

## اثر بارهای ارتعاشی

# بر نوسانات مقاومت الکتریکی کانکتورهای الکتریکی

حامد درویش گوهری  
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک  
دانشگاه صنعتی شریف

hameddarvish@mech.sharif.edu

مهدی بهزاد\*  
استاد دانشکده مهندسی مکانیک  
دانشگاه صنعتی شریف

m\_behzad@sharif.edu

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۶

### چکیده

معمولاً کانکتورهای<sup>۱</sup> الکتریکی، که در سیستم‌های پرشتاب مورد استفاده قرار می‌گیرند، در اثر نیروهای اینرسی وارده دچار قطعی اتصال می‌شوند. این کانکتورها باید در شرایط پرلرزش، بدون هیچ مشکلی عمل کنند. اصولاً ارتعاشات پین‌های کانکتور سبب کاهش سطح تماس و یا عدم تماس در زمان‌های بسیار کوتاه و به دنبال آن افزایش مقاومت اتصال یا قطعی لحظه‌ای جریان می‌شود. این نوسانات جریان باعث اختلالات غیرقابل پیش‌بینی در عملکرد ادوات الکتریکی به کار رفته در سیستم‌های بسیار حساس می‌شوند، لذا باید از بروز آنها جلوگیری کرد. در این مقاله اثر بارهای ارتعاشی بر نوسانات مقاومت الکتریکی اتصال، با استفاده از روش المان محدود، بررسی و در ادامه میان رفتار دینامیکی اتصال و ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی ارتباط برقرار شده است.

**واژگان کلیدی:** کانکتور، ارتعاشات، مقاومت الکتریکی، تنش تماسی، نوسانات مقاومت تماسی

### ۱. مقدمه

حرارت و ارتعاش از جمله عوامل ایجادکننده تنش است که سبب ایجاد سایش می‌شوند. این سایش، تغییرات مقاومت و جریان را در سیستم به دنبال دارد. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای برای ارزیابی چرخه گرمایی به‌وجودآورنده سایش انجام شده است [۲-۵]. در این میان، فلاورز و همکاران (۲۰۰۲)، تأثیر تنش‌های مکانیکی بر عملکرد سایشی اتصالات الکتریکی را، که کمتر مطالعه شده، بررسی کرده‌اند. این پژوهشگران اثر تحریک‌های

کنتاکت‌ها حامل‌های مستقیم ارسال سیگنال تجهیزات الکترونیکی‌اند. کنتاکت‌ها سیگنال را از انتهای ورودی به انتهای خروجی کانکتور الکتریکی می‌فرستند. به دلیل نقش مهم کنتاکت‌ها در کانکتور، خرابی آنها آسیب‌های شدیدی در محصول والد یا بزرگتر ایجاد خواهد کرد. بنابراین، به منظور بررسی کنتاکت‌های پینی و سوکتی و یافتن روش‌هایی برای بهینه‌سازی، طراحی آنها در بهبود قابلیت اطمینان کانکتورهای الکتریکی اهمیت ویژه‌ای دارد [۱].

تکفرکانس را مطالعه کرده‌اند [۶]. همچنین عملکرد سایشی اتصالاتی را تحت دو تحریک ارتعاشات اتفاقی و تکفرکانس مورد بررسی قرار داده‌اند [۷] و در نهایت سعی کرده‌اند مدلی منطبق بر داده‌های آزمایشگاهی ارائه کنند. شو و همکاران (۲۰۰۰) نیز نشان داده‌اند که چگونه می‌توان شکل بهینه فتر کنتاکت یک کانکتور را یافت [۸]. در این مقاله، فرایند اینسرت یا واردکردن یک مدار چاپی<sup>۲</sup> در فنرهای کنتاکت یک کانکتور با تحلیل المان محدود مدل شده است. همچنین حداکثر نیروی اینسرت و نیروی عمودی تماس و اثر پارامترهای گوناگون بر آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در ادامه، ابعاد فنرهای کنتاکت، پارامتری و بهینه‌سازی می‌شود و نیروی اینسرت مورد نیاز در شرایط ثابت بودن نیروی عمودی تماس به حداقل می‌رسد. تمام کنتاکت‌های الکتریکی جداشدنی به نیرویی برای باهم نگه‌داشتن نیمه‌های نری و مادگی در هنگام جفت‌شدن نیاز دارند. وقتی کانکتور جفت می‌شود، نیروی عمودی تماس، نیرویی تولید می‌کند که رابط کنتاکت را ایجاد و پایداری رابط کنتاکت را در برابر اغتشاش‌های مکانیکی در طی عمر مفید یا کاری حفظ می‌نماید. علاوه بر این، حداقل مقاومت کنتاکت یک کانکتور به نیروی عمودی وابسته است. وقتی دو سطح به هم می‌رسند، مساحت کنتاکت کوچک است و جریان گذرنده از رابط به جریان گذرنده از این منطقه کوچک محدود می‌شود. این امر سبب افزایش مقاومت می‌شود. این مقاومت محدود را می‌توان به صورت رابطه ۱ بیان کرد:

$$R_c = \frac{\rho}{d} \approx \rho \sqrt{\frac{H}{F_n}} \quad (1)$$

به طوری که در این رابطه  $R_c$  مقاومت محدود،  $\rho$  مقاومت سیم،  $H$  سختی مواد و  $F_n$  نیروی عمودی است. از این معادله مشهود است که نیروی عمودی کنتاکت زیادی برای کاهش مقاومت محدود نیاز است [۹]. از دیگر مواردی که عملکرد صحیح اتصالات الکتریکی در آنها حائز اهمیت است، صنایع هوافضا است. کنتاکت‌های

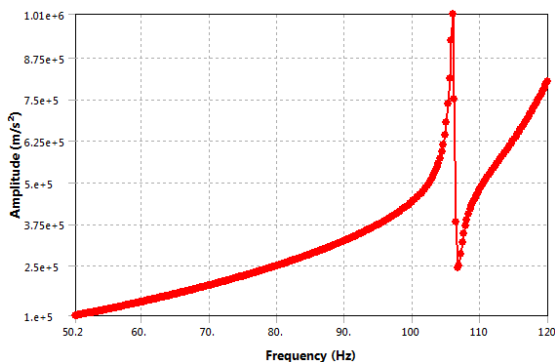
پینی و سوکتی از جمله قسمت‌های کلیدی کانکتور الکتریکی در اجزای الکترونیکی هوافضا هستند. همچنین کنتاکت‌ها حامل‌های اصلی انتقال سیگنال در تجهیزات الکترونیکی و ارسال سیگنال از ورودی به انتهای خروجی کانکتور الکتریکی هستند. قابلیت اطمینان کنتاکت‌های پینی و سوکتی مستقیماً بر انتقال سیگنال اثر می‌گذارد. به همین منظور، بین و همکاران (۲۰۰۷) سعی بر بهبود قابلیت اطمینان کانکتورهای الکتریکی هوافضا نموده‌اند [۱]. در این مقاله شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از سیستم شبیه‌سازی ایجادشده توسط زبان PCL نرم‌افزار MSC بر روی داده‌های عملکرد کنتاکت‌ها انجام شده و در نهایت نتایج شبیه‌سازی توسط نتایج آزمایش عملی اعتباردهی شده است.

پیش‌بینی رفتار دینامیکی و انجام آنالیز مودال اتصال الکتریکی یکی از موارد مهم در پیش‌بینی نوسانات مقاومت الکتریکی است. برای اعمال اثر پیش‌فشاردگی اولیه بر آنالیز مودال، محل تماس با فنرهایی مدل‌سازی می‌شود که باید پارامترهای آن استخراج گردد. به منظور تعیین پارامترهای اتصال از نوع انطباق تداخلی می‌توان از تحلیل با المان‌های تماسی نرم‌افزار انسیس<sup>۳</sup> استفاده کرد [۱۰].

پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه به دو دسته تقسیم می‌شوند: در دسته نخست مدل‌سازی اتصالات به کمک اجزای محدود انجام شده است. در این مقالات رابطه نیروی نرمال با نیروی اینسرت و روش‌های تغییر نسبت این دو نیرو مورد مطالعه قرار گرفته است. در مقالات دسته دوم اما، آثار حرارت، ارتعاشات هارمونیک و ارتعاشات اتفاقی بر تغییر مقاومت حاصل از سایش بررسی شده است. در این پژوهش‌ها حد آستانه‌ای برای سایش تعیین شده است؛ اگر مقدار تحریک از این حد آستانه بیشتر شود، سایش رخ می‌دهد. اما به علت طراحی مناسب، عمده‌تاً اتصالات به حد سایش نمی‌رسند. موضوعاتی که خلأ آن در این پژوهش‌ها احساس می‌شود، پیش‌بینی نوسانات مقاومت الکتریکی و یا قطعی اتصالات به کمک اجزای محدود، قبل از اینکه به حد

### ۳. آنالیز مودال اتصال

پیش‌بینی می‌شود که نوسانات مقاومت الکتریکی به رفتار دینامیکی سیستم وابسته باشند. از این‌رو ابتدا آنالیز مودال سیستم بررسی می‌شود. با استفاده از روش‌های جاروب فرکانسی، اتصال را در جهت عمودی و افقی تحریک نموده و پاسخ‌های فرکانسی سیستم به‌دست آمده است (شکل ۲).



شکل ۲. پاسخ فرکانسی سیستم با تحریک عمودی

### ۴. نتایج

به‌منظور بررسی اثر بارهای ارتعاشی بر نوسانات مقاومت الکتریکی، نخست اتصال مورد نظر را در فرکانس‌های مختلف در جهت قائم تحریک و نوسانات مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین نوسانات مقاومت الکتریکی ابتدا باید تغییرات نیروی عمودی تماسی را محاسبه کرد. برای محاسبه نیروی عمودی تماسی نیز نخست نوسانات فشار تماسی در ۲۵ نقطه از سطح تماس محاسبه می‌شود. نوسانات فشار تماسی در یک نقطه از اتصال برای نمونه آورده شده است (شکل ۳).

با تعیین نوسانات فشار تماسی در ۲۵ نقطه مختلف در فرکانس‌های مورد نظر، با استفاده از معادله ۱ داریم:

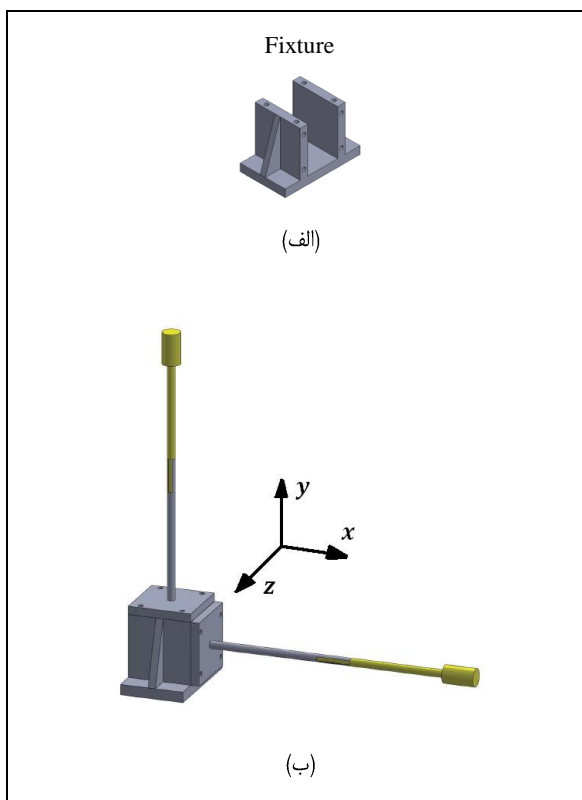
$$\frac{R}{R_0} \propto \sqrt{\frac{F_{n_0}}{F_n}} = \sqrt{\frac{P_0}{P}} \quad (2)$$

با توجه به رابطه ۲، ابتدا باید مقدار  $P$  را تعیین کرد. این مقدار متوسط فشار تماسی است که با میانگین‌گیری از فشار سطحی در ۲۵ نقطه مذکور به‌دست آمده است. لازم

سایش برسد، می‌باشد. لازم به‌ذکر است این نوسانات در سیستم‌های حساس به‌صورت نوبه وارد می‌شود و عملکرد سیستم را دچار اختلال می‌کند. در این مقاله تأثیر بارهای ضربه‌ای و ارتعاشی پایین‌تر از آستانه سایش بر تغییرات مقاومت اتصال الکتریکی بررسی شده است.

### ۲. مدل‌سازی

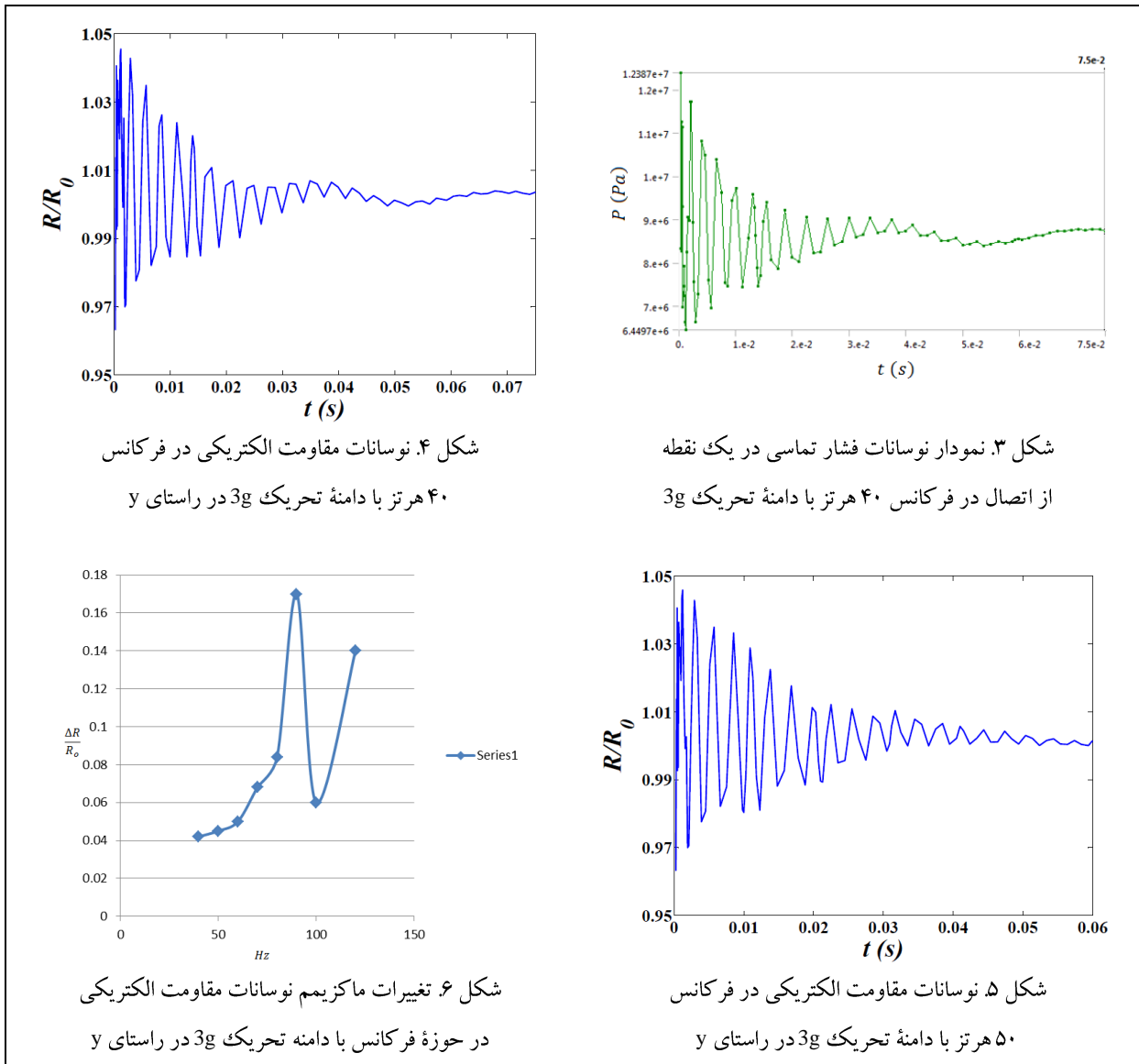
مطابق شکل ۱، به‌منظور بررسی نوسانات مقاومت در اتصالات الکتریکی، یک اتصال پینی ساده به‌کمک روش المان محدود مدل‌سازی شده است. در اتصالات الکتریکی به‌منظور جلوگیری از جدایش، یک پیش‌فشاردهی بین قسمت نری و مادگی وجود دارد. در اتصال طراحی‌شده به‌منظور ایجاد این پیش‌فشاردهی، یک تیلرانس منفی در اتصال ایجاد شده است که نیروی جدایش معادل با آن نیوتن می‌باشد.



شکل ۱. اتصال مدل‌سازی شده؛ الف) چفت‌وبست آزمایش<sup>۴</sup> ب) نحوه اتصال به‌هنگام انجام آزمایش در راستاهای x و y

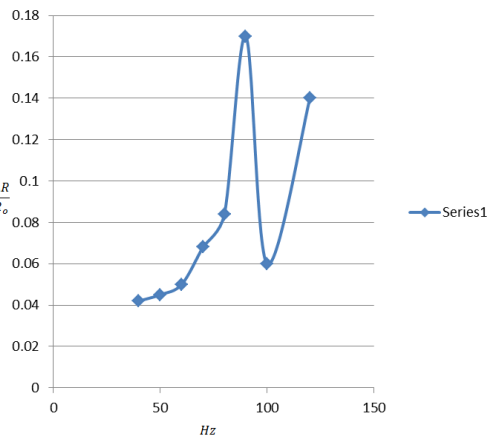
به‌ذکر است در رابطه ۲، پارامتر  $P_0$  مقدار متوسط فشار تماسی در حالت استاتیکی است، که با انجام یک تحلیل استاتیکی و میانگین‌گیری از فشار سطحی در ۲۵ نقطه مذکور به‌دست می‌آید. با استفاده از رابطه ۲ نمودار نوسانات مقاومت الکتریکی در فرکانس‌های مختلف رسم می‌شود. در شکل‌های ۵ و ۶ نمودار نوسانات مقاومت الکتریکی در فرکانس‌های ۴۰ و ۵۰ هرتز به‌طور نمونه آورده شده است.

به‌طور مشابه، نوسانات مقاومت الکتریکی برای فرکانس‌های دیگر به‌دست می‌آید و با استفاده از مقدار ماکزیمم نوسانات مقاومت در هر فرکانس، نمودار ماکزیمم تغییرات مقاومت الکتریکی برحسب فرکانس ارتعاشات رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نمودار تغییرات ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی در حوزه فرکانس تطبیق مناسبی بر پاسخ فرکانسی اتصال در راستای  $y$  دارد.

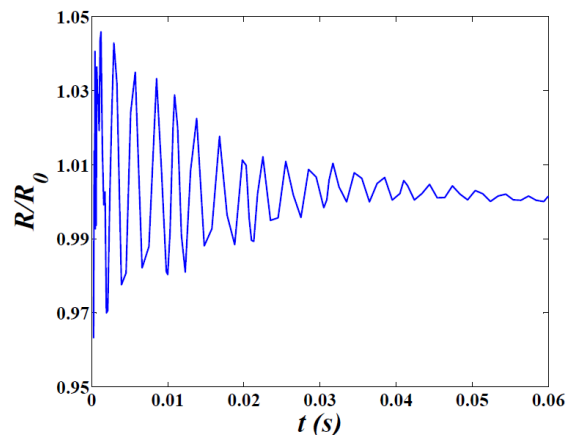


شکل ۴. نوسانات مقاومت الکتریکی در فرکانس ۴۰ هرتز با دامنه تحریک 3g در راستای  $y$

شکل ۳. نمودار نوسانات فشار تماسی در یک نقطه از اتصال در فرکانس ۴۰ هرتز با دامنه تحریک 3g



شکل ۶. تغییرات ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی در حوزه فرکانس با دامنه تحریک 3g در راستای  $y$



شکل ۵. نوسانات مقاومت الکتریکی در فرکانس ۵۰ هرتز با دامنه تحریک 3g در راستای  $y$

### ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

محیط کاری قرار می‌گیرد، باید از حداکثر نوفه موجود در آن آگاهی داشت. حال آنکه ساختن و تست کانکتور به‌طور

وقتی یک کانکتور برای استفاده در محیط‌های پرلرزش طراحی می‌شود، هنگامی که کانکتور تحت بارهای ارتعاشی

می‌شود که نمودارها تطبیق مناسبی بر یکدیگر دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمودار تغییرات ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی اتصال در حوزه فرکانس به‌کمک پاسخ فرکانسی اتصال قابل پیش‌بینی است. با استفاده از روش ارائه‌شده در این مقاله می‌توان نوفه اتصالات الکتریکی را تحت بارهای ارتعاشی پیش‌بینی کرد و با توجه به محل کارکرد اتصالات طراحی مناسبی برای آنها انجام داد.

عملی نیازمند صرف زمان و هزینه است. به‌همین منظور پیش‌بینی نوسانات مقاومت الکتریکی اتصال به‌صورت تحلیلی حائز اهمیت است. در این مقاله به‌کمک روش اجزای محدود، نوسانات مقاومت الکتریکی اتصال پیش‌بینی و نمودار تغییرات ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی در حوزه فرکانس رسم شده است. با مقایسه نمودارهای پاسخ فرکانسی و تغییرات ماکزیمم نوسانات مقاومت الکتریکی اتصال مشاهده

## ۶. مآخذ

- [1] Bin L.V., Z. Sheng-jun, Z. Lan-yan. "Technical research on optimization design of contacts of electrical connector." *Lv et al. / J Zhejiang UnivSci A*, Vol. 8, No. 5, 2007, pp. 506-510.
- [2] Whitley J.H., E.M. Bock. "Fretting corrosion in electric contacts." in Proc. 20<sup>th</sup> IEEE Holm Conf. Electrical Contacts, 1974, pp.128-138.
- [3] Lee A., M.S. Mamrick. "Fretting corrosion of tin at elevated temperatures." in Proc. 34<sup>th</sup> IEEE Holm Conf. Electrical Contacts, 1988, pp.87-91.
- [4] Antler M. "Survey of contact fretting in electrical contacts." in Proc. 29<sup>th</sup> IEEE Holm Conf. Electrical Contacts, 1984, p. 3.
- [5] Malucci, R.D. "Impact of fretting parameters on contact degradation." in Proc. 42<sup>nd</sup> IEEE Holm Conf. Electrical Contacts, 1996, pp.395-403.
- [6] Flowers G.T., F. Xie, M. Bozack, R.D. Malucci. "Vibration thresholds for fretting corrosion in electrical connectors." in Proc. 48<sup>th</sup> IEEE Holm Conf. Electrical Connectors, Oct. 21-23, 2002, pp. 133-139.
- [7] Flower, G.T., F. Xie, M.J. Bozack, R. Horvath, R.D. Malucci. "Modeling Early Stage Fretting of Electrical Connectors Subjected to Random Vibration." *IEEE Transactions On Components And Packaging Technologies*, Vol. 28, No. 4, 2005, pp. 721-727.
- [8] Hsu Y.L., Y.C. Hsu, M.S. Hsu. "Shape optimal design of the contact springs of a connector." 2000 PCB Manufacturing Technology Conference, Yuan Ze University, Chung-Li, Taiwan, June 24, 2000.
- [9] Wager, H.N. "Principles of electronic contacts." *Physical Design of Electronic Systems*, Vol. 3, Chap. 8, Prentice-Hall, 1971.
- [10] Schmitz T.L., K. Powell, D. Won, G.S. Duncan, W.G. Sawyer. "Shrink fit tool holder connection stiffness/damping modeling for frequency response prediction in milling." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 47, (2007):1368-1380.

## پی‌نوشت

1. connectors  
2. printed circuit board (PCB)

3. ANSYS®  
4. test fixture