidatexamen på universitetet i Southern Queensland med toppbetyg. Han har jobbat som AE och FAE på Altium sedan 2004, på senare tid även med marknadsföring och management.

Tjugo års erfarenhet har han samlat på sig av konstruktion av elektronik, mönsterkort, inbyggda datorsystem, FPGA-hårdvara och -mjukvara. Han gillar att fördjupa sig i frågor kring signalbehandling, audioelektronik och mönsterkorts konstruktion.

Allt fler konstruktörer ställs allt oftare inför projekt med krav på tätt packade elektroniska kretsar och en press på att minska tillverkningstider och kostnader. För att möta dessa krav har konstruktörsteamet i ökad utsträckning börjat använda sig av 3D rigid-flexkretsar för att klara av projektets prestanda- och produktionskrav.

Detta första steg kräver konstruktioner med rigid-flex ett närmare samarbete mellan konstruktören och tillverkaren än traditionella konstruktioner med mönsterkort och kabel. Att producera en lyckad rigid-flexkonstruktion handlar om att upprätta en uppsättning konstruktionsregler som konstruktören kan utveckla med råd från tillverkaren.

Övervägandena inkluderar antalet lager i konstruktionen, materialvalen, rekommenderade storlekar för banor och mikrovia, fästmetoder och måttstyrning.

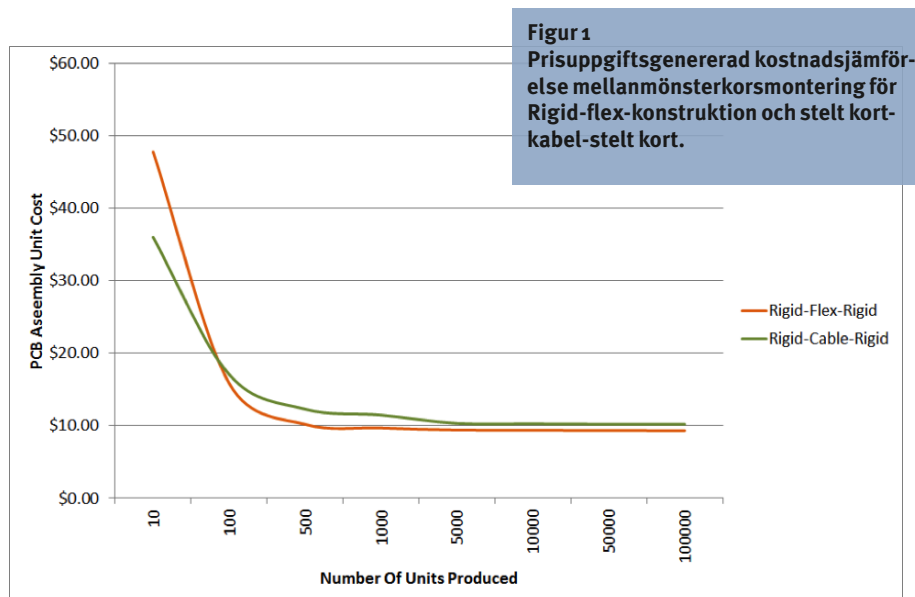
Historiskt har rutinerade mönsterkorts konstruktörer undvikit kretskonstruktioner med rigid-flex genom att ansluta två hårda mönsterkort med en flexibel kabel. Det här tillvägagångssättet fungerade bra för konstruktioner i små serier. Nackdelen är att det innebär

kostnader för kontakter på varje kort, kostnader för montering av kontakterna på kortet och för den flexibla kabeln. Figur 1 visar skillnaden i kostnad mellan ett traditionellt stelt mönsterkort med kabel och en 3D rigid-flexkonstruktion.

Detta diagram bygger på simulerade tillverkningskostnader baserade på rik-

tiga mönsterkortsleverantörers prisuppgifter för ett fyra-lagers mönsterkort med två inre flexibla lager i ett rigid-flexkort. Alternativet med stela kort som använder en flexibel kabel och kontakter mellan dessa baseras också på prisuppgifter från mönsterkortsstillverkare.

I det senare fallet summeras kostna-



Technical Papers

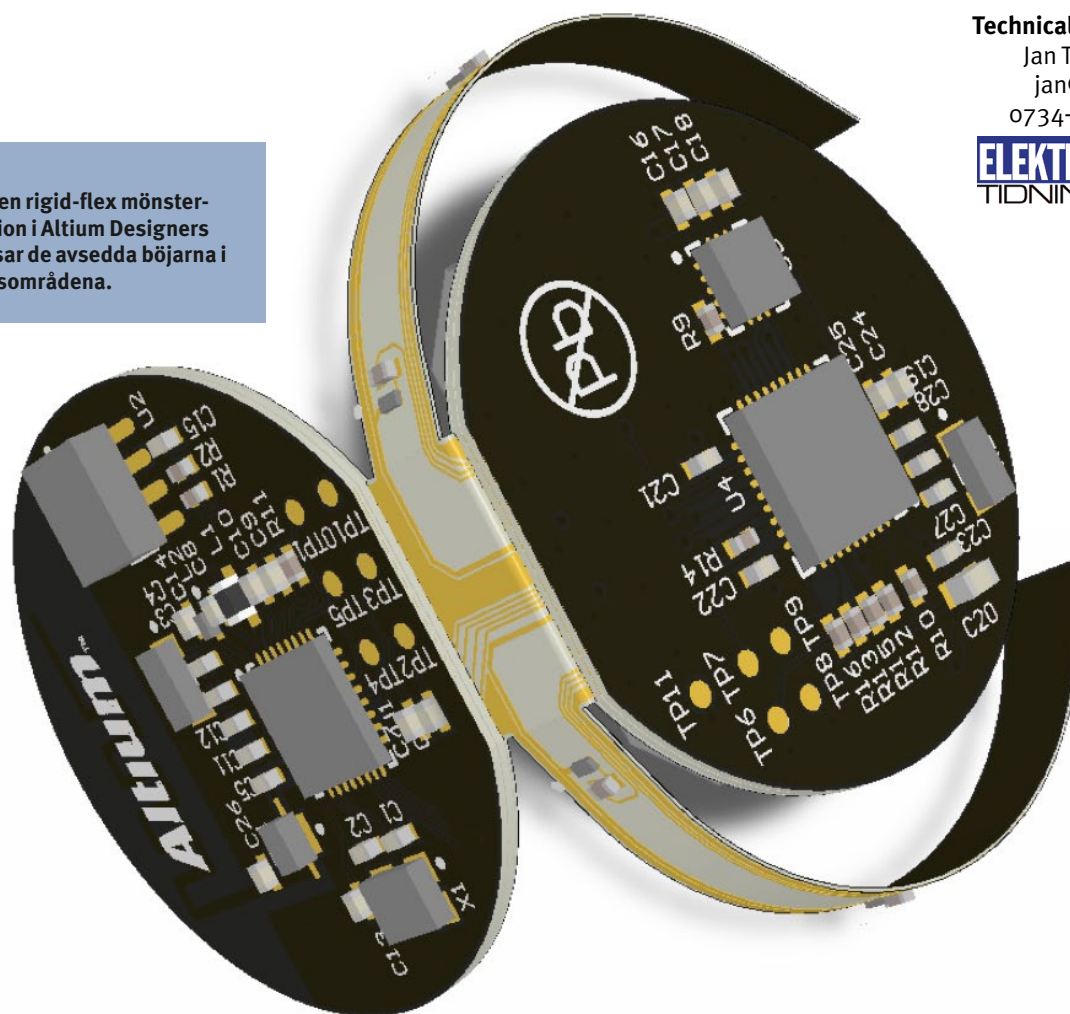
Jan Tångring

jan@etn.se

0734-17 13 09

ELEKTRONIK
TIDNINGEN

Figur 4
Ett exempel på en rigid-flex mönsterkorts-konstruktion i Altium Designers 3D-läge som visar de avsedda böjarna i de flexibla kretsområdena.



den för två separata fyra-lagers kort med kostnaden för kontakterna och kabeln – inklusive monteringskostnad för båda alternativen.

Det hypotetiska scenariot tar inte hänsyn till den förbättrade tillförlitligheten och den allmänt högre produktkvaliteten för rigid-flexkortet.

Bland annat kan de individuella korten med flexibla kontakter och kabel skapa elektriska kallödningar, vilket orsakar fel. Vilket kan kontrasteras mot rigid-flex-kretsen som uppenbarligen eliminerar dessa fogar.

Överraskande nog blir en kretskonstruktion med rigid-flex det självklara valet i alla volymer över 100 enheter. Varför? Därför att rigid-flexkonstruktioner eliminerar kontakter och kontaktmontering, samt ökar tillförlitligheten och processutdelningen.

När en traditionell mönsterkortkonstruktör gav sig på en rigid-flexkonstruktion, så fanns det, fram till nyligen, inget stöd för mönsterkorts-konstruktion i 3D i de tillgängliga konstruktionsverktygen.

Befintliga verktyg hade inte heller något stöd för att definiera och simulera böjar och vikningar i den flexibla delen av konstruktionen.

Och för att göra saken ännu värre fanns det inte ens stöd för att definiera olika lagerstackar i olika delar av konstruktionen – eller ens vilka delar som utgjorde den flexibla delen av konstruktionen.

Som ett resultat av detta fick rigid-flex-konstruktörer manuellt avgöra hur en 3D-konstruktion med både stela och flexibla delar skulle översättas till en platt 2D-representation passande för tillverkning. Vilket ställde ytterligare krav på dem att manuellt dokumentera alla områden som var flexibla.

De var också tvungna att dubbelkontrollera att de inte placerade komponenter eller mikrovia nära övergångarna mellan stela och flexibla delar av konstruktionen. Detta inkluderade många ytterligare regler, som för det mesta inte hade stöd i dåtidens program för mönsterkorts-konstruktion.

Överväganden före konstruktion

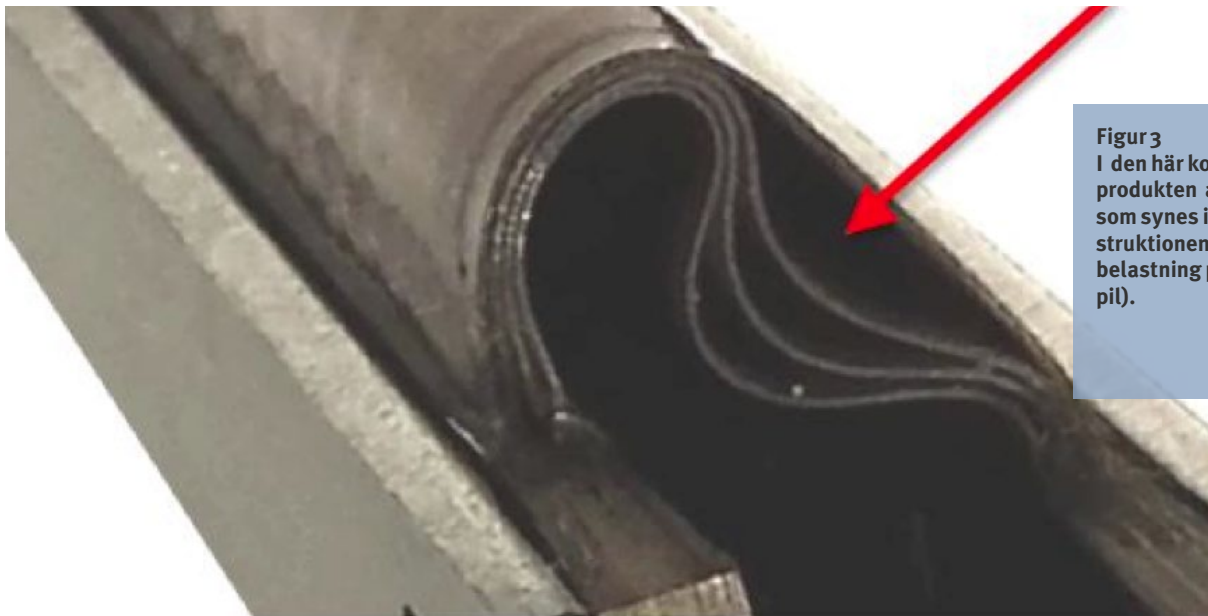
Som tidigare nämnts, kräver en lyckad rigid-flexkonstruktion att konstruktionsteamet har ett nära samarbete med tillverkaren. Följande *Gyllene regler* för projektet har som målsättning att åstadkomma en lyckad produktion och

att eliminera omkonstruktioner som går att förhindra.

De gyllene reglerna:

- Kommunika med tillverkaren!
- Utvärdera tillverkarens kapacitet att bygga den planerade rigid-flexkonstruktionen!
- Involvera tillverkaren i ett så tidigt skede som möjligt av tillverkningsprocessen!
- Samarbeta så att konstruktörens lagerstack matchar tillverkarens processer!
- Använd IPC-2223 som en gemensam referenspunkt med tillverkaren! Annars kan kommunikation i form av dokumentation orsaka fel och missförstånd vilket resulterar i kostsamma förseningar.
- Avstå från att leverera Gerber-filer till tillverkaren! Leverera istället filer i ODB++ (v7.0 eller senare) eller i ett format som motsvarar IPC-2581, eftersom båda dessa format identifierar specifika lagertyper för tydlig kommunikation.

För en lyckad rigid-flexkonstruktion måste konstruktionsteamet välja



Figur 3
I den här kommersiellt producerade produkten använde sig konstruktören som synes inte av av "bokbindarkonstruktionen" vilket resulterade i extra belastning på de separerade lagren (röd pil).

material som, precis som alltid, balanserar kostnad mot prestanda. De flesta konventionella mönsterkort börjar med ett stelt glasfiber/epoxy-substrat. Även om det benämns "hårt" så uppvisar vissa glasfiber/epoxy-substrat viss flexibilitet, men inte tillräckligt för mer komplicerade rörliga tillämpningar.

För 3D-rigid-flexkonstruktioner är den dimensionellt stabila, flexibla och värmetåliga polyamid-filmen (PI) det vanligaste valet. Den förblir hyfsat stabil tack vare låg termisk expansion och krympning (jämfört med PET) och tål dessutom flera återflödescykler.

Polyester (PET) används också ofta, men tolererar inte höga temperaturer lika bra och är mindre dimensionellt stabil än PI. Även tunna glasfiber/epoxy-kärnor kommer till användning i rigid-flexkretsar.

Utöver substraten kräver konstruktionen ytterligare filmer (oftast PI eller PET, men ibland flexibel lödmaskfärg) som skyddslag. Skyddslagret skyddar de yttre ytkomponenterna och ledarna från skador och korrosion, samt isolerar också ledarna.

Per definition ställer rigid-flexkretsar ytterligare krav vid valet av ledningsmaterial. Elektrodeponerad (ED) kopparfolie som används i traditionella mönsterkorts konstruktioner har inte de egenskaper för flexibilitet och hårdhet som krävs i en rigid-flexkonstruktion.

Rigid-flexkonstruktioner använder olika typer av ledningsmaterial och metoder med bättre prestanda. De två vanligaste är emellertid de medeldyra höglastiska elektrodeponerade (HD-ED) och de dyrare rullhårdade (RA) kopparfolierna.

I de tidiga stadierna av processen ställs rigid-flexkonstruktionsteamet inför en balansakt. De måste definiera de mekaniska utmaningarna i de projekterade användningsfallen och balansera

dem mot kraven på elektrisk prestanda. Dessa två överväganden står ofta i kontrast mot varandra, vilket kräver att konstruktören skapar en balans mellan de två.

Som ett första steg i att nå fram till en optimal konstruktion kan konstruktions-teamet skaffa sig betydande insikter genom att producera en fysisk pappersattrapp av kretsen. Denna attrapp sätter fingret på potentiella problem rörande form och passform tidigt i processen.

Allteftersom moderna eCAD-verktyg mognar lägger de till 3D-modellering av rigid-flexkonstruktioner. De allra modernaste lägger till animering.

Utveckling av en datormodell i 3D innebär emellertid ett betydligt antal konstruktionssteg, så en första attrapp i papper kan faktiskt vara en informativ lösning.

Rigid-flexkonstruktion – några tips

Termen "rigid-flex" pekar på en av de vik-

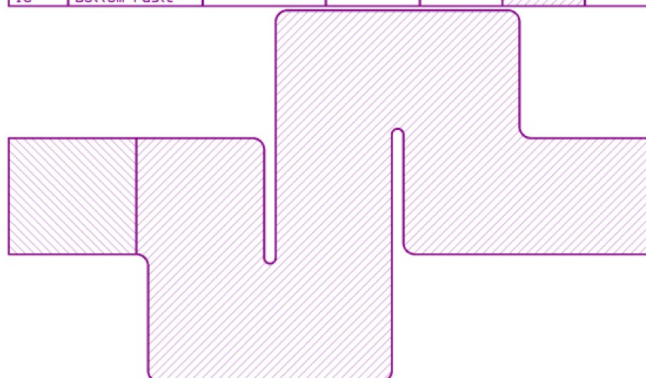
tigaste konstruktionsdetaljerna. Rigid-flexkretskonstruktioner innebär flera element som i kombination ger en hög grad av komplexitet. För konstruktörer som utvecklar rigid-flexkonstruktioner kvarstår den största utmaningen: "Hur definierar jag alla områden, lager, och stackar?"

Svaret: Använd en tabell för att definiera stacklagerkonstruktionen. En gemensam egenskap är att de flesta rigid-flexkonstruktioner uppvisar olika lagerstackar i olika områden av konstruktionen.

Ett smidig teknik: kopiera konstruktionens konturer på ett mekaniskt lager. Skapa sedan ett fyllningsmönster för att identifiera de hårda och de flexibla delarna av konstruktionen, som innehåller en annan lagerstack.

Den förenklade konstruktionen i **figur 2** använder de matchande grafiska fyllningsmönstren (de två kolumnerna i den högra delen av tabellen) för att

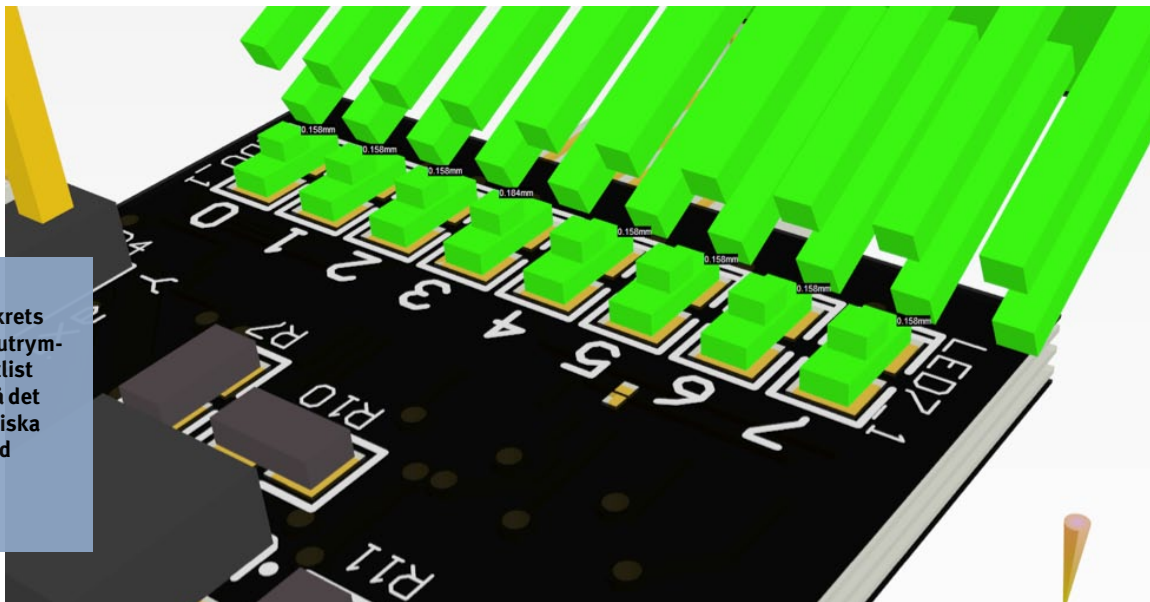
Layer	Name	Material	Thickness	Constant	Flexible	Rigid
1	Top Paste					
2	Top Overlay					
3	Top Solder	Coverlay (PI)	0.50mil	4		
4	Top Layer	Copper	1.40mil			
5	PIBase	Polyimide	1.40mil	4.8		
6	Dielectric 1	FR-4	12.00mil	4.2		
7	Bottom Layer	Copper	1.40mil			
8	Bottom Solder	Coverlay (PI)	0.50mil	4		
9	Bottom Overlay					
10	Bottom Paste					



Figur 2
Fyllningsmönster i de "flexibla" och "hårda" kolumnerna i tabellen identifierar de hårda och flexibla områdena på kortet.

Figur 5

Simulerad böjning av en flexibel krets avslöjar ett problem med det fria utrymmet mellan en flex-monterad stiftlist och ytmonterade komponenter på det hårda huvudkortet. De problematiska komponenterna är markerade med grönt.



identifiera de flexibla (*flex*) och de hårda (*rigid*) områdena på kortet. Lagret med benämningen "Dielektrisk 1" är exempelvis en FR-4 kärna.

När de olika lagerstackarna är definierade måste rigid-flexkonstruktionsteamet nu börja tampas med att specificera böjningar och vikningar på en 2D-yta. Detta innebär att varje rigid-flexkonstruktör måste dokumentera var alla kritiska konstruktionselement korsar gränsen mellan hårda och flexibla delar.

Konsten att behålla "flexet" i rigid-flex: kretsar med längdförskjutning

Detta konstruktionssätt, även kallat "bokbindarkonstruktion" adderar lite till längden, lager för lager, i riktning utåt från böjradien. Användning av denna metod innebär att kretsen bara kan böjas i en riktning.

En vanlig tumregel är att lägga till extra längd på det efterföljande lagret, med ungefär 1,5 gånger tjockleken på det individuella lagret. Värdet varierar beroende på hur snäv böjen är och antalet lager.

Det här är ytterligare ett tillfälle då en pappersattrapp kan ge en informativ snabbkontroll. Bokbindarkonstruktionen minskar spänningar som byggs upp vid böjning och förhindrar även att de inre lagren närmast böjradien blir buckliga – se figur 3.

Sammanfattning

I harmoni med den tydliga trenden av ökande rigid-flexmönsterkortstillverkning, innehåller uppdaterade CAD-verktyg för mönsterkorts konstruktion nu de nödvändiga funktioner som behövs för att konstruera rigid-flexkretsar. Dessa inkluderar administration av flera lagerstackar, komponenter monterade på "inre" flexibla mönsterkorts lager och 3D-visualisering och simulering av de flexibla delarna av kretsen.

Ytterligare några tips

- **Undvik böjar i hörnen!**
Kopparledare fungerar som bäst när de placeras i rätt vinkel mot den flexibla kretsböjen. I de fall där böjning är ofrånkomlig är ett alternativ att använda koniska radieböjar.
- **Använd svängda ledare!**
Undvik hårda rätvinkliga ledare och även hårda 45°-hörn eftersom de ökar belastningen på kopparledarna vid böjning!
- **Ändra inte ledarnas bredd tvärt!**
När en ledare i en konstruktion går in i en lödö, oftast i linje, skapar den plötsliga ändringen av ledarens bredd, en svag punkt. Som god konstruktionssed bör ett mönsterformat som en tår användas för att gradvis ändra ledarens bredd när den ansluter till lödöar eller övergångar i den flexibla kretsen.
- **Använd rutmönstrade polygoner!**
Med en normal rektangelfyllning skapas fortfarande riktad belastning i riktningarna 0°, 45° och 90°. En hexagon skapar i jämförelse ett statistiskt sett mer optimalt rutmönster.
- **Lägg till stöd för lödöar!**
Jämfört med FR-4 är det mer troligt att koppar på ett flexibelt PI-substrat lossnar på grund av den upprepade belastning som uppstår vid böjning och på grund av sämre vidhäftning.
- **Räkna inte med att det finns stöd vare sig lödöar för ytmontering eller icke-pläterade genomgångshål.**
Många tillverkare rekommenderar extra plätning i genomgångshål och rekommenderar extra lödöar för ytmontering, som förankringsstumpar och reducerade öppningar i skyddslagret.
- **Förskjut dubbelsidiga flexledare!**
Att dra ledare över varandra i samma riktning distribuerar spänningarna mellan kopparlagren ojämnt. Att förskjuta ledarna reducerar eller eliminerar detta problem.

Figur 4 – som visar ett exempel på en rigid-flexmönsterkorts konstruktion producerad i Altium Designer 14 – demonstrierar dessa funktioner.

Utöver administration av lagerstackar och 3D-visualisering så är det även möjligt att kontrollera det fria utrymmet för

komponenter på flexsubstratet. Som en del av den inbyggda motorn för kontroll av konstruktionsregler, ger den nya versionen en tidig varning för rigid-flexkonstruktioner när en slutgiltig böjradien resulterar i mekaniska störningar. För ett exempel, se figur 5.