

Moderní simulační prostředky na analýzu spolehlivosti desek plošných spojů a elektronických prvků pro výkonovou elektroniku

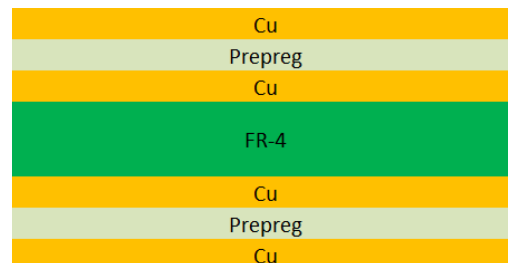
Tomáš Sedlář SVS FEM s.r.o., Tibor Bachorec, SVS FEM s.r.o.

S vyšší integrací elektronických prvků a menších rozměrů součástek a desek plošných spojů vzniká velké množství nároků na správnost návrhu elektrického systému. Počítačová simulace umožňuje návrháři odlatit chyby v systému bez nákladů na výrobu a měření testovacích prototypů. Článek shrnuje možnosti multifyzikálních simulací zaměřených na problémy s deskami plošných spojů a elektronických výkonových prvků pomocí programů ANSYS.

Klíčová slova: DPS, IGBT, Joulovo teplo, termomechanické namáhání, numerická analýza

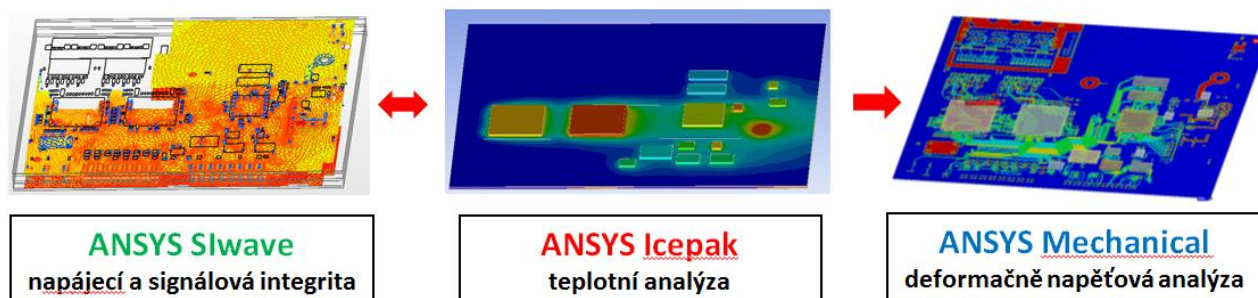
1. ÚVOD

Vysoká spolehlivost desek plošných spojů a komponent na nich osazených je jedním z klíčových faktorů pro jakostní elektronický výrobek. Spolehlivost elektrického systému na desce plošného spoje, či výkonových prvků může být ovlivněna teplotním namáháním, které může vést nejen k proražení polovodičového přechodu prvků pro výkonovou elektroniku, ale také deformaci a možného přerušení vodivého spoje vlivem teplotní roztažnosti látek. Nejtypičtější materiál pro výrobu jednovrstvé nebo dvouvrstvé DPS je FR-4. Základní materiál FR-4 je složený ze skelného vlákna a epoxidové pryskyřice, proto má ortotropní fyzikální vlastnosti. Vícevrstvé desky plošných spojů vzniknou laminací prepregové vrstvy s další měděnou vrstvou na již vytvořené dvouvrstvou DPS. Vzniká tak sendvičová struktura různých materiálů, které mají různé fyzikální vlastnosti. Motívem vodivých cest včetně prokůvů jsou navíc tyto materiálové vlastnosti lokálně upravovány, zvláště pak termální vlastnosti jako je teplotní vodivost a koeficient teplotní roztažnosti. Problémy týkající se DPS a prvků pro výkonovou elektroniku můžeme obecně charakterizovat jako elektrické, teplotní a mechanické. Elektrické úlohy zahrnují signálovou a napájecí integritu, přeslechy, elektromagnetickou interferenci a ohmické ztráty v systému. Tyto ztráty vedou k oteplení systému a možnému selhání, ať už díky kladné zpětné teplotní vazbě polovodičového přechodu nebo díky termomechanickému pnutí. Nejnáchylnější na mechanickou deformaci jsou právě pájené spoje, nicméně může dojít i k poruše měděné vodivostní cesty nebo kontaktního vývodu vlivem deformace DPS.



Obr. 1: Sendvičová struktura čtyřvrstvé DPS

Elektronické součástky či DPS jsou většinou vyráběny ve velkých sériích a proto je potřeba předcházet možným poruchám již v návrhu samotného systému. Vhodnou metodikou při odstraňování potenciálních poruch jsou numerické simulace během vývoje zařízení. Rodina produktů společnosti ANSYS nabízí možnost simulace efektů způsobených různými vlivy při normálních nebo extrémních podmínkách provozu. Multifyzikální úlohou se dají zahrnout elektrické, teplotní a mechanické efekty vyskytující se v systému.

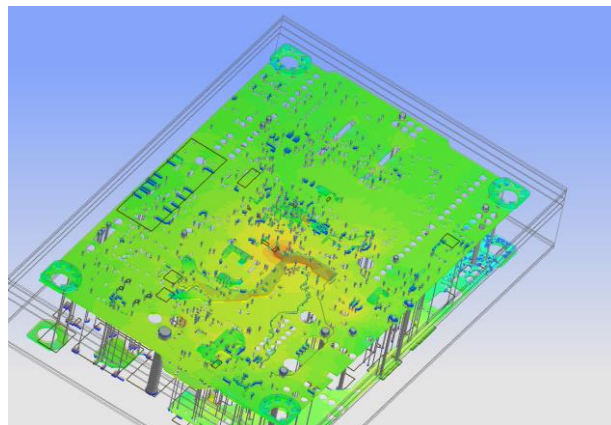


Obr. 2: Schéma multifyzikální simulace pro DPS

2. ANSYS SIWAVE

Specializovaný simulační software pro simulaci na úrovni CPS (Chip-package-system) je ANSYS Siwave. Umožňuje kromě základních DC analýz zahrnující například pokles napětí na napájecí cestě, proudové zatížení cest a komponent, výpočet Jouleových ztrát a dalších stejnosměrných veličin, také analýzy pro signálovou a napájecí integritu v kmitočtových oblastech. Díky svým vlastnostem je vhodný pro řešení návrhu desek plošných spojů jak pro výkonovou elektroniku, tak pro vysokofrekvenční systémy. Siwave je vhodný nástroj pro výpočet elektromagnetické kompatibility a interference desek plošných spojů. Široké spektrum nástrojů nabízející simulace vyzařování a absorpce elektromagnetických vln vodivými cestami, sledování signálových přeslechů pro různé frekvence, optimalizace počtu a rozmístění blokovacích a filtračních kondenzátorů pro napájecí integritu a možnosti zjištění dalších parametrů vodivých cest.

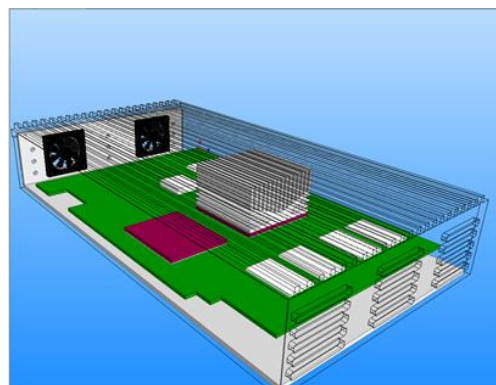
Nespornou výhodou je automatizovaná iterační smyčka mezi programy ANSYS Siwave a ANSYS Icepak. Icepak slouží jako nástroj pro teplotní simulace pro elektronické zařízení. V grafickém prostředí ANSYS Siwave lze nastavit parametry teplotní simulace, jako je charakterizace volné nebo nucené konvekce, výkonové ztráty jednotlivých prvků, umístění chladičů na součástky a další. V neposlední řadě můžeme nastavit i konvergenční kritérium pro tuto smyčku. Dokud toto kritérium nebude splněno, budou ztrátové výkony vypočtené z Siwave posílány do Icepaku, kde je vyřešeno oteplení, které změní materiálové vlastnosti pro výpočet ztrátových výkonů v Siwave. Touto smyčkou dojde simulace až k ustálenému stavu.



Obr. 3: Barevné rozložení kontur tepelných ztrát vypočtených DC analýzou

3. ANSYS ICEPAK

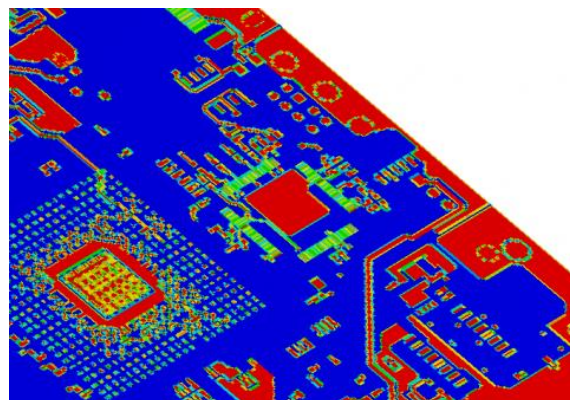
Icepak je program na teplotní simulace pro elektronické aplikace. Klíčovou vlastností je import CAD a ECAD formátů. Další nespornou výhodou ANSYS Icepak je specializace na detailní modelování elektronických komponent, ať už jde o čipové součástky nebo desky plošných spojů a zároveň využití robustního řešiče proudění ANSYS Fluent pro precizní výsledky. Icepak podporuje manuální import napočtených ztrát z Siwave, případně pomocí automatické smyčky obdobné jako v programu Siwave. Standardními výstupy programu ANSYS Icepak je rozložení teplot, rychlosti a směru proudění a další odvozené veličiny jako například efektivní teplotní vodivost. Díky importu návrhu vodivých cest včetně prokůvů jsou materiálové vlastnosti desek plošných spojů lokálně měněny tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě. Import ECAD dat je umožněn ze širokého spektra návrhových softwarů, jako jsou Altium, Cadence, Mentor a Zuken. Icepak navíc dovoluje modelovat i objekty v okolí desky plošných spojů, které mohou ovlivňovat přenos tepla. Typickým příkladem jsou ventilátory, chladiče, či šasi ve kterých je deska umístěna. Tvorba sítě a nastavení výpočtu probíhá v prostředí programu Icepak, ale samotné řešení je počítáno jádrem Fluentu. Zobrazení výsledků je opět v prostředí Icepak. Výsledky se dají zobrazit jako tabulky, grafy, nebo jako obrázkové zprávy ukazující kontury, směry a velikosti veličin, či historii pohybu částic. Tvorba animací z obrázkových zpráv je samozřejmostí.



Obr. 4: DPS v šasi s ventilátory a detailně modelovaným chladičem

4. ANSYS MECHANICAL

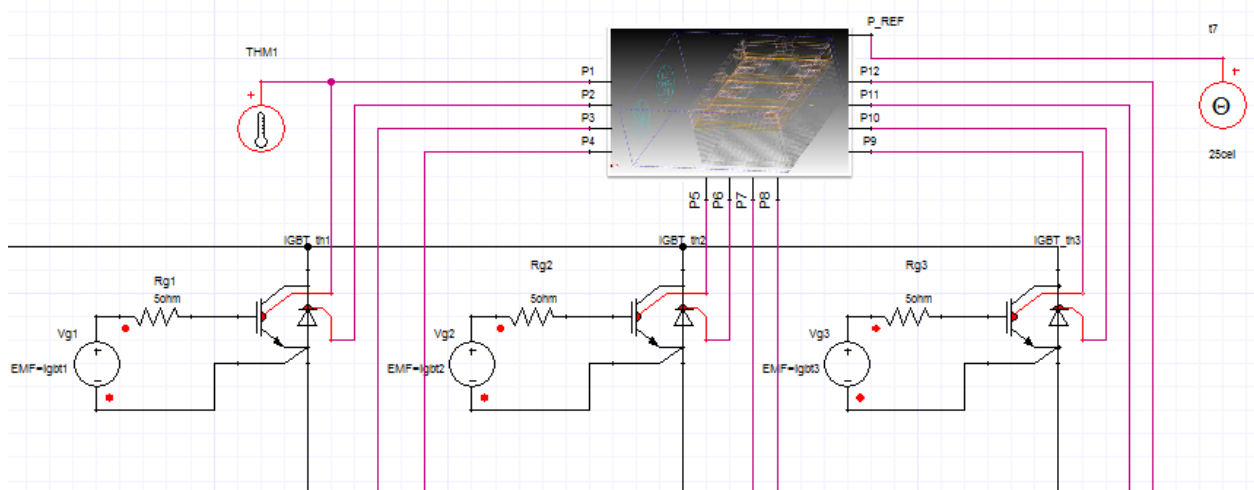
ANSYS Mechanical je nástroj pro řešení inženýrských úloh v oblasti strukturální analýzy lineárních i nelineárních problémů. Oblast řešených analýz zahrnuje lineární i nelineární strukturální úlohy včetně hodnocení únavové životnosti, výpočet vzpěrné stability, dynamické analýzy: modální, harmonickou, spektrální, dynamiku rotorů a tuhých těles v kombinaci s pružnými tělesy, dále pak analýzu s náhodným buzením a simulaci přechodových dějů. Vzájemná interakce těles je zajištěna pomocí pokročilých kontaktních algoritmů. ANSYS Mechanical umožňuje taktéž import motivů vodivých cest z návrhových systémů pro desky plošných spojů. Díky importu napočtených teplot z prostředí ANSYS Icepak je možné vypočítat teplotně-deformační analýzu desky plošných spojů. Při teplotním namáhání můžeme očekávat prohnutí DPS, které může vést ke vzniku studeného spoje nebo k úplnému přerušení pájeného spoje.



Obr. 5: ECAD import v ANSYS Mechanical

5. ANSYS SIMPLORER

Simplorer je nástrojem pro systémové simulace. Široké spektrum modelování zahrnující elektrické obvody, mechanické a hydraulické modely, stavové automaty, blokové diagramy, algebraické i diferenciální rovnice a modely psané jazyky Modelica, VHDL, VHDL-AMS, SML a C/C++. Dále je možné importovat konečnoprvkové modely, či modely s redukováným stupněm volnosti, nebo analytické modely z programů Matlab, Mathcad, ModelSim, QuestaSim a SPICE. Specialitou prostředí ANSYS Simplorer je možnost vytvářet modely polovodičových výkonových prvků jako jsou MOSFET a IGBT. Pomocí dat z katalogového listu je uživatel schopen vytvořit věrný model pro simulaci spínacích ztrát. Spínáním vysokých proudů dochází v polovodičovém přechodu ke ztrátám, které ho oteplují. Daný prvek lze schematicky spojit s dalšími obvodovými a systémovými komponentami, jako je třeba simulace oteplení v programu ANSYS Icepak pro správné zohlednění teplotně závislých vlastností.



Obr. 6: Výřez z prostředí Simplorer: IGBT napojené na termální analýzu

6. ZÁVĚR

Simulační softwar z rodiny ANSYS nabízí dnešnímu elektroinženýrovi efektivní řešení všech fyzikálních problémů, se kterými se během návrhu nového zařízení může setkat. Ať už se jedná o obvodové a systémové simulace nebo detailní simulace pomocí metody konečných prvků a metody konečných objemů. Velkou

výhodou je možnost výměny dat s programy třetích stran, ať už se jedná o software pro návrh desek plošných spojů, CAD softwary či programy pro matematické výpočty.

7. LITERATURA

- [1] ANSYS SIwave Technical Notes, ANSYS, Inc., 2017.
- [2] ANSYS Icepak Technical Notes, ANSYS, Inc., 2017.
- [3] ANSYS Simplorer Technical Notes, ANSYS, Inc., 2017.

Modern simulation tools for analyzing the reliability of printed circuit boards and electronic components for power electronics

Higher integration and reduced dimensions of components and printed circuit boards leads to rise of demands in precise design of electrical system. Numerical simulation enables designer to spot and repair errors in the electrical system without expensive prototyping and measuring. The paper is summarizing possibilities of multiphysical analysis focused on problems with printed circuit boards and electrical power components with software ANSYS.

Keywords: PCB, IGBT, Joule heat, thermomechanical stress, numerical analysis

Ing. Tomáš Sedlář, SVS FEM s.r.o., Škrochova 3886/42, 615 00 Brno

Ing. Tibor Bachorec, Ph.D., SVS FEM s.r.o., Škrochova 3886/42, 615 00 Brno

tel: +420 543 254 554, email: tsedlar@svsfem.cz

tel: +420 543 254 554, email: tbachorec@svsfem.cz