



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Villamosmérnöki és Informatikai kar

**A termikus tranziens tesztelés módszerének
kiterjesztése teljesítményelektronikai eszközök
megbízhatósági tesztelésére**

PhD értekezés

Tézisfüzet

Szerző: Sárkány Zoltán

Témavezető: Dr. Rencz Márta

Budapest

2023.

Motiváció

Korunk egyik nagy kihívása a klímaváltozás hatásainak csökkentése és egy fentarthatóbb jövő építése. Ez a törekvés jelentős lendületet adott a megújuló energiatermelés és elektromos közlekedés terjedésének és megnövelte az igényt a közepes és nagy teljesítményű teljesítmény átalakító áramkörök továbbfejlesztésére. A hatékonyság és teljesítménysűrűség növelése érdekében elengedhetetlen a rendszer minden elemének optimalizálása. A doktori munkám során nagy teljesítményű kapcsoló tranzisztorok és tranzisztor modulokra fókuszáltam, melyek kritikus elemei a teljesítmény átalakító áramköröknek. A legelterjedtebben alkalmazott kapcsoló eszközök mérsékelt teljesítmény szinteken a MOSFET tranzisztorok, míg nagy teljesítményű átalakítók esetén IGBT-k vagy akár tirisztorok. Az elsődleges elektromos működés mellett a kapcsoló tranzisztorok hosszú távú megbízható működése is különösen fontos a fenti alkalmazások esetében. Kutatások kimutatták, hogy ez elektronikai rendszerek meghibásodása leggyakrabban termikus hatásokra vezethető vissza.

Új megoldást igénylő problémák

A teljesítmény átalakító áramkörök működése során a kapcsoló tranzisztorok periodikus hőmérsékletváltozásoknak vannak kitéve. Teljesítmény ciklusokkal történő tesztelés az egyik legfontosabb tesztelési eljárás a teljesítmény elektronikai félvezető tokozások termikus élettartamvizsgálatára, melynek során a rákapcsolt elektromos gerjesztés segítségével periodikus hőmérsékletváltozásoknak teszik ki a vizsgált eszközt. Ez a terhelés jól utánozza az aktív működés közben fellépő hatásokat, aminek következtében kialakuló termomechanikai feszültségek a struktúra degradálásához vezetnek, különösen az egymáshoz csatlakozó eltérő anyagok határfelületein. Ezeket a tesztek leggyakrabban élettartam görbék készítéséhez szükséges bemeneti adatok előállításához használják. Ilyenkor a tesztet addig végzik, amíg a tesztelt eszközök tönkre nem mennek és elsősorban az ehhez szükséges terhelési ciklusok számát használják fel. Ennek elérésére gyakran csak a legalapvetőbb paramétereket mérik, mint a minimum és maximum hőmérséklet és feszültség, amelyek az eszköz hasznos élettartamának végének megállapításához szükségesek. Ezzel szemben,

kifinomultabb mérési eljárások alkalmazása lehetőséget nyújtana az egyes rétegek romlási folyamatának megfigyelésére, mely információ felhasználható lenne az eszköz vagy modul tervének illetve a gyártási eljárás tökéletesítésére. A legtöbb diagnosztikai mérési eljáráshoz azonban a teljesítmény ciklálást meg kell szakítani, és a mintát laboratóriumi teszteknek alávetni, amihez általában a minta mozgatása is szükséges. Ez a teszt költségét és időtartamát is jelentősen megnöveli. Ennek következtében szükség mutatkozik a teljesítmény ciklálás és a diagnosztikai eljárás szorosabb integrálására. Termikus tranziens tesztelési eljárás a félvezető eszköz egy hőmérsékletfüggő elektronos paraméter ugrásválaszának mérésén alapul. A mérés segítségével a hőterjedési útvonal termikus paraméterei megállapíthatóak és egy model alkotható, mely a tokozás és a hűtési környezet fizikai felépítésével arányos. Annak köszönhetően, hogy a termikus tranziens méréséhez kizárólag elektromos hozzáférés szükséges a vizsgált eszközhöz, a módszer jól integrálható teljesítmény ciklálással, ezzel új lehetőségeket nyitva a minta romlásának megfigyelésére.

A szilícium alapú teljesítmény elektronikai eszközök közelítenek a szilícium anyag által nyújtott lehetőségek

határaihoz, aminek hatására az elmúlt években a nagy tiltott sáv szélességű anyagokra épülő tranzisztor technológiák fejlesztése jelentősen felgyorsult, különös tekintettel szilícium karbid (SiC) és gallium nitrid (GaN) anyagokra. SiC MOSFET-ek és diódák esetében a megfelelő termikus tranziens tesztelési eljárások már ismertek, azonban speciális struktúrájuk miatt GaN HEMT eszközök esetén továbbra is a szimuláció az elsődleges vizsgálati módszer a kiforratlan mérési eljárások miatt.

Teljesítmény elektronikai áramközökben nem csupán a félvezető eszközök, de a kondenzátorok is jelentős hőmérsékleti terhelésnek lehetnek kitéve. Mind a környező komponensek által generált hő, mint a kondenzátoron létrejövő veszteségek hozzájárulnak a kondenzátor hőmérsékletének növekedéséhez, ami negatív hatással lehet az elektromos paraméterekre és a komponens élettartamára egyaránt. A legtöbb irodalomban fellelhető mérési módszer a kondenzátor felületére rögzített, vagy egy furatba helyezett hőmérséklet szenzorokat alkalmaz esetleg infravörös hőmérőt, vagy hőkamerát használ a felületi hőmérséklet mérésére. Közös jellemzője ezeknek a módszereknek, hogy vagy a vizsgált struktúra megváltoztatásával/roncsolásával jár,

vagy csak felületi hőmérséklet mérésére képes. A termikus tranziens mérési eljárás adaptálásával az eszköz belső hőmérséklete és hőellenállása is mérhető lenne, különös tekintettel nehezen hozzáférhető, például beágyazott kondenzátorok esetén.

A kutatás célkitűzései

Kutatási tevékenységem során három fő célt tűztem ki:

- Teljesítmény ciklálással történő megbízhatósági tesztelési eljárás továbbfejlesztése termikus tranziens mérési képesség integrálásával, annak érdekében, hogy lehetővé tegye a teszt során rendszeres időközönként diagnosztikai adatok felvételét. Valamint annak vizsgálata, hogy a gyűjtött adatok hogyan használhatóak meghibásodási mechanizmusok detektálására és azonosítására.
- Termikus tranziens mérési eljárás és teljesítmény ciklálás módszerének kiterjesztése GaN HEMT eszközök esetére új elektromos mérési összeállítások kialakításával.
- Megvizsgálni, hogy alkalmazható-e termikus tranziens mérési eljárás kondenzátorok termikus vizsgálatára.

Módszertan

A dolgozatomban ismertetett összes kísérlethez a Simcenter Micred T3Ster mérőrendszert használtam fel a termikus tranziens válasz felvételére. A kezdeti kísérleteimben egy asztali műszer konfigurációt használtam, mely a T3Ster mérőműszert, annak nagy áramú teljesítmény meghajtó kiegészítőjét (úgy nevezett „Booster”), valamint saját fejlesztésű vezérlő szoftvert használtam a teljesítmény ciklálás és termikus tranziens mérés folyamatának vezérlésére. Később, a kutatás kedvező kezdeti eredményei és a jelentős piaci érdeklődésnek köszönhetően Mentor Graphics kifejlesztette a Simcenter Micred Power Tester készüléket, mely megvalósította a két teszt módszer integrálását. A dolgozatom első fejezetében ismertetett legtöbb eredmény alapját képező mérést ezzel a kereskedelmi forgalomban is kapható készülékkel készítettem.

Annak érdekében, hogy a termikus tranziens mérést új eszköz típusokra, mint GaN HEMT változatokra és kondenzátorokra is ki tudjam terjeszteni, a T3Ster alap készüléket egyedi segédáramkörökkel kellett kiegészítenem melyek összetettségükben néhány passzív komponensből egyszerűbb műveleti erősítő kapcsolásokig és referencia

forrásokig terjedtek. A dolgozatomban az egyes mérésekhez használt áramkörök vázlatos kapcsolását minden esetben ismertetem.

1 Kutatási téma: Főbb meghibásodási mechanizmusok szétválasztása termikus tranziens mérésel kombinált teljesítmény ciklálás esetén

A dolgozatom első fejezetében új tesztelési összeállítást javasolok a teljesítmény ciklálás és a termikus tranziens mérési eljárás mint strukturális vizsgálati módszer integrálásával. A két technológia kombinálása lehetővé teszi az eszköz hőterjedési útba eső struktúrájának a romlásának a megfigyelését a teszt teljes időtartamának jelentős növelése nélkül. Az így gyűjtött információ segítséget nyújt az egyes meghibásodások kialakulásának a megértéséhez és ezáltal hasznos visszajelzést nyújthat a gyártástechnológia optimalizálásához és az eszköz továbbfejlesztéséhez. Dolgozatomban demonstrálom, hogy az egyes meghibásodási mechanizmusok miként detektálhatóak és módszert javasolok a párhuzamosan jelentkező meghibásodások hatásainak szétválasztására.

1. Tézis

Új teljesítmény ciklálási módszert javasoltam a termikus tranziens tesztelés, mint roncsolásmentes vizsgálati módszer és a teljesítmény ciklálással történő megbízhatósági tesztelési

eljárás integrálásával. A két tesztelési eljárás integrálása lehetővé teszi a a tokozáson belül bekövetkező strukturális változások gyakori, részletes mérését, ezáltal jelentős mennyiségű információt szolgáltat az egyes meghibásodási mechanizmusok kialakulásáról a tesztelés idejének számottevő növekedése nélkül.

1.1 Altézis

Kísérletileg igazoltam, hogy rendszeres időközönként mért struktúrafüggvények segítségével a hőútban kialakuló különböző meghibásodások detektálhatóak. A javasolt módszer segítségével mind a csip rögzítő réteg, mind a hő forrásától távolabbi határrétegek romlása azonosítható és megkülönböztethető.

1.2 Altézis

Kísérletileg igazoltam, hogy a teljesítmény ciklálás során, az eszköz bekapcsolt állapota mellett mért feszültség hosszú távú grafikonjain tapasztalt ugrásszerű változások az egyes bekötő vezetékek törésének illetve leválásának következményei.

1.3 Altézis

Módszert javasoltam az eszköz strukturális romlásának és a bekötő vezetékek degradálódásának egyidejű fellépése

esetén az eszköz bekapcsolt állapota mellett mért feszültségre gyakorolt hatások szétválasztására. A javasolt kompenzáló tényező a ciklás során bekövetkező maximális hőmérséklet növekedés és a fűtő áram mellett mért feszültség hőmérsékletfüggésének szorzatával számítható minden ciklusra.

2 Kutatási téma: GaN HEMT áramkörök termikus tranziens mérése

A dolgozatomban második fejezetében a javasolt vizsgálati módszer GaN HEMT eszközökre való kiterjesztését ismertetem. Annak érdekében, hogy a kombinált eljárás új eszköz típusokra is alkalmazható legyen először biztosítani kell, hogy az adott eszköz termikus tranziense megfelelő pontossággal mérhető legyen. A dolgozatban demonstrálok, hogy a szilícium eszközök esetén alkalmazott mérési összeállítások GaN HEMT eszközök tesztelésére gyakran nem használhatóak. Ezen felül a HEMT eszközök számos alváltozata miatt egyetlen mérési módszer nem is képes lefedni az összes eszköz változatot. Dolgozatomban négy különböző mérési összeállítást javaslok GaN HEMT RF erősítők, cascode kapcsolású HEMT és növekményes karakterisztikájú HEMT struktúrák esetére. A javasolt mérési összeállítások nem csak termikus tranziens mérésre, de teljesítmény ciklálásra is használhatóak.

2. Tézis

Új mérési összeállításokat dolgoztam ki több különböző kiürítéses és növekményes karakterisztikájú GaN HEMT változatok termikus tranziens mérésére

2.1 Altézis

Új termikus tranziens mérési összeállítást javasoltam hagyományos, kiürítéses karakterisztikájú GaN HEMT eszközök termikus mérésére. A mérési összeállításban hőmérséklet mérésére a HEMT gate és csatorna között kialakított Schottky átmenet állandó áramú meghajtás mellett mért nyitófeszültsége szolgál, míg a felfűtés az eszköz csatorna ellenállásán történik.

2.2 Altézis

A 2.1-es altézisben megfogalmazott módszer kiegészítését javasoltam GaN HEMT teljesítmény erősítő áramkörök mérésére. A hozzáadott visszacsatoló áramkör lehetővé teszi a fűtés során a gate és source közötti feszültség csökkentését, ezáltal növelve a csatorna ellenállást és a disszipált teljesítményt a meghajtó áram növelése nélkül.

2.3 Altézis

Új mérési eljárást dolgoztam ki kaszkód kapcsolású növekményes GaN HEMT eszközök mérésére. Az eljárás során a MOSFET parazita dióján és a tokozásban található két lapka közös csatorna ellenállásán végzett mérések sorozata és egy

iteratív számítási módszer alapján határozható meg a két lapka elkülönített hőellenállása.

2.4 Altézis

Javaslatot tettem a 2.1-es altézisben megfogalmazott módszer kiterjesztésére növekményes karakterisztikájú GaN HEMT eszközök mérésére. A nyitófeszültség helyett a jelentősen lecsökkent gate áram állandó feszültségű meghajtás mellett felhasználható hőmérséklet függő paraméterként. Az eljárással kapott eredményeket szimulációval igazoltam.

3 Kutatási téma: Kondenzátorok termikus tranziens tesztelése

A harmadik kutatási témában megvizsgáltam a termikus tranziens mérési módszer alkalmazhatóságát kondenzátorok termikus mérésére. Egy teljesítmény átalakító áramkörben nem csak a félvezetők, de a diszkrét komponensek, így a kondenzátorok is jelentős hőmérsékleti terhelésnek vannak kitéve. Dolgozatomban a rendelkezésre álló mérési módszerek megismerése után egy mérési összeállítást javasoltam, ami lehetővé teszi kisebb kerámia és fóliakondenzátorok esetén a kapacitást, mint hőmérséklet függő paramétert felhasználni az eszköz termikus tranziensének mérésére. Példákat mutatok a mérési megoldás alkalmazására mind a környező eszközök által generált hőhatás, mind a kondenzátoron disszipálódó teljesítmény okozta hőmérséklet változás mérésére. Végül 3D CFD szimuláció segítségével validálom a mérési eredményeket. Már az összeállított modell kezdeti paramétereivel is jó egyezéért mutatnak a mért és szimulált eredmények, de a tranziensek összehasonlítása lehetőséget biztosít a bizonytalan szimulációs paraméterek pontosítására is.

3. Tézis

Új módszert javasoltam kondenzátorok termikus karakterizálására a termikus tranziens mérési módszer alkalmazásával. Kapcsolt kapacitársok módszerével a kondenzátor kapacitásával arányos effektív ellenállást hoztam létre. Az így kialakított áramkörre állandó áramú meghajtást kapcsolva a rajta mérhető feszültségesést alkalmaztam hőmérséklet függő elektromos paraméterként.

3.1 Altézis

Módszert dolgoztam ki a kapcsolt kapacitáson mért feszültség jel hőmérsékletfüggésének kalibrálására. A mért kondenzátort hőmérséklet vezérelt környezetbe helyezve az áramkörre $t=0s$ időpontban a tranziens méréskor is használt meghajtó áramot kapcsoltam és mértem a kezdeti tranziens időfüggvényét több hőmérsékleten. A mért függvényre exponenciális görbét illesztve a bekapcsolás pillanatára extrapoláltam a mért feszültség értékét ezzel kompenzálva a kezdeti hőmérséklet változást.

3.2 Altézis

Kísérletileg igazoltam, hogy a javasolt mérési eljárás és kalibrációs módszer alkalmazásával mind a környező eszközök,

mind a saját disszipáció által keltett hőmérsékleti tranziens mérhető.

3.3 Altézés

A mérési eredményeket szimulációval validáltam. A mért és a 3D CFD szimulációval kapott eredmények jó egyezést mutattak. A két tranziens görbe eltérései felhasználhatóak a szimulációs modell bizonytalan paramétereinek pontosítására.

Kutatási eredmények ipari alkalmazása

A kutatási tevékenységem többsége a Mentor Graphics Kft-nél (Siemens) végzett munkámmal is szoros összefüggésben állt és aktuális ipari problémák megoldására irányultak. Eredményeim egy része jelenleg is piacon levő berendezés fejlesztésben is felhasználásra került.

Az első kutatási témám eredményei a Simcenter Micred Power Tester készülék fejlesztésében lettek felhasználva, ami a dolgozatomban leírt teljesítmény ciklálást termikus tranziens méréssel kombináló koncepció ipari megvalósítása. Az eredményeim és publikációim útmutatásként szolgálnak a készülék felhasználóinak a gyűjtött mérési adatok értelmezésében. Számos piacvezető elektronikai cég alkalmazza a dolgozatomban leírt módszereket új diszkrét tokozási megoldások és teljesítmény modulok vizsgálatása és optimalizálására.

A második kutatási témámban kialakított mérési megoldások számos GAN HEMT áramkörök fejlesztésével foglalkozó cég számára tette lehetővé, hogy jelentősen javítsák mérési képességeiket és validálják illetve továbbfejleszték szimulációs modelljeiket.

A kutatási témához kapcsolódó publikációk

1 Kutatási téma:

1. **Z. Sarkany, M. Rencz, "Methods for the Separation of Failure Modes in Power-Cycling Tests of High-Power Transistor Modules Using Accurate Voltage Monitoring", *Energies* 2020, 13(11), 2718; doi: 10.3390/en13112718**
2. M. Rencz, G. Farkas, **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai, "The Use of Thermal Transient Testing" In: Rencz, M., Farkas, G., Poppe, A. (eds) *Theory and Practice of Thermal Transient Testing of Electronic Components*. Springer, Cham. (2022) https://doi.org/10.1007/978-3-030-86174-2_7
3. **Z. Sarkany** and M. Rencz, "The influence of the cycling parameters on the reliability test results of IGBTs," 2017 IEEE 19th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/EPTC.2017.8277513.
4. C. A. Manier, H. Oppermann, L. Dietrich, C. Ehrhardt, **Z. Sarkany**, M. Rencz, B. Wunderle, W. Maurer, R. Mitova, K. D. Lang, "Packaging and Characterization of Silicon and SiC-based Power Inverter Module with Double Sided Cooling," PCIM Europe 2016; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2016, pp. 1-8.
5. **Z. Sarkany**, Weikun He and M. Rencz, "Temperature change induced degradation of SiC MOSFET devices," 2016 15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems

- (ITherm), Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 1572-1579, doi: 10.1109/ITHERM.2016.7517736.
6. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Effect of power cycling parameters on predicted IGBT lifetime," 2015 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2015, pp. 1-9, doi: 10.1109/AERO.2015.7118982.
 7. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai, S. Laky and M. Rencz, "Thermal transient analysis of semiconductor device degradation in power cycling reliability tests with variable control strategies," 2014 Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM), San Jose, CA, USA, 2014, pp. 236-241, doi: 10.1109/SEMI-THERM.2014.6892246.
 8. **Z. Sárkány**, A. Vass-Várnai and M. Rencz, "Separation of failure modes in short cycle time power cycling experiments," 20th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems, Greenwich, UK, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/THERMINIC.2014.6972528.
 9. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Analysis of concurrent failure mechanisms in IGBT structures during active power cycling tests," 2014 IEEE 16th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 2014, pp. 650-654, doi: 10.1109/EPTC.2014.7028349.
 10. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Investigation of die-attach degradation using power cycling tests," 2013 IEEE 15th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2013), Singapore, 2013, pp. 780-784, doi: 10.1109/EPTC.2013.6745827.
 11. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai, G. Hantos and M. Rencz, "Failure prediction of IGBT modules based on power

cycling tests," 19th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Berlin, Germany, 2013, pp. 270-273, doi: 10.1109/THERMINIC.2013.6675197.

2 Kutatási téma:

1. G. Farkas, A. Poppe, **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai, "Thermal Transient Measurements on Various Electronic Components" In: Rencz, M., Farkas, G., Poppe, A. (eds) Theory and Practice of Thermal Transient Testing of Electronic Components. Springer, Cham. (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-030-86174-2_6
2. **Z. Sarkany** et al., "Thermal transient testing alternatives for the characterization of GaN HEMT power devices," 2022 28th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Dublin, Ireland, 2022, pp. 1-4, doi:10.1109/THERMINIC57263.2022.9950647
3. G. Farkas, **Z. Sarkany** and M. Rencz, "Issues in Testing Advanced Power Semiconductor Devices," PCIM Europe 2016; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, Germany, 2016, pp. 1-8.
4. **Z. Sarkany**, G. Farkas and M. Rencz, "Thermal transient characterization of pHEMT devices," 18th International Workshop on THERMal INvestigation of ICs and Systems, Budapest, Hungary, 2012, pp. 1-4.

3 Kutatási téma:

1. **Z. Sarkany, M. Rencz**, "A Way for Measuring the Temperature Transients of Capacitors", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 1381-1389 (2017), doi: 10.25046/aj0203174
2. **Z. Sarkany** and M. Rencz, "A way for measuring the temperature transients of capacitors," 2016 IEEE 18th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 2016, pp. 818-822, doi: 10.1109/EPTC.2016.7861594.
3. ¹**Z. Sarkany**, G. Farkas and M. Rencz, "Thermal characterization of capacitors," 2016 International Conference on Electronics Packaging (ICEP), Hokkaido, Japan, 2016, pp. 200-203, doi: 10.1109/ICEP.2016.7486811.
4. **Z. Sarkany**, G. Farkas and M. Rencz, "Thermal resistance measurement of discrete capacitors," 2015 IEEE 17th Electronics Packaging and Technology Conference (EPTC), Singapore, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPTC.2015.7412332.

¹The organizing committee of the conference selected this paper to win the Best Paper Award

Kutatási témákhoz közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

1. G. Farkas, D. Schweitzer, Z. Sarkany, M. Rencz, "On the Reproducibility of Thermal Measurements and of Related Thermal Metrics in Static and Transient Tests of Power Devices", *Energies*. 2020; 13(3):557. doi: 10.3390/en13030557.
2. G. Farkas, Z. Sarkany, M. Rencz, "Structural Analysis of Power Devices and Assemblies by Thermal Transient Measurements", *Energies*. 2019; 12(14):2696. doi: 10.3390/en12142696.
3. A. Vass-Varnai, Z. Sarkany, M. Rencz, "Characterization method for thermal interface materials imitating an in-situ environment", *Microelectronics Journal (0026-2692 0959-8324)*: 43 9 pp 661-668 (2012), doi: 10.1016/j.mejo.2011.06.013.
4. S. Röss, Z. Sarkany, G. Farkas and M. Rencz, "Accelerating the Thermal Transient Testing by a Novel Temperature Sensitive Parameter Calibration Method based on I-V Characteristic Measurement," 2022 28th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Dublin, Ireland, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/THERMINIC57263.2022.9950658.
5. S. Röss, Z. Sarkany, G. Farkas and M. Rencz, "On the Correction of the Effects of Electrical Transients in the Measured Thermal Transients," 2021 IEEE 23rd Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, Singapore, 2021, pp. 399-404, doi: 10.1109/EPTC53413.2021.9663887.

6. A. Poppe, A. Vass-Varnai, **Z. Sarkany**, M. Rencz, G. Hantos and G. Farkas, "Suggestions for Extending the Scope of the Transient Dual Interface Method," 2021 27th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Berlin, Germany, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/THERMINIC52472.2021.9626508.
7. B. Wunderle et al., "Transient thermal storage of excess heat using eutectic BiSn as phase change material for the thermal management of an electronic power module: design, technology, performance and reliability within a system approach," 2018 24rd International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Stockholm, Sweden, 2018, pp. 1-9, doi: 10.1109/THERMINIC.2018.8593293.
8. G. Hantos, J. Hegedus, M. C. Bein. L. Gaal, G. Farkas, **Z. Sarkany**, S. Ress, A. Poppe, M. Rencz, "Measurement issues in LED characterization for Delphi4LED style combined electrical-optical-thermal LED modeling," 2017 IEEE 19th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/EPTC.2017.8277493.
9. G. Farkas, J. Zettner, **Z. Sarkany** and M. Rencz, "In-situ transient testing of thermal interface sheets and metal core boards in power switch assemblies," 2017 23rd International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Amsterdam, Netherlands, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/THERMINIC.2017.8233799.
10. A. Szel, **Z. Sarkany**, M. Bein, R. Bornoff, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Mission profile driven component design for adjusting product lifetime on system level," 2015 International Conference on Electronics Packaging and

- iMAPS All Asia Conference (ICEP-IAAC), Kyoto, Japan, 2015, pp. 385-389, doi: 10.1109/ICEP-IAAC.2015.7111041.
11. A. Szel, **Z. Sarkany**, M. Bein, R. Bornoff, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Lifetime estimation of power electronics modules considering the target application," 2015 31st Thermal Measurement, Modeling & Management Symposium (SEMI-THERM), San Jose, CA, USA, 2015, pp. 332-335, doi: 10.1109/SEMI-THERM.2015.7100183.
 12. A. Vass-Varnai, **Z. Sarkany**, A. Szel and M. Rencz, "Simulation based method to eliminate the effect of electrical transients from thermal transient measurements," 2014 International Conference on Electronics Packaging (ICEP), Toyama, Japan, 2014, pp. 591-595, doi: 10.1109/ICEP.2014.6826748.
 13. **Z. Sarkany** and M. Rencz, "Determination of the severity of thermal stress using model data calculated from thermal transient results," 2014 Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), Cannes, France, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/DTIP.2014.7056701.
 14. **Z. Sarkany**, A. Vass-Varnai and M. Rencz, "Comparison of different power cycling strategies for accelerated lifetime testing of power devices," Proceedings of the 5th Electronics System-integration Technology Conference (ESTC), Helsinki, Finland, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/ESTC.2014.6962833.
 15. **Z. Sarkany** and M. Rencz, "Investigation of nonlinear thermal parameters of compound semiconductor devices," 2013 Symposium on Design, Test, Integration

- and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), Barcelona, Spain, 2013, pp. 1-5.
16. A. Vass-Varnai, S. Laky, **Z. Sarkany**, C. Barna and M. Rencz, "Issues of finding a proper golden-reference sample for TIM tester calibration," 29th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, San Jose, CA, USA, 2013, pp. 200-205, doi: 10.1109/SEMI-THERM.2013.6526829.
17. A. Vass-Varnai, **Z. Sarkany**, C. Barna, S. Laky, M. Rencz, "A possible method to assess the accuracy of a TIM tester" In: International conference on Electronics Packaging, ICEP 2013, Osaka, Japan, 10/04/2013-12/04/2013. Paper B11.
18. A. Vass-Varnai, B. Plesz, **Z. Sarkany**, A. Malek, M. Rencz, "Application of Thermal Transient Testing for Solar Cell Characterization" In: Proceedings of the 28th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'12). San Jose, USA, 2012.03.18-2012.03.22., pp. 162-168. 978-1-4673-1109
19. A. Vass-Varnai, **Z. Sarkany**, G. Farkas, M. Rencz, "Industrial Need for Accurate and Reproducible Measurements of Thermal Interface Materials", In: International conference on Electronics Packaging, ICEP-IAAC 2012. Tokyo, Japan, 2012.04.17-2012.04.20. Tokyo: pp. 524-531.
20. **Z. Sarkany** and M. Rencz, "Design considerations to enhance thermal testability," 2012 IEEE 14th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), Singapore, 2012, pp. 148-152, doi: 10.1109/EPTC.2012.6507068.

- 21.A. Vass-Varnai, R. Bornoff, **Z. Sarkany**, S. Ress and M. Rencz, "Measurement based compact thermal model creation - accurate approach to neglect inaccurate TIM conductivity data," 2011 IEEE 13th Electronics Packaging Technology Conference, Singapore, 2011, pp. 67-72, doi: 10.1109/EPTC.2011.6184388.
- 22.A. Vass-Varnai, V. Szekely, **Z. Sarkany** and M. Rencz, "New level of accuracy in TIM measurements," 2011 27th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, San Jose, CA, USA, 2011, pp. 317-324, doi: 10.1109/STHERM.2011.5767218.
- 23.A. Vass-Varnai, R. Bornoff, S. Ress, **Z. Sarkany**, S. Hodossy and M. Rencz, "Accurate thermal characterization of power semiconductor packages by thermal simulation and measurements," 2011 Symposium on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), Aix-en-Provence, France, 2011, pp. 324-329.
- 24.Vass-Varnai et al., "Issues in junction-to-case thermal characterization of power packages with large surface area," 2010 26th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM), Santa Clara, CA, USA, 2010, pp. 158-164, doi: 10.1109/STHERM.2010.5444299.