

ДИЗАЈН АУТОМАТИЗОВАНИХ ТЕСТ СИСТЕМА ЗА ФУНКЦИОНАЛНО
ТЕСТИРАЊЕ У СЕРИЈСКОЈ ПРОИЗВОДЊИDESIGN OF AUTOMATIC TEST EQUIPMENT FOR FUNCTIONAL TESTING IN
SERIAL PRODUCTION

Коста Босанчић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МЕРНИ СИСТЕМИ

Кратак садржај – Процеси верификације серијске производње штампаних плоча технологијом површинске монтаже. Смернице за дизајнирање аутоматске тест опреме за функционално тестирање који доводе до побољшања ефикасности и смањења трошкова у серијској производњи штампаних плоча.

Кључне речи: Серијска производња, тестирање штампаних плоча у производном процесу, аутоматизована тест опрема, тест системи

Abstract – Automated processes for verification of surface mount assembly production process. Guidelines for designing automatic test equipment that lead to improved efficiency and cost reduction in serial production.

Keywords: Serial production, verification of printed circuit boards, automatic test equipment, test systems

1. УВОД

У савременој електронској индустрији, серијска производња штампаних плоча представља сложен и вишестепени процес. У току производње штампаних плоча технологијом површинске монтаже низ машина раде повезано како би омогућили брз и аутоматизован процес производње. Производна линија састоји се од узастопних процеса: наношење пасте за лемљење, постављање компоненти, процес лемљења унутар пећи и оптичка инспекција. Технике као што су *In-Circuit*, *Flying Probe*, *Boundary Scan* и *End-of-Line* тестирање представљају кључне методе за идентификацију и исправљање потенцијалних грешака које могу настати током производње штампаних плоча.

Циљ је да се кроз анализу аспеката дизајнирања аутоматизованих тест система пружи свеобухватан преглед најбољих практичних решења и пракси које инжењери аутоматизоване тест опреме користе да би омогућили ефикасну и поуздану производњу. На тај начин, рад ће пружити свеобухватан увид у интеграцију аутоматизације у процес тестирања, чиме ће се омогућити боље разумевање изазова и решења која су неопходна за постизање високог нивоа квалитета у серијској производњи штампаних плоча.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији је ментор био др Платон Совиљ

2. МЕТОДЕ ТЕСТИРАЊА У СЕРИЈСКОЈ ПРОИЗВОДЊИ

Циљ тестирања у серијској производњи је потврда функционалности уређаја и верификација производне линије. Функционално тестирање у производњи нема за циљ верификацију дизајна, већ процес производње.

2.1. *In Circuit* тестирање

In-Circuit тестирање је кључна техника која се користи у производњи електронике како би се осигурала исправност и квалитет штампаних плоча. *In-Circuit* је дизајниран како би верификовао широк спектар грешака, укључујући кратке спојеве, отворене везе и погрешне вредности компоненти. Идентификацијом наведених проблема у раној фази производње, *In-Circuit* системи помажу у спречавању да дефектне плоче наставе да троше ресурсе. *In-Circuit* тестер се обично састоји од две главне целине: тест адаптера и аутоматске тест опреме. Тест адаптер или популарно назван "*Bad Of Nail*", састоји се од иглица које омогућују директан физички приступ тест локацијама на штампаној плочи. Аутоматизована тест опрема примењује тест векторе, прима сигнале и контролише процедуру тестирања. Тест иглице ступају у контакт са посебно одређеним тестним тачкама на штампаној плочи. Неке од ових тестних тачака се природно налазе на плочи, као што је лемна страна код *Through-Hole* компоненти. Код *Surface Mount* компоненти, потребно је предвидети и поставити тестне тачке током дизајна [1].

2.2. *Boundary Scan* тестирање

Напредак у технологији интегрисаних кола и паковању уређаја довео је до минијатуризације чипова, самим тим приступ чипу ради тестирања постао је ограничен. Да би превазишли проблеме минијатуризације група инжењера удружила је снаге како би пронашла решење тестирања сложених штампаних плоча и стандардизовала приступ тестирању. Овај приступ постао је *IEEE* стандард 1149.1. познатији као *Boundary Scan*. Увођењем *Boundary Scan*-а долази до смањења броја тестних тачака потребних на штампаној плочи, што резултира једноставнијим дизајном и мањим трошковима за израду тест адаптера, смањењем времена или потенцијално елиминисањем *In-Circuit* тестирања. За *Boundary Scan* тестове у чипове се додаје посебна логика која се састоји од *Boundary Scan* хелије и регистра а њима се приступа преко *Test Access Port*

a. *Boundary Scan* ћелија се поставља између *core* логике и портова. У нормалном режиму, ове ћелије не утичу на стање порта, већ је *core* логика та која управља стањем на порту. У *Boundary Scan* режиму, *core* логика је изолована од порта а сигнали портова се контролишу преко *JTAG* интерфејса. *Boundary Scan* ћелије су повезане са серијским *shift* регистром који се користи за читање и уписивање стања на портovima [2].

2.3. End-of-line тестирање

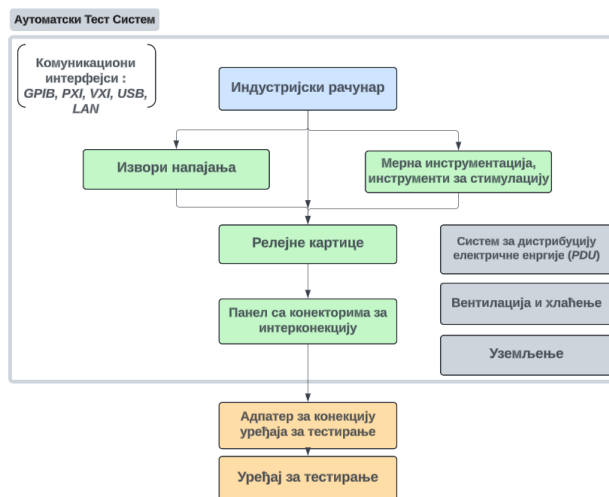
End-of-Line тестирање је кључна фаза у производном процесу, готови производи пролазе кроз свеобухватно тестирање како би се осигурало да испуњавају захтеве спецификација и стандарде квалитета пре него што буду испоручени купцима. Ова фаза тестирања проверава да ли производ правилно функционише, да ли је правилно састављен и да ли испуњава све перформансе и безбедносне критеријуме. Примарни циљ *End-of-Line* тестирања је потврда да је комплетан процес производње прошао без грешака и да сваки готов производ функционише по спецификацијама. Типичан *End-of-Line* тест укључује низ провера и мерења како би се потврдила функционалност и квалитет производа. Тачне компоненте *End-of-Line* процеса могу варирати у зависности од врсте производа, али неки од уобичајених елемената укључују: аутоматизована тест опрема, процедуре пре започињања функционалног тестирања, функционално тестирање, тестирање перформанси и процедуре након завршетка тестирања [3].

3. СМЕРНИЦЕ ТОКОМ ДИЗАЈНА АУТОМАТИЗОВАНИХ ТЕСТ СИСТЕМА

Аутоматизована тест опрема или тест систем је сет подсистема који заједно функционишу како би тестирали одређени уређај или групу уређаја. Начин на који ови подсистеми комуницирају и међусобно се повезују значајно утиче на трошкове, перформансе, одржавање и употребљивост целокупног система. Из тог разлога, потребно је посветити време прецизно дефинисању архитектуре система од самог старта. На слици 1 приказана је архитектура генеричког аутоматизованог тест система.

Избор архитектуре тест система зависи од тога да ли је планирано да дизајнирани систем буде коришћен у производњи са великим обимом произведених уређаја, где је циљ да се тестови изврше за што краће време или у сврху валидације дизајна током развоја где је потребно прилагодити се честим променама дизајна а брзина извршавања теста није од суштинског значаја. Приликом избора архитектуре потребно је одабрати *rack-and stack* или *card-cage* инструменте или одабрати хибридну архитектуру.

Rack-and-stack инструменти су самостални тестни уређаји који се могу користити независно. У тестним системима, често се слажу у орман (енг. *rack*, одакле и потиче назив) како би се уштедело на простору.



Слика 1. Архитектура аутоматизованог тест система

Са друге стране *card-cage* инструменти представљају интегрисане системе где се различите функционалности комбинују унутар заједничке картиц структуре. Ипак, најчешћи избор је комбиновање оба типа инструмената у хибридну архитектуру. Ова комбинација омогућује максималну флексибилност и функционалност, јер *card-cage* систем пружа интегрисану модуларну архитектуру, док *rack-and-stack* инструменти доприносе додатним могућностима кроз самосталне уређаје [4, 5].

3.1. Индустриски рачунар

За програмирање и контролу извршавања секвенци на аутоматизованом тест систему у већини случајева користи се индустриски рачунар који мора да задовољи критеријуме као што су велика процесна снага, различити типови комуникационих протокола као што су *GPIO*, *LAN*, *USB* итд. *GPIO* је дуго био стандардни интерфејс за повезивање мерних инструмената са рачунарима и омогућавање њихове програмабилне контроле. Иако *GPIO* остаје честа и корисна технологија, савремени рачунари често долазе са интегрисаним *LAN* и *USB* портovima, што је учинило и ове комуникационе протоколе индустриским стандардима [5,6].

3.2. Извори напајања

DC извор напајања је инструмент који служи да обезбеди једносмерни напон или струју уређају који тестирамо. Да би олакшали процесе тестирања, програмибилни извори напајања имају могућност повезивања са рачунаром преко различитих комуникационих протокола као и могућности мерења напона или струје на излазима. Два главна типа извора напајања су линеарна и прекидачка (енг. *switching*). Приликом избора напајања за тест систем, битно је узети у обзир конкретну примену. У зависности од примене, тестирани уређај може захтевати снагу од неколико миливата до више киловата. При избору извора напајања за тест систем потребно је водити рачуна о следећим карактеристикама: број потребних излаза, време стабилизације (енг. *Rise time and settling time*), излазни шум, брзина програмирања, брзина одговора на промене оптерећења (енг. *Transient*

response), могућности компензације пада напона у ожичењу (енг. *remote sensing*), заштите од високог напона или струје, уграђене могућности мерења итд.

Време пораста и време стабилизације су кључни показатељи способности напајања да достигне жељени ниво напона и стабилизује се. Конкретно, време пораста је време потребно да излаз напајања пређе са 10% на 90% подешене излазне вредности. Време стабилизације се описује као време потребно да се излазни напон стабилизује у оквиру одређеног процента своје коначне вредности, укључујући и време пораста.

Обзиром да проводници нису савршени и да у пракси чак и проводници направљени од материјала као што је бакар имају одређени отпор, у тест системима где се користи велики број жица за конекцију инструмената и уређаја који се тестирају долази до пада напона кроз жице, нарочито ако су у питању велике струје. На тај начин долази се у ситуације да је стварни напон на улазима уређаја за тестирање мањи од напона програмираног на извору напајања. За елиминацију ефекта пада напона на проводницима, потребно је користити методу познату као четворожичну (или Келвинову) технику. Основни принцип ове технике је коришћење одвојеног пара проводника за мерење напона на тестном уређају уз услов да кроз те проводнике не протиче струја.

Електрично оптерећење је програмабилни инструмент који кориснику нуди различите режиме рада као што су: константни напон, константа струја, константни отпор или константна снага. Електрично оптерећење је ефикасно решење за тестирање уређаја уместо коришћења фиксних вредности отпорника. Фиксни отпорник отежава аутоматизацију и симулирање стварног окружења уређаја који тестирамо као и прилогађавање променама у захтевима тестирања. Уколико се у току циклуса рада тест система јави захтев за променом вредности отпорности оптерећења, морали би физички променит отпорник. Електрична оптерећења су доступна у различитим димензијама, пружају велику флексибилност омогућавајући симулирање различитих нивоа и профила оптерећења и смањују трошкове тестирања [7].

3.3. Мерна инструментација

Мерни инструменти и инструменти за стимулацију који се користе у аутоматским тест системима одређени су функционалним и параметрисјким тестовима које је потребно извршити у току валидације уређаја који тестирамо. Потребно је анализирати све улазе и излазе на уређају, одредити тип тестова и мерења која су потребна за сваки појединачно и забележити потребну тачност и резолуцију мерења. Најчешћи мерни и стимулативни инструменти који се користе у аутоматским тест системима јесу дигитални мултиметри, осцилоскопи, сигнал генератори и *Data Aquisition* картице. Мерна и стимулативна инструментација се углавном бира у виду *cardcage* инструмената базираних на *PXI* архитектури. Главни разлог за одабир *PXI* инструмената је модуларност и скалабилност [5,6].

3.4. Релејни систем

Прекидачи или релеји који међусобно повезују инструменте система и оптерећења са уређајем који се тестира представљају саставни део већине аутоматизованих тест система. Одабир одговарајуће врсте и топологије прекидача знатно утиче на трошкове, брзину, дуговечност и укупну функционалност аутоматског тест система. Основни типови релеја који се користе у изградњи аутоматских тест система су електромеханички релеји, *reed* релеји и *solid state* релеји.

Топологије релеја могу се поделити у три категорије: једноставне релејне конфигурације (енг. *General purpose relays*), мултиплексери и матрице. Одабир топологије за дизајн тест система зависи од броја инструмената који се користе, броја тест тачака на уређају, броја потребних истовремених конекција и потребне брзине тестирања. Организовање релеја у мултиплексер конфигурацију омогућује да се један улаз повеже на више излаза или обрнуто. Ова конфигурација је ефикасна уколико је потребно омогућити повезивање једног инструмента на више пинова уређаја који се тестира. Матрица има колоне и редове са релејем на сваком пресеку, што омогућује да се повежу сигнали између колона, колоне и реда, као и између редова [7].

Најчешћа архитектура тест система се базира на коришћењу комерцијално доступних релејних решења и назива се још централизована релејна архитектура. Ови инструменти углавном долазе у облику *card-cage VXI* или *PXI* архитектуре и постављају се у орман тест система. На овај начин се знатно штеди време потребно за развој система и добија се на флексибилности. Мана овог приступа је повећана количина ожичавања тест система, а велика количина каблова може да изазове проблеме код осетљивих мерења.

Друга опција, уколико је потребно смањити количину жица унутар тест система и план за тестирање захтева већу прецизност мерења јесте да се систем релеја изведе унутар тест адаптера. Сигнали са мерних инструмената преусмеравају се на тест пинове уређаја за тестирање помоћу релеја постављених на штампану плочу постављену унутар тест адаптера. За реализацију овог типа повезивања потребно је додатно обезбедити могућност управљања релејима [6,8].

3.5. Систем за дистрибуцију електричне енергије

Инфраструктура напајања аутоматизованог тест система веома се разликује од уобичајених конфигурација напајања. Обзиром да се тестни системи састоје од више компоненти, захтевају сложеније системе напајања како би се осигурало да сваки део система добије потребну енергију. Тест системи из тог разлога користе јединице за расподелу напајања (енг. *Power Distribution Unit, PDU*) како би обезбедили да сва опрема у систему добија одговарајуће напајање. У току дизајна тест система потребно је израчунавати укупну струју појединачних инструмената и уверити се да главно напајање испуњава те захтеве. Уколико једнофазна линија

напајања не испуњава захтеве, потребно је прећи на трофазно. У случају коришћења три фазе, неопходно је уверити се да инструменти у систему равномерно деле напајање са све три фазе [5,6].

Обзиром да се у току тестирања може десити да дође до губитка струје, пада напона или других кварова, заједно са јединицом за расподелу напајања у тест системима користе се извори непрекидног напајања. Њихова улога је осигурање да критичне компоненте у систему добију непрекидну енергију када дође до проблема са напајањем. У аутоматским тест системима углавном се користе два типа непрекидних напајања *Line interactive UPS* и *Double Conversion UPS*. Извори непрекидног напајања базирани на принципу рада *double conversion* методе представљају бољи избор за аутоматизовану тест опрему зато што у случају било какве грешке, време одзива уређаја је суштински непостојеће и напон на излазу је стабилан у случају губитка напона на главној линији [9].

3.6. Панел за интерконекцију

Панел за интерконекцију је кључни елемент савременог аутоматизованог тест система и представља механички носач дизајниран да олакша повезивање великог броја сигнала на тест систему. Помоћу панела за интерконекцију стандардни тест системи имају могућност да тестирају више различитих уређаја. Главне компоненте од којих се састоји панел за интерконекцију је стандардни интерфејс адаптер (енг. *Interface connector adapter, ICA*), више интерфејсних тест адаптера (енг. *ITA*) који омогућавају брзу и једноставну адаптацију тест система различитим уређајима за тестирање и конектора.

ICA је уобичајено монтирана на предњој страни тест система, на тест орману, и служи као оквир на који се позиционирају конектори са којима се врши оживљавање тест система са ресурсима као што су релејне картице, мерна инструментација и извори напајања. ITA је оквир на који се монтирају конектори који врше конекцију са уређајем за тестирање. Уобичајено се купује више ITA оквира, по један за сваки тип уређаја који се тестира [6, 10].

Virginia Panel Corporation (VPC) и *MAC Panel* су компаније специјализоване за производњу система за повезивање и интерконекцију у тестним окружењима, са посебним фокусом на висококвалитетна и поуздана решења за производне и лабораторијске примене

7. ЗАКЉУЧАК

Аутоматизација тестирања представља кључни фактор у осигурању високог квалитета и поузданости финалних производа, нарочито обзиром на све већу сложеност савремене електронике и растуће захтеве тржишта. Технике тестирања које се примењују на плочама пре њихове финалне монтаже омогућују рано откривање потенцијалних грешака у производном процесу, чиме се значајно смањују губици, који су тим већи што се грешке касније уоче.

У раду је посебно истакнут значај правилног дизајна аутоматизованих тест система, укључујући избор адекватних инструмената, рачунарске опреме и

комуникационих протокола, што обезбеђује флексибилност и ефикасност производног процеса. Да би се обезбедила флексибилност потребно је детаљно анализирати захтеве које тест систем треба да испуни и правилно одабрати опрему која задовољава критеријуме тест плана али исто тако и предвидети могућности добијања нових захтева или редизајнирања тест система за нове производе. У погледу ефикасности, потребно је на основу обима производње и захтева за прецизност мерења одабрати инструменте који најефикасније извршавају дефинисане задатке.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Charles Gallagher, Therese Lawlor-Wright, "A review of PCB design for In-Circuit testability guidelines and systems", *Journal of Electronics Manufacturing*, Vol. 5, No. 3 (September, 1995) 175-181
- [2] "Boundary Scan User's Guide", *Lauterbach Development Tools Release 02.2024*.
- [3] "What is End-of-Line Testing In Manufacturing?", Encida, <https://encida.com/blog/what-is-end-of-line-testing> (29.09.2024.)
- [4] H. Alper Toku, "Developing New Automatic Test Equipments (ATE) using Systematic Design Approaches", *Test Engineering Dept., Defence Systems Technologies Div.*
- [5] "Test-System Development Guide- A comprehensive Handbook for Test Engineers", *Agilent Technologies*
- [6] National Instruments, "Designing Automated Test Systems - A Practical Guide to Software-Defined Test Engineering"
- [7] *Keysight Technologies*, "The Power Handbook, A Guide for Test and Measurement Power Applications 2nd Edition"
- [8] R. Hooper, "Optimal switching architecture for Automated Test Equipment" 2011 *IEEE AUTOTESTCON, Baltimore, MD, USA, 2011*, pp. 423-427, doi: 10.1109/AUTEST.2011.6058761
- [9] M. S. Racine, J. D. Parham and M. H. Rashid, "An overview of uninterruptible power supplies", *Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium, 2005., Ames, IA, USA, 2005*, pp. 159-164, doi: 10.1109/NAPS.2005.1560518
- [10] "Mass interconnect for VXIbus Systems", https://www.artisanag.com/info/Keysight_Agilent_E3730A_Datasheet_20224893739.pdf?srsltid=AfmBOorGNplbQ0ZKY1W5NrylbuOFhySyPpNRd8YiwL80xqgk4fDhAfjz

Кратка биографија:



Коста Босанчић рођен је у Кикинди 1994. године. Од 2019. године ради као инжењер аутоматске тест опреме у аутомобилској индустрији. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Мерни Системи – Дизајн аутоматских тест система за функционално тестирање у серијској производњи одбранио је 2024. године. контакт: kosta_994@hotmail.rs