

Effiziente Konstruktion flexibler Leiterplatten mit Hilfe rechnergestützter Werkzeuge

Von Dr. Thomas Krebs, Mecadtron GmbH

Flexible Schaltungsträger erfüllen innerhalb eines Produktes gleichzeitig zwei Aufgaben: Sie verbinden einerseits mehrere Punkte einer elektromechanischen Baugruppe elektrisch miteinander wie ein Kabel und stellen andererseits den mechanischen Träger einer elektrischen Schaltung dar, wie dies auch eine konventionelle Leiterplatte macht. Durch diese duale Anforderung war es bisher nötig, zwei unterschiedliche CAD-Systeme – ein 3D-Mechanik-CAD-System sowie ein 2D-Leiterplattensystem – zur Konstruktion von flexiblen Schaltungsträgern heranzuziehen. Mit Hilfe des Werkzeuges Nextra lässt sich diese Konstruktionsaufgabe effizient in einer Anwendung durchführen.

The role of flex circuitry carriers within a product is twofold: On one hand they connect various points within an electromechanical assembly like a cable on the other hand they constitute the mechanical carrier for a circuitry like a conventional printed circuit board. Up to now it was necessary to use two different CAD systems – a 3D-mechanical-CAD-system and a 2D-PCB-layout-system – to design a flex board because of this twofold nature of a flex. By using the tool Nextra this task can be efficiently managed within one application.

1 Einleitung

Innerhalb von elektrischen Produkten werden zur Verknüpfung von elektronischen Verbindungspunkten, die zwischen elektronischen Leiterplattenbaugruppen oder Baugruppen und externen Anschlusspunkten hergestellt werden müssen, unterschiedliche Techniken verwendet:

- Kabel (Rundleiterkabel, Flachbandkabel, ...)
- Stecker (teilweise mit integrierten elektronischen Funktionen)
- Flexible Leiterplattenbaugruppen (flexible Leiterplatten, Flex-Folien)

Im Gegensatz zu den anderen Technologien wie Kabel oder Stecker können flexible Leiterplatten sowohl wie eine starre Leiterplatte Träger von elektronischen Bauteilen sein, als auch wie ein Kabel und ebenso wie Stecker räumliche Distanzen zur Kontaktierung überbrücken. Die Nutzung von flexiblen Leiterplatten sowohl als Träger elektrischer/elektronischer Funktionalität als auch als räumlicher Verbindungseinheit macht sie zu einer Art mechatronischer Baugruppe.

Die Konstruktion von flexiblen Leiterplatten stellt aus den oben genannten Randbedingungen für elektronische Leiterplattenbaugruppen, nämlich der

Fähigkeit, elektronische Bauelemente zu tragen und diese mit Hilfe von Leiterbahnen zu verbinden, aber andererseits auch eine räumliche Gestalt anzunehmen, Herausforderungen an computerunterstützte Werkzeuge, die bisher nicht erfüllt werden konnten:

- Leiterplatten werden heute mit Hilfe von so genannten Leiterplatten-CAD-Systemen entworfen, die nahezu ausschließlich eine zweidimensionale Darstellung der Leiterplatte ermöglichen. Jüngst aufkommende 3D-Erweiterungen von 2D-Leiterplattensystemen erzeugen dabei nur eine dreidimensionale Darstellung der planaren Leiterplatte in einer 3D-Visualisierungsumgebung. Tatsächliche Erzeugung dreidimensionaler Leiterplattenstrukturen ist damit nicht möglich.
- Mechanik-CAD-Systeme sind prinzipiell in der Lage, dreidimensionale Geometrien und Strukturen daraus zu erzeugen. Sie sind jedoch auf Grund ihrer Fokussierung auf *mechanische Produkte* nicht in der Lage, die logischen und elektrischen Aspekte von elektronischen Produkten wie elektronische Bauelemente und deren Konnektivität zu berücksichtigen.

Die heutige Methode zur Konstruktion von Leiterplatten unter der Berücksichtigung der Integration

(des Einbaus) dieser Leiterplatten in ein mechanisches Gehäuse wird heute weitgehend durch die Übertragung von Daten aus 2D-Leiterplattenlayoutsyste-men (Leiterplattensystemen) in 3D-Mechanik-CAD-Systeme vorgenommen. Hierbei wird vorzugsweise eine Schnittstelle IDF (Intermediate Data Format) eingesetzt, die von Leiterplatten-CAD-Systemen und auch von MCAD-Systemen unterstützt wird (Abb. 1).

Auf Grund der prinzipiellen Beschränkung der jeweils beteiligten Kommunikationspartner, der 2D-Leiterplattenlayoutsyste-me und der 3D-MCAD-Systeme, kann mit Hilfe solch einer Schnittstelle nur die Schnittmenge der Information ausgetauscht werden, die von beiden Systemen identisch verstanden wird:

- Kontur der Leiterplatte (rein planare Kontur sowie gegebenenfalls Dicke der Leiterplatte),
- Kontur und Position von Bauelementen,
- Größe und Position der Bohrungen durch die Leiterplatte,

- Bereiche von möglichen oder verbotenen Objekt-positionen,
- Textinformationen.

Mit Hilfe dieser Information lassen sich weder dreidimensionale Geometrien, vor allem der Leiterplatte, noch Informationen über Konnektivität der Verbindungspunkte der Bauelemente und in keiner Weise Informationen über die Integration der Leiterplattenbaugruppe in eine größere Gesamtbau-gruppe darstellen oder übertragen.

2 Konstruktionsmethodik für flexible Leiterplatten – Stand der Technik

Ein wesentlicher Aspekt der Konstruktionstätigkeit von flexiblen Leiterplatten stellt die Konstruktion des Schaltungsträgers selbst dar. Dieser wird in der Produktion aus einer Folie ausgeschnitten, gegebenenfalls lithographisch belichtet, entwickelt, galvanisch metallisiert, planar mit Bauelementen bestückt und dann meist manuell in die Gesamtbau-gruppe montiert.

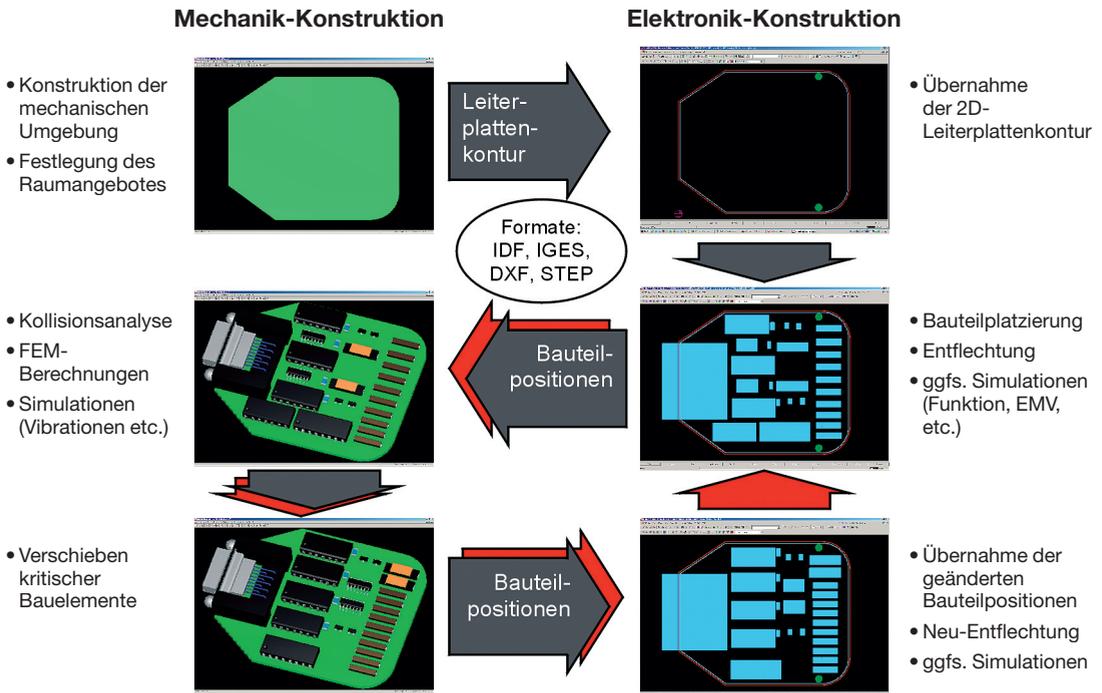


Abb. 1: Heutiger Ablauf zwischen Elektronik- und Mechanikkonstruktion

Da die 2D-Leiterplattenlayoutsysteme nicht die Möglichkeit besitzen, die Einbausituation einer montierten und daher zumeist gebogenen Flex-Leiterplatte darzustellen, behilft man sich heute mit einer Technik, die es erlaubt, die Geometrie einer gebogenen und montierten Flex-Leiterplatte in einem 3D-Mechanik-CAD-System zu entwickeln.

In diesen werden Module angeboten, die die Konstruktion von Blechkonstruktionen erlauben. Diese Module werden eingesetzt, um Blechgehäuse für z.B. Schaltschränke, Computergehäuse und andere geometrisch einfache, aus abwickelbaren, regulären Geometrien bestehende Körper zu konstruieren. Im Wesentlichen werden dabei aus planaren Geometrien durch Vorgabe von Biegungen (deren Biegerichtung, Biegeachse und Biegeradius) dreidimensionale, schachtelförmige Körper erzeugt. Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass jeder über diesen Weg erzeugte Körper immer aus einer Blechstruktur besteht, die überschneidungsfrei ist und daher immer aus einer planaren Blechstruktur hergestellt werden kann. Darüber hinaus wird durch die sequenzielle Vorgabe von Biegungsvorgängen zumeist ein möglicher Fertigungsprozess definiert, der sich mit Sicherheit technologisch realisieren lässt. Für die Gehäusekonstruktion ist dies ein sinnvoller und hinreichend einfacher Weg zur Erstellung der Kon-

struktions- und auch weitgehend der Fertigungsunterlagen.

In Ermangelung besserer Alternativen wird auch zur Konstruktion von flexiblen Leiterplatten dieses Verfahren beziehungsweise werden solche Blechkonstruktionsmodule der 3D-MCAD-Systeme benutzt (Abb. 2). Dabei wird natürlich nur der mechanisch-konstruktive Teil der flexiblen Leiterplatte, der gebogene Schaltungsträger, ohne Berücksichtigung elektrisch-logischer Konnektivität konstruiert. Daher besteht die zwingende Notwendigkeit, die in dem 3D-MCAD-System erzeugte Schaltungsträgerkontur (beziehungsweise deren planare, abgewinkelte Repräsentation) in das 2D-Leiterplattenlayoutsyste zu übertragen und diese zweidimensionale Kontur als Basis der Leiterplattenlayouts heranzuziehen. Da die Außenkontur der Leiterplatte sowohl durch die dreidimensionale mechanische Umgebung, aber auch durch die Notwendigkeit der Aufnahme der elektronischen Schaltung gekennzeichnet ist, ergibt sich der Bedarf an wiederholtem Austausch der Leiterplattenkontur zwischen dem 3D-MCAD-System und dem 2D-Leiterplattenlayoutsyste. Dabei wird im 2D-Leiterplattenlayoutsyste vornehmlich die 2D-Außenkontur bestimmt und im 3D-MCAD-System die dreidimensionale Ausprägung der montierten flexiblen Leiterplatte,

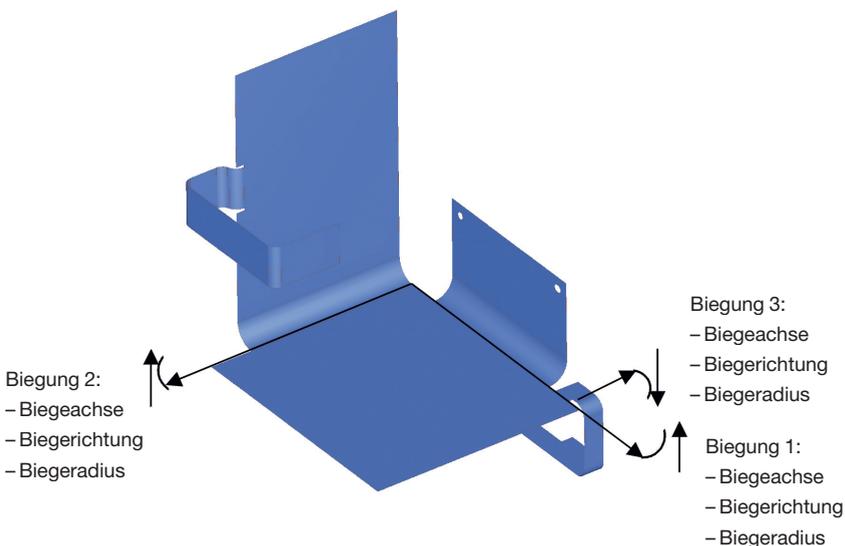


Abb. 2: Erstellung räumlicher Konstruktionen mit 3D-MCAD-Systemen

wie sie durch Biegung und Montage (unter anderem mechanische Fixierung) entsteht.

Die Ausbildung der dreidimensionalen, gebogenen Gestalt der flexiblen Leiterplatte selbst wird, wie oben beschrieben, im 3D-MCAD-System durch Festlegung der Biegeparameter (Biegerichtung, Biegeachse und Biegeradius für jede einzelne Biegung) erzeugt (Abb. 2). Mit Hilfe der einzelnen Biegungen versucht man, den Verlauf der Gesamtstruktur innerhalb oder an der mechanischen Gesamtbaugruppe so anzupassen, dass sie

- einen bestimmten Verlauf innerhalb der mechanischen Baugruppe unter Berücksichtigung von Hindernissen einnimmt,
- vordefinierte Fixpunkte (z.B. Montagefixpunkte, Steckerpositionen, usw.) unter einer vorgegebenen Orientierung durchläuft oder Bauelemente, die auf der flexiblen Leiterplatte montiert sind, innerhalb der Gesamtbaugruppe in eine vordefinierte Lage bringt,
- einen bestimmten Biegeradius einhält (nicht unterschreitet),
- verzerrungsfrei (ohne plastische Verformung) gebogen werden kann.

Eine weitere Forderung, nämlich dass die Kontur der flexiblen Leiterplatte abwickelbar ist, wird

durch den beschriebenen Prozess normalerweise eingehalten, da das Ausgangsobjekt der Biegungen immer eine geschlossene, abwickelbare und überlappungsfreie Kontur ist. Sollte der Konstruktionsvorgang andere Schritte als die oben angegebenen ermöglichen, so ist sicherzustellen, dass das Ergebnis des Konstruktionsvorganges eine solche überlappungsfreie abwickelbare Kontur ergibt.

Auch dieser Konstruktionsprozess leidet unter der Tatsache, dass die einzelnen Konstruktionsschritte aufgrund der nicht zielorientierten Handlungsweise zyklisch wiederkehrend durchgeführt werden müssen, da die einzelnen Biegungsvorgänge nicht das Gesamtaussehen der gebogenen flexiblen Leiterplatte erahnen lassen und sich die oben skizzierten Anforderungen nur schrittweise durch Anpassen der vielen Biegeparameter und Konturdaten erfüllen lassen.

Dies ist ein sehr langsamer und mühsamer Weg zur Konstruktion von flexiblen Leiterplatten. Die in *Abbildung 3* dargestellte, relativ komplexe flexible Leiterplatte innerhalb einer elektromechanischen Baugruppe hatte daher innerhalb eines großen Automobilzulieferers einen hohen Entwicklungsaufwand erfordert.

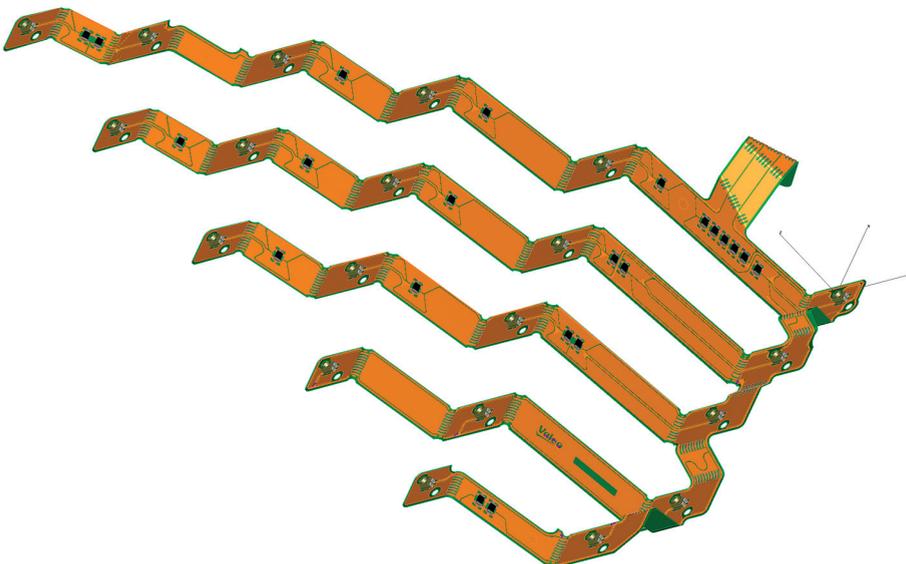


Abb. 3: Beispiel einer flexiblen Leiterplatte für den Automobilbau

3 Effiziente Konstruktion von flexiblen Leiterplatten

Innerhalb des Produktes *Nextra* existiert ein Modul zur hocheffizienten Konstruktion von flexiblen Leiterplatten, das den Konstruktionsaufwand für derartige Konstruktionen auf einen Bruchteil der heute benötigten Zeit verringert und dabei alle Randbedingungen erfüllt, die an die Konstruktion gestellt werden. Neben der Konstruktion von flexiblen Leiterplatten lässt sich das Verfahren auch auf technologisch ähnliche Module oder Teilbaugruppen wie Flachbandkabel FCC oder unter Umständen auch auf Bündel von Rundleiterkabeln übertragen.

Zunächst werden folgende Annahmen gemacht:

- Die Flexfolie durchläuft im gebogenen Zustand Bereiche ebener als auch runder (gebogener) Ausbildung. Die ebenen Bereiche sind zumindest dort zu finden, wo die Flexfolie an einem mechanischen Festkörper z.B. durch Schrauben oder ähnliches fixiert wird. Im Einbauzustand können Rundungen (Biegungen) aneinander anschließen, ohne durch einen ebenen Bereich getrennt zu sein. Solche Situationen werden in der Modellbildung so behandelt, dass die Länge eines ebenen Bereiches zu Null degeneriert.
- Die Flexfolie besitzt im eingebauten Montagezustand keine inneren Spannungen, das heißt sie nimmt den energetisch niedrigsten Zustand ein. Dadurch bilden sich alle Rundungen (Biegungen) als zylindrische Rundungen aus. Dies wird im Einbauzustand normalerweise dadurch erreicht, dass die Folie an den Fixpunkten frei rotierbar fixiert wird. Dies gilt über die gesamte Struktur über alle Fixierpunkte hinweg.

Die einzelnen Funktionen des Werkzeugs bieten folgende Funktionalitäten an, die in weitgehend beliebiger Reihenfolge ohne negative Auswirkungen auf die Gesamtkonstruktion angewendet werden können:

1. Funktionen zur Definition und Bearbeitung der Fixpunkte sowie daran angehängte (Normalen-) Richtungen, die der flexible Schaltungsträger mit einer vorgegebenen Orientierung zu durchlaufen hat. Die Fixpunkte können dabei entweder Montagepunkte oder Kontaktpunkte für gegebene Bauelemente des flexiblen Schaltungsträ-

gers sein. Grundlage der Geometrie zur Definition dieser Fixpunkte kann jede mit Hilfe eines 3D-CAD-Systems erstellte mechanische Konstruktion sein, sie können aber auch unabhängig von jeglicher Geometrie frei im 3D-Raum definiert werden.

2. Funktionen zur Definition und Bearbeitung der Sequenz der o. g. zu durchlaufenden Fixpunkte.
3. Funktionen zur Definition und Bearbeitung der jeweiligen Biegeradien unter Berücksichtigung eines minimalen, technologisch vorgegebenen Biegeradius.

Die Schritte 1 bis 3, die in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden können, ergeben das so genannte Skelettmodell. Dies stellt den Verlauf der Folie durch die mechatronische Baugruppe ohne Berücksichtigung der Leiterplattenkontur dar.

4. Einen Automatismus zur Bestimmung der Abwicklung des Skelettmodells in eine 2D-Ansicht.
5. Konventionelle Funktionen zur Konstruktion einer ebenen Flex-Kontur in der 2D-Ansicht.
6. Eine Funktion zur automatischen Berechnung der tatsächlichen dreidimensionalen Flex-Gestalt unter Einhaltung der oben genannten Randbedingungen unter Nutzung der vorgegebenen 2D-Folienkontur.
7. Funktionen zur Layoutgestaltung (Platzierung der Bauelemente und Entflechtung der elektronischen Schaltung) der elektronischen Leiterplatte im jeweiligen gebogenen Zustand der flexiblen Leiterplatte.

Im Sonderfall zweier aufeinander folgender paralleler Ebenen wird implizit eine zu beiden parallelen Ebenen orthogonale Ebene eingeführt, auf der ein Punkt sowie ein Normalenvektor berechnet wird. Dieser zusätzliche implizite Fixpunkt sowie dessen Normalenrichtung werden dann weiterhin wie ein explizit eingeführter Fixpunkt benutzt.

Da die Sequenz der Fixpunkte keine geschlossene Sequenz sein muss, sondern beliebig viele offene Enden und sogar geschlossene Zyklen haben kann, lassen sich damit beliebige Folienstrukturen beschreiben.

Nachdem für alle Fixpunktsequenzen die Verbindungslinien und Radien berechnet wurden, stehen die tatsächlichen lateralen Ausdehnungen der Fo-

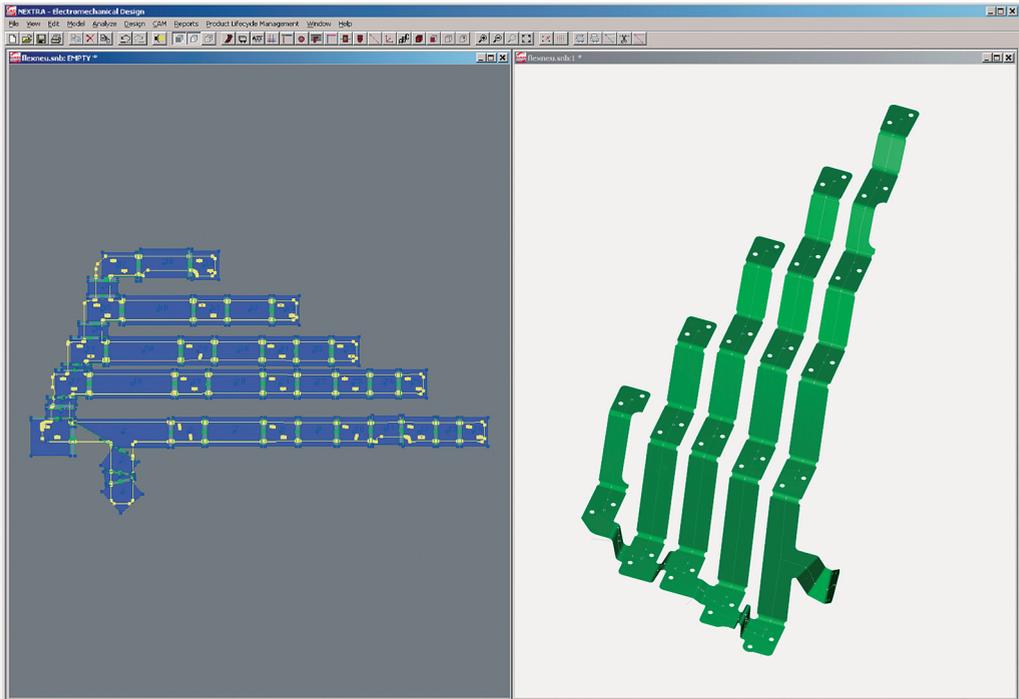


Abb. 4: Flexible Leiterplatte mit mehreren aufeinander folgender parallelen Ebenen

lie zwischen allen Fixpunkten fest. Das Modell der lateralen Ausdehnungen sowie die Fixpunkte, die Trennlinien zwischen den Ebenen und den gerundeten Bereichen werden geometrisch korrekt in der zweidimensionalen Ansicht dargestellt (Abb. 4 links).

Mit Hilfe von konventionellen 2D-Konstruktionsverfahren kann jetzt die Kontur so um die zweidimensionale Darstellung der Fixpunkte konstruiert werden, dass sich alle Fixpunkte innerhalb der Folienkontur befinden. Dabei kann in der 2D-Darstellung durch das Einzeichnen der Trennlinien der Bereiche (und durch automatische Berechnung) verhindert werden, dass es Bereiche gibt, in denen gleichzeitig mehrere Biegungen auftreten. Dies ist z.B. durch die Forderung nach Freiheit von plastischer Verformung begründet.

Die Kontur, die in der 2D-Ansicht erstellt wird, kann auf Anforderung oder automatisch in die gebogene 3D-Darstellung umgerechnet werden. Die hierfür nötigen Informationen (Fixpunkte, Ausdehnung

der einzelnen Bereiche und Biegeradien) stehen im Skelettmodell zur Verfügung.

Unter Vorgabe einer Startkontur (z.B. eines ausreichend großen Rechteckes) sowie der Existenz der Gehäuseabmessungen in 3D kann eine zumindest maximale Folienkontur auch automatisch berechnet werden. Da alle oben genannten Bearbeitungsmöglichkeiten zu jedem Zeitpunkt unabhängig vom Zustand anderer Parameter sind, ist eine hochflexible, effiziente Konstruktion von flexiblen Schaltungsträgern möglich.

Die damit erzeugte dreidimensionale Geometrie wird dann als Träger für die elektronische Schaltung benutzt. Das Layout der elektronischen Schaltung, das heißt die Anordnung der elektronischen Bauteile sowie die Entflechtung der elektrischen Verbindungen, ist sowohl im dreidimensionalen Modell wie auch in einer zweidimensionalen Darstellung in *Nextra* oder über verlustfreie Direktschnittstellen zu nahezu allen 2D-Leiterplattenlayoutsyste-men aller großen Hersteller möglich.

Die über die Analyse von 3D-Strukturen vorhandene Möglichkeit, bereits teilweise vorhandene oder vollständige Flex-Konstruktionen mit Hilfe von *Nextra* zu übernehmen und die hochflexible Konstruktionstechnologie dieses Werkzeugs zu nutzen, eröffnet auch der Anpassungskonstruktion oder Variantenkonstruktion von Flex-Konstruktion breiten Raum.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die aktuelle Situation der Konstruktionsmethodik für flexible Leiterplatten vorgestellt. Aufgrund ihres Dualismus zwischen elektronischer und mechanischer Komponente innerhalb einer elektromechanischen Baugruppe

erfordert die Konstruktion eines flexiblen Schaltungsträgers die Nutzung zweier unterschiedlicher CAD-Systeme. Dennoch können die in diesen Systemen bisher verfügbaren Funktionen die Konstruktion des Schaltungsträgers nur sehr unzureichend erfüllen. Mit Hilfe des in *Nextra* verfügbaren Moduls zur Konstruktion flexibler Schaltungsträger können diese Unzulänglichkeiten konventioneller CAD-Systeme überwunden werden. Durch die damit mögliche neue Konstruktionsmethodik kann ein Effizienzsprung bei der Konstruktion von flexiblen Schaltungsträgern erreicht werden.

Kontaktadresse

Dr. Thomas Krebs, Mecadtron GmbH, Nürnbanum, Gebäude N, Allersberger Str. 185, D-90461 Nürnberg, Tel. +49/911/462369-0, Fax -11, thomas.krebs@mecadtron.de, www.mecadtron.com

IPC ergänzt IPC-7351A um Land-Pattern-Rechner

Die Richtlinie IPC-7351A für Gestaltung und Berechnung von Anschlussflächen für SMD-Bauteile (Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard) hat globale Anerkennung in der Elektronikindustrie gefunden. Mit ihr steht ein Dokument zur Verfügung, welches den Baugruppendesignern hilft, effektiver zu arbeiten. Jetzt hat der *IPC* in Absprache mit *PCB Matrix Corp.* den Anwendernutzen noch dadurch vergrößert, dass dem in jedem verkauften Dokument enthaltenen Land Pattern Viewer auch der Land Pattern Rechner kostenlos beigelegt wird. Der Land Pattern Viewer stellt dem Käufer der Richtlinie lediglich die bereits existierenden Anschlussflächenvorschläge von SMD-Bauteilen zur Verfügung. Der interaktive Anschlussflächenrechner hingegen ermöglicht es dem Designer, die Anschlussflächen neuer SMT-Bauteile zu berechnen oder aber vorhandene SMD-Layouts zu optimieren. Die *IPC-7351A* unterstützt den Designer bei allen Typen passiver als auch aktiver SMD-Bauteile [1]. Nach *John Perry*, *IPC* Technical Project Manager, liegt ein Grund für diese Entscheidung von *IPC* und *PCB Matrix* darin, dass einerseits die Zunahme

von Bauteiltypen in der Bauelementeindustrie so stark voranschreitet, dass die Designer Probleme haben, ihr zu folgen, andererseits aber der Zeit- und Kostendruck für die Designer ständig zunimmt. Der Rechner ist ebenfalls Bestandteil der 90-Tage-Frei-Version des Land Pattern Wizard. Dieser erlaubt es dem Designer, nicht nur das berechnete Pattern-Layout in seiner Bauteilbibliothek in einem neuen Pattern-File geordnet abzulegen, sondern auch die Files schnell und problemlos in die verwendeten CAD-Tools wie *Allegro*, *Board Station*, *Expedition*, *PADS*, *Pantheon* und *PCAD* zu exportieren. *IPC*-Mitglieder und Nichtmitglieder, die *IPC-7351A* bereits besitzen, können den Land Pattern Rechner kostenlos von folgender Internetseite herunterladen: <http://landpatterns.ipc.org/>. Die Richtlinie selbst ist als Papierausgabe oder CD über den *IPC*-Shop zu bestellen: www.ipc.org/onlinestore. -psm-

Mehr Informationen: John Perry, JohnPerry@ipc.org

Literatur

[1] PLUS 6/2008, Seite 1117-1124