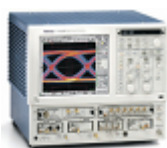


Časovo rozlíšená reflektometria

Bernát Marián · Elektrotechnika, Študentské práce

08.08.2011



V práci sa zaoberáme časovo rozlíšenou reflektometriou a možnosťami využitia tejto metódy na rozličné účely. Prvým cieľom práce si bolo osvojiť problematiku TDR, princíp merania, prácu s jednotlivými prístrojmi a aj prácu na danom software pre zobrazenie a výpočet meraných priebehov. Zároveň sme si dali za cieľ získané poznatky využiť na zmeranie elektrických prvkov a ich základných parametrov.

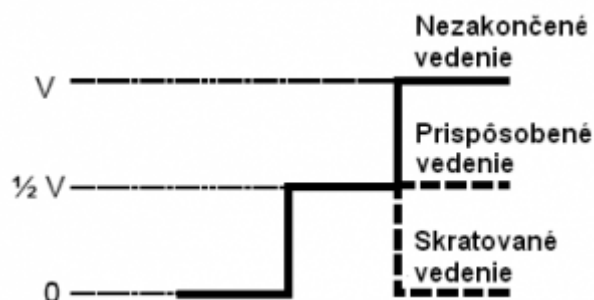
1. Úvod

Pri meraní alebo detekovaní rôznych zapojení alebo zariadení sa kladie doraz hlavne na rýchlosť a presnosť merania. Taktiež je potreba zmerať mnohé parametre v závislosti od času. A práve meranie v čase robí metódu merania TDR vhodnou metódou, ktorá je nápomocná pri vyšetrovaní obvodov alebo napríklad vedení.

2. Časovo rozlíšená reflektometria

TDR je meracia metóda skúmajúca priebeh skokového pulzu, ktorý sa odrazil od určitého meraného objektu pripojeného k vedeniu. Meranie TDR sa začína vyslaním skokového pulzu do vyšetrovaného vedenia alebo meraného prvku, a následného pozorovania odrazeného impulzu na konci vedenia od testovaného prvku alebo zariadenia.

Ak je vedenie ukončené záťažou o veľkosti charakteristickej impedancie, potom je energia pulzu absorbovaná záťažou a nedochádza k odrazu pulzu na záťaži (obr. 1). Ak je vedenie bez záťaže, teda pulz je vyslaný do nezakončeného vedenia („open“), potom sa tento pulz celý odrazí naspäť. Naopak ak je vedenie zakončené skratom („short“), potom sa odrazená vlna odrazí ale s opačnou polaritou. Akékoľvek nespojitosti impedancie spôsobia zmenu veľkosti odrazeného signálu [2].

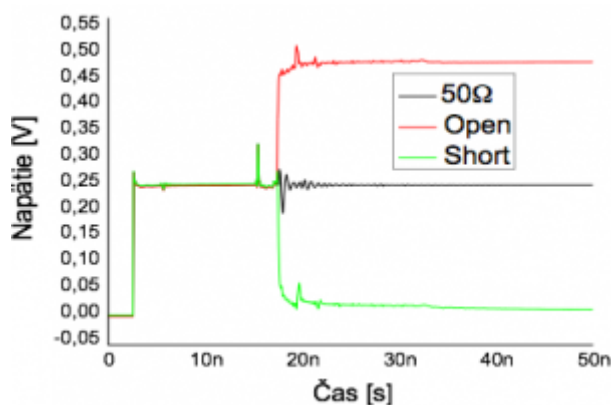


Obr. 1. Tri typy priebehov vyslaného a odrazeného pulzu [1].

Vyšetrovanie parametrov odrazeného pulzu spočíva v analýze oneskorenia, tvaru a stanovení doby trvania odrazeného pulzu. Z výsledného priebehu možno zistiť rôzne nespojitosti mikrovlnného vedenia, určiť typ rôznych porúch na vedení, stanoviť charakteristickú impedanciu vedenia, alebo meraného prvku alebo obvodu pripojeného k vedeniu. Vzdialenosť zdroja generovaného pulzu od miesta odrazu môže byť určená z času, ktorý uplynie od vyslania po návrat odrazeného pulzu.

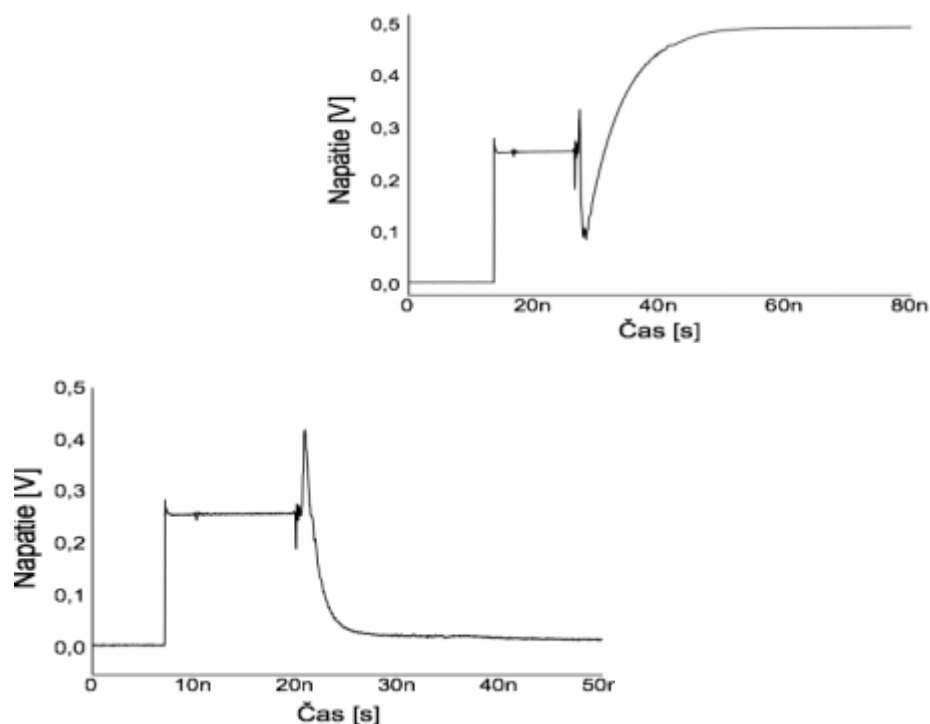
Takýto postup merania, kedy sa využíva časová linka, berie do úvahy všetky vplyvy systému, akými sú geometria prvku a elektrické vlastnosti, vrátane účinkov prenosovej linky. Preto sa TDR používa na analýzu elektrických alebo prenosových vedení, charakterizáciu a lokalizáciu poruchy na vedeniach (napríklad krútené páry vodičov, koaxiálne káble...), k meraniu neprispôsobenia v konektore, v integrovaných obvodoch alebo na doskách plošných spojov.

Príklad nameraného impulzu pri TDR metóde je na obr. 2. Skokový pulz je vygenerovaný v čase 5ns. Odrazený pulz prichádza na vstup v čase 17 ns, pričom charakter odrazenej vlny závisí od konkrétnej záťaže. Pri 20 ns má už odrazená vlna daný charakter, zatiaľ čo pri zhodnej impedancii prvku a vedenia v tomto prípade $50\ \Omega$ je vyslaný pulz bez odrazu a je absorbovaný ako to vidno na obr.2.



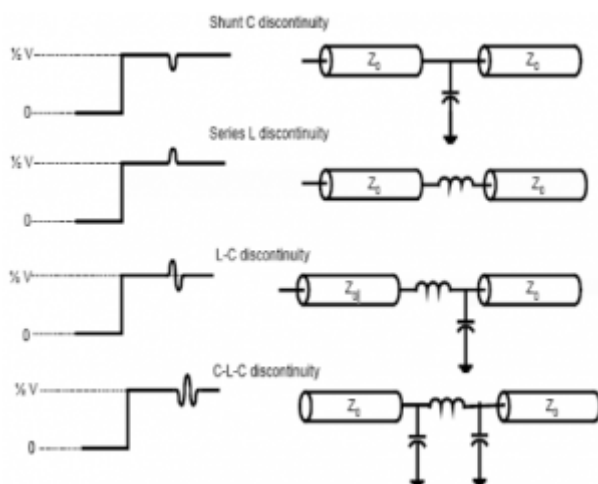
Obr. 2. Nameraný priebeh generovaného a odrazeného pulzu pri nezakončenom vedení, zakončení vedenia konektorom s impedanciou $50\ \Omega$ a zakončení skratom.

Podľa tvaru odrazených vln sme ďalej schopní zistiť, či záťaž má kapacitný alebo indukčný charakter. V prípade kapacitnej záťaže (obr. 3a) sa kapacitor najprv správa ako skrat na vedení, a postupne ako sa nabíja, rastie jeho impedancia a zvyšok energie pulzu sa odráža späť na vstup vedenia. V prípade indukčnej záťaže (obr. 3b) má induktor najprv vysokú impedanciu, takže časť energie pulzu sa odráža na vstup vedenia, ale postupne jeho impedancia klesá a chová sa ako skrat.



Obr. 3. Namerané priebehy odrazených pulzov: a) na kondenzátore, b) na cievke.

Tieto limitné prípady sa v praxi vyskytujú v rôznych kombináciách. Napríklad výskyt striedania kapacitných a indukčných charakterov v odrazenej vlne nám hovorí, že sa nachádza v meranom obvode kapacitná a indukčná záťaž (obr.4.). Z usporiadania a polohy týchto charakterov určujeme typ výslednej nespojitosti zložených prvkov alebo vedenia. Môže to byť napríklad L-C nespojitosť, kedy má odrazená vlna najprv skratujúci a vzápätí nabíjajúci sa charakter (obr.4.) čo nám značí prítomnosť cievky a kondenzátora.



Obr. 4. Typy priebehov odrazených pulzov pri rôznych zapojeniach kondenzátora a cievky k vedeniu [1].

3. Meracie pracovisko

Metóda TDR si v podstate vyžaduje rýchly osciloskop (GHz) vrátane rýchleho vzorkovacieho modulu a ochranných modulov a rýchly generátor skokových pulzov. Nároky na **osciloskop** pri meraní TDR sú oproti bežným osciloskopom pomerne vysoké. Jedny z nich sú veľká šírka pásma, snímanie vysokorýchlostných signálov a rozšíriteľnosť modulárnej architektúry. Na pracovisku je v súčasnosti k dispozícii

vzorkovací osciloskop DSA 8200.



Obr.5. Vzorkovací osciloskop DSA8200 [3].

Kvôli svojej rýchlosti a schopnosti zobrazíť signály s vysokou frekvenciou a krátkymi dobami nábehu je tento osciloskop vhodný na meranie metódou TDR. Taktiež vďaka kompatibilitate možno tento osciloskop rozšíriť o ďalšie prídavné moduly, čo ho robí ešte viac nápomocný pri meraní touto metódou [3].

Moduly 80E02 sú dvojkanálové **vzorkovacie moduly** poskytujúce veľmi krátke nábežné hrany 12-15 ps [4]. Vďaka výberu polarity každého kanála nezávisle od seba a generovaných pulzoch pre každý kanál osobitne je možnosť merať a porovnávať rozličné zariadenia. To znamená možnosť merať diferenciálne TDR alebo S-parametre dvoch liniek alebo iných systémov.



Obr.6. Vzorkovacie moduly 80E02 [4].

Ochranné moduly 80A02 elektricky chránia vstupné vzorkovacie moduly osciloskopu pred rôznymi elektrickými vplyvmi, napr. elektrostatickým prierazom vzorkovacích prvkov [5].



Obr.7. Ochranný modul 80A02 [5].

Pre analýzu a vyhodnotenie nameraných priebehov metódou TDR sme použili IConnect® TDR Software. Tento **softvér** poskytuje kompletne riešenie pre meranie TDR a to napríklad: analýzu a lokalizáciu porúch alebo meranie impedančného profilu. Software nám ďalej umožňuje meranie náhradných obvodov a modelov, ktorým zodpovedajú odrazy a straty vo vysokorýchlostnom prepojení. Vďaka tomuto si môžeme navrhnuť nami požadovaný obvod a vyšetriť alebo overiť jeho parametre akými sú vstupná kapacita a indukčnosť modelov ich prepojenia, eye-diagramu alebo frekvenčných parametrov na doske plošných spojov, zásuviek, konektorov a vedení [6].

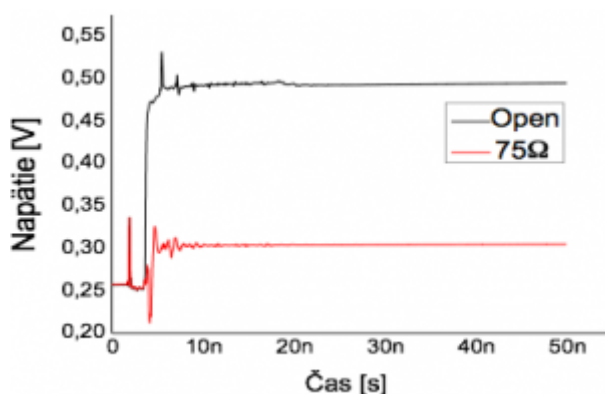
4. Výsledky a diskusia

Metódou časovo rozlíšenej reflektometrie sme zmerali priebehy pulzov odrazených od základných elektrických prvkov, ako napr. konektor, kondenzátor a cievky. Tieto priebehy sme ďalej spracovali v softvérovom balíku pre analýzu priebehov a určili sme impedančný profil, vstupnú kapacitu a indukčnosť týchto prvkov.

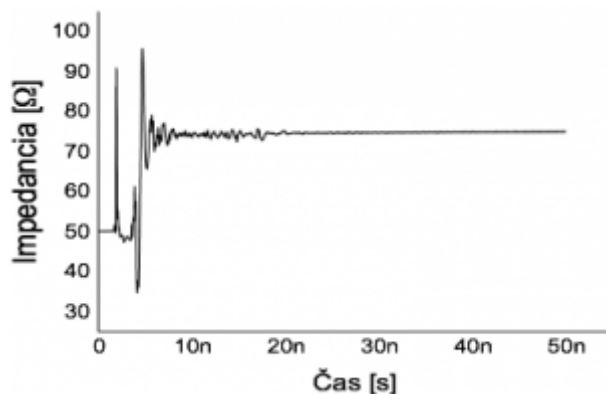
4.1. Impedančný profil (Z-line)

Impedančný profil je charakteristická impedancia systému a je definovaná ako funkcia vzdialenosti alebo času. Impedančný profil sa môže vyšetrovať v testovacích obvodoch, kde sa vyskytujú viacnásobné impedancie, a kde je potrebné určiť výsledný impedančný profil obvodu. Impedancia môže byť zobrazená v závislosti na čase alebo fyzickej vzdialenosti, ktorá môže byť využitá pre rôzne aplikácie napríklad analýzu porúch vedení. Meranie impedancie daného obvodu spočíva v porovnávaní odrazeného pulzu od obvodu s odrazeným pulzom od nezapojeného prvku.

Ak je testovaný obvod alebo prvok (DUT-device under test) bez záťaže čiže pulz dosiahne otvorený koniec znamená to, že napätie vystúpi približne na 500mV [8]. Pri akejkoľvek inej záťaži bude mať odrazená vlna určitý priebeh, ktorý sa porovnáva s týmto referenčným priebehom. Na obr. 10 je nameraný priebeh odrazu od konektora s ohmickou záťažou 75Ω . Použitím softvérového balíka IConnect® TDR Software sme vypočítali impedančný profil konektora. Tento softvér stanovil hodnotu prvku na 75.2Ω (obr.9.), čo je v zhode s údajom uvedeným na konektore. Na obr. 9 tiež vidieť dva veľmi krátke impulzy, ktoré zodpovedajú zvýšenej impedancii na konektorových prechodoch meracej sústavy. Tieto pulzy sa nachádzajú v časovom rozmedzí 3 až 7 ns.



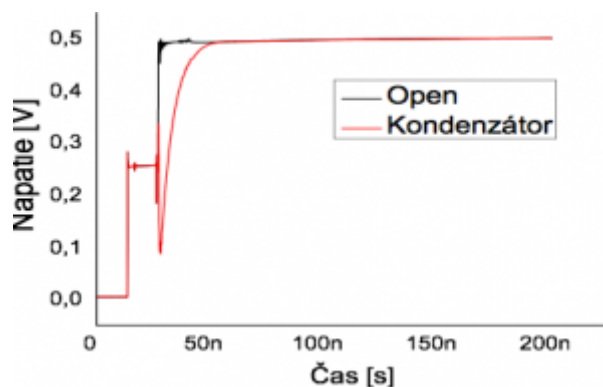
Obr.8. Odrazený pulz od konektora s ohmickou záťažou 75Ω a pulz odrazený na nezakončenom vedení.



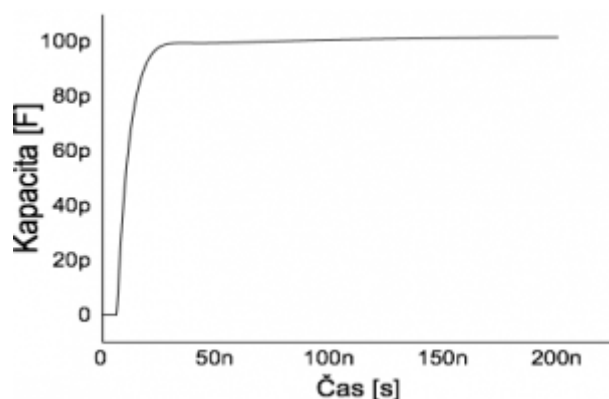
Obr.9. Vypočítaný impedančný profil konektora.

4.2. Vlastná kapacita

Toto meranie sa používa na zisťovanie kapacity konektora, aktívneho zariadenia, integrovaného obvodu alebo dosky plošného spoja. Táto technika je založená na porovnávaní odrazeného priebehu od daného zariadenia s ideálnym stavom (referenčný priebeh) v tomto prípade je to otvorený okruh teda zariadenie, ktoré nie je zapojené (obr. 10). Z tohto dôvodu je nevyhnutné, aby obe merania boli zmerané pri rovnakých podmienkach čiže rovnakých dobách nábehu, a ďalej aby krivky dosahovali hodnoty rovnovážneho stavu za účelom získania presných výsledkov [7].



Obr.10. Priebeh odrazeného pulzu od kondenzátora a na nezakončenom vedení.

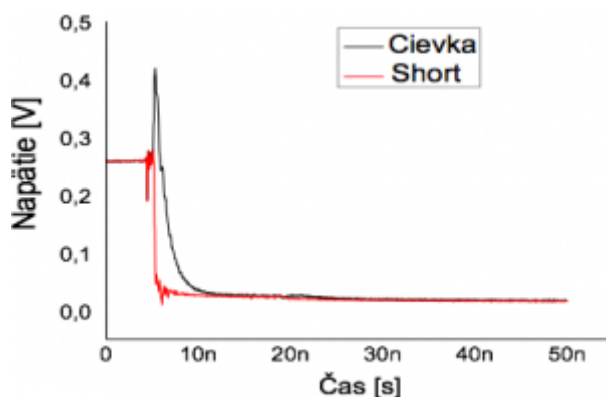


Obr.11. Kapacita kondenzátora s nominálnou hodnotou 100pF, vypočítaná z priebehov odrazených pulzov.

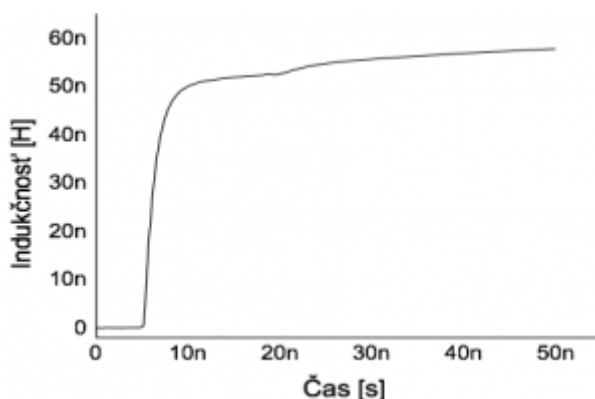
4.2. Meranie indukčnosti

Pri meraní indukčnosti sa porovnáva taktiež odrazený priebeh daného zariadenia s referenčným priebehom. Referenčný priebeh je priebeh, ktorý sa zobrazuje pri skrate

(Short) (obr.12.).



Obr.12. Priebeh odrazeného pulzu od vzduchovej cievky a priebeh odrazeného pulzu od skratu.



Obr.13. Výsledný priebeh indukčnosti cievky, ktorá sa blíži k hodnote 58 nH.

Výsledný vypočítaný priebeh indukčnosti sa skladá z dvoch pulzov (obr 13.) čo v skutočnosti znamená dve zložené cievky.

4.4. Využitie TDR

Metóda merania TDR je základným nástrojom analýzy porúch vysokofrekvenčných dosiek plošných spojov, ktorých signály napodobňujú prenosové linky. Tým, že sa sledujú odrazy, môže sa detekovať každý skrat, studený spoj alebo iná nespojitosť v sieťových zariadeniach. Princíp TDR je používaný aj v priemyselných meraniach v situáciách, kde je potrebné rôznorodé testovanie napríklad integrovaného obvodu a správnosť zapojenia pinov alebo meranie priemyselných zberníc.

Metóda TDR sa používa aj na overenie vlastností vedení (impedancií, porúch...), konektorov, ich spájanie a umiestnenie pozdĺž vedenia a súvisiace straty. TDR možno okrem merania impedančnej charakteristiky taktiež aplikovať aj na meranie kapacity, indukčnosti, S-parametrov a na stanovenie parametrov modelov rôznych obvodov a prvkov pre počítačovú simuláciu [7].

6. Záver

Cieľom tejto práce si bolo osvojiť poznatky týkajúce sa meracej metódy časovo rozlíšenej reflektometrie, ich využitiu na základné merania a spracovania týchto signálov v príslušnom software. Zamerali sme sa na základné merania impedančných profilov, kapacity a indukčnosti. Nameranými výsledkami sme stanovili základné

parametre jednotlivých prvkov a taktiež nám tieto výsledky potvrdili presnosť a široké spektrum využitia tejto metódy.

Podakovanie

Táto práca vznikla s podporou projektov VEGA 1/716/09 a 1/0866/11. Projekt bol tiež podporený z projektu SMART II, ITMS kód 26240120029, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci OP Výskum a vývoj.

Literatúra

1. <http://www.t11.org/ftp/t11/member/fc/pi-2/01-308v0.pdf>
2. <http://www.d.umn.edu/~jevans1/research/agilent%20app%20note%20on%20theory%20of%20tdr.pdf>
3. <http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&ci=13581&cs=psu&lc=EN>
4. <http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&ci=13571&cs=psu&lc=EN>
5. <http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&cs=psu&ci=13576&lc=EN>
6. http://www.imex.co.uk/files/u3/iconnectandmeasurextractor_pdf_30929.pdf
7. www.gigaprobestek.com/images/Draft_Cin_measurement.doc

Spoluautorom článku je prof. Ing. Alexander Šatka, CSc., Katedra mikroelektroniky Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Mikroelektronické systémy, ISBN 978-80-227-3508-7
