

# DIELECTRIC RELAXATION IN PCB'S SUBSTRATES

**Jan Ježík**

Master Degree Programme (1), FEEC BUT  
E-mail: xjezik01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Běťák

E-mail: p.betak@centrum.cz

## ABSTRACT

This paper examines three different types of printed circuit boards by using dielectric spectroscopy method in the frequency and time domain in order to describe dielectric relaxation in their substrates. Dielectric relaxation in PCB's distinctively affects current stabilization time during extremely fast measurements (using voltage up to 600 V) of small currents (about 150 nA). The Hamon approximation is implemented to transform the time domains dielectric responses data into the frequency domain so the results of the time domain spectroscopy can be comparable with the results of the frequency domain spectroscopy.

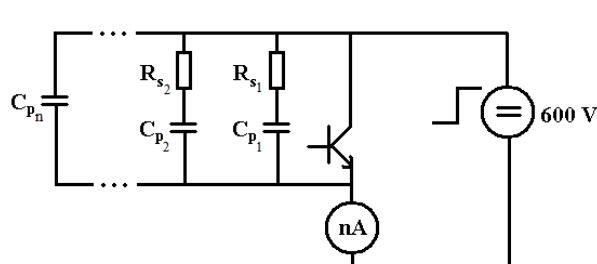
## 1. ÚVOD

Firma UNITES Systems a.s. z Valašského Meziříčí se zabývá vývojem a výrobou extrémně rychlých a přesných testerů diskretních polovodičových součástek, převážně tranzistorů. Testery mají být zařazovány na konec výrobního procesu jako výstupní kontrola každého vyrobeného tranzistoru. Tester musí otestovat až 60 000 tranzistorů za hodinu, přičemž u každého z nich musí provést průměrně 30 testovacích kroků (30 parametrů tranzistoru). Z toho vyplývá, že na jeden testovací krok připadá doba 2 ms. V průběhu vývoje se ale ukázalo, že měření zbytkových proudů ICEO, ICBE, a IEBO trvá asi desetkrát déle. Byl vysloven předpoklad, že zpomalení v tomto testovacím kroku je způsobeno dielektrickou relaxací v substrátech desek plošných spojů použitých pro konstrukci testeru.

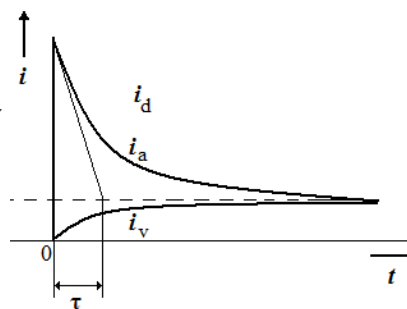
## 2. ROZBOR

Měření zbytkových proudů se provádí napětím až 600 V podle toho, jaký typ tranzistoru je testován. Obrázek 1 zachycuje náhradní schéma měřicí soustavy, které respektuje vliv parazitních kapacit. Na obrázku 2 lze vidět charakteristický průběh proudu protékajícího soustavou po připojení měřicího napětí. Je vidět, že proud skokem vzroste na hodnotu danou stejnosměrným napětím zdroje a sériovým odporem celé soustavy. Následně proud exponenciálně klesá na hodnotu zbytkového proudu tranzistoru. V oblasti exponenciálního poklesu dochází k nabíjení parazitních kapacit. Průběh lze popsat rovnicí (1), ve které  $U_0$  představuje velikost měřicího napětí,  $R$  je hodnota sériového odporu soustavy a  $\tau$  je tzv. relaxační doba dielektrika, které tvoří parazitní kapacity.

$$i_d(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$



**Obrázek 1:** Náhradní schéma měřicí soustavy



**Obrázek 2:** Graf proudu soustavou

Velikost relaxační doby  $\tau$  udává, jak rychle bude proud klesat k hodnotě zbytkového proudu. Čím nižší je relaxační doba daného dielektrika, tím strmější je exponenciální pokles. Elektronika testeru je v současné době osazena na standardních deskách typu FR4, jejichž základem je skelná tkanina zpevněná epoxidovou pryskyřicí. Epoxidová pryskyřice je makromolekulární látka, která je zdrojem pomalých relaxačních polarizací uvnitř materiálu. Velké molekuly epoxidu se po vložení do elektrického pole velmi pomalu polarizují, což je příčinou dlouhé doby potřebné k nabití rozptýlených parazitních kapacit. Po připojení měřicího napětí musí tester čekat i několik desítek milisekund, dokud nedojde k polarizaci všech molekul nacházejících se v blízkosti vodičů s měřicím napětím. Dokud totiž nejsou všechny molekuly polarizovány, soustavou protéká parazitní nabíjecí proud.

### 3. MĚŘENÍ

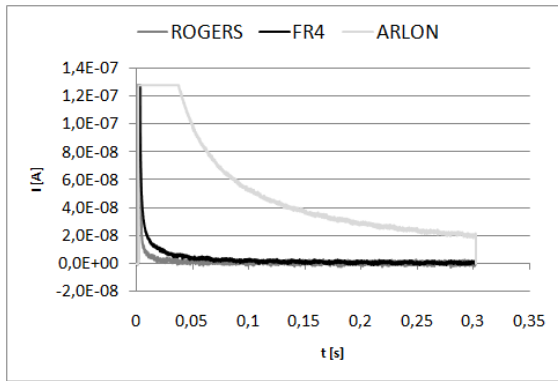
Při hledání vhodného typu základního materiálu desek plošných spojů, který by po použití v testeru umožnil minimalizaci doby potřebné k ustálení proudu, bylo zapotřebí prozkoumat nabíjecí charakteristiky různých typů desek plošných spojů. Za tímto účelem byly vyrobeny tři vzorky z různých materiálů:

- Běžný materiál typu FR4
- Vysokofrekvenční materiál 2TN od firmy ARLON
- Teflonový materiál RO4000 od firmy ROGERS

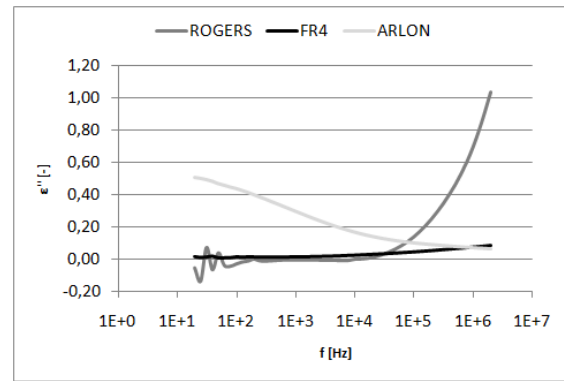
Tyto vzorky byly podrobeny měření metodou dielektrické relaxační spektroskopie v časové i frekvenční oblasti za pomoci samotného testeru a přesného RLC-metru Agilent E4980A. Měření v časové oblasti spočívá ve sledování proudu protékajícího vzorkem po připojení stejnosměrného napětí a přímém posouzení doby, za kterou dojde k poklesu nabíjecího proudu na nulovou hodnotu. Ve frekvenční oblasti se sleduje průběh imaginární části komplexní permitivity. Převrácená hodnota frekvence, na které dosahuje imaginární část komplexní permitivity svého maxima, je rovna relaxační době dielektrika  $\tau$ . Čím vyšší je tedy frekvence, na které nabývá  $\epsilon''$  maximální hodnoty, tím nižší je relaxační doba.

Na obrázku 3 a obrázku 4 jsou zobrazeny výsledky měření nabíjecího proudu v časové oblasti, resp. výsledky měření  $\epsilon''$  ve frekvenční oblasti. Obrázek 5 pak ilustruje úspěšnost transformace z časové do frekvenční oblasti pomocí Hamonovy aproximace, která je popsána rovnicí (2), pro materiál 2TN. Tmavší křivka je výsledkem přímého měření imaginární části komplexní permitivity a je totožná s příslušnou křivkou na obrázku 4. Světlejší křivka na obrázku 5 je výsledkem samotné transformace.

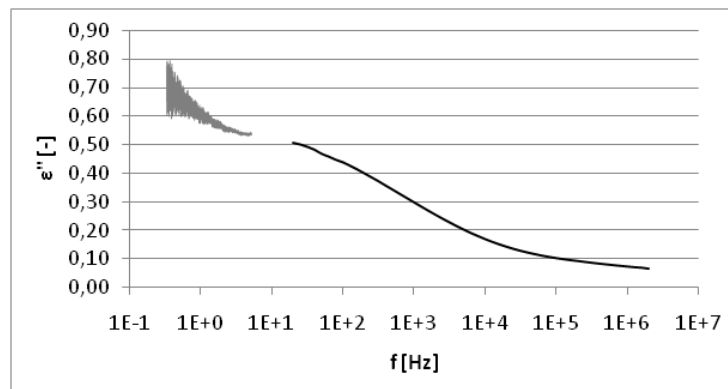
$$\epsilon''(f) = \frac{i(t)}{2\pi \cdot f \cdot C_0 \cdot U_C} \quad (2)$$



Obrázek 3: Měření v časové oblasti



Obrázek 4: Měření ve frekvenční oblasti



Obrázek 5: Výsledek převodu Hamonovou aproximací

#### 4. ZÁVĚR

Přestože měřicí přístroj Agilent E4980A, umožnil zkoumat jen omezený frekvenční rozsah od 20 Hz do 20 MHz, ukázalo se, že materiál ARLON 2TN má velkou relaxační dobu a je tedy pro konstrukci testeru zcela nevhodný. To se potvrdilo i měřením v časové oblasti, při kterém se tento materiál nabíjel nejdéle ze všech tří vzorků. Na základě měření v časové oblasti se dá usoudit, že materiál ROGERS RO4000 má lepší vlastnosti, než materiál FR4, protože se nabíjel rychleji. Porovnání ve frekvenční oblasti není možné, protože imaginární část komplexní permitivity obou materiálů pravděpodobně dosahuje svého maxima vysoko nad frekvenčním rozsahem měřicího přístroje. Rozdíl mezi materiály RO4000 a FR4 nebyl natolik výrazný, aby se vyplatilo osazovat elektroniku testeru na materiál firmy ROGERS, který je výrazně dražší. Porovnáním střední hodnoty imaginární části komplexní permitivity vypočtené Hamonovou transformací s výsledky přímého měření imaginární části komplexní permitivity bylo ověřeno, že jsou obě metody vzájemně ekvivalentní.

#### LITERATURA

- [1] MENTLÍK, V. *Dielektrické prvky a systém*. 1. vyd. Plzeň: BEN – technická literatura, 2006. 235 s. ISBN 80-7300-189-6.
- [2] KUNDERT, K. *Modeling Dielectric Absorption in Capacitors*. 3. Vyd. The Designer's Guide Community, 2006. 18 s.
- [3] PALAI-DANY, T. Možnosti využití elektrometru Keithley 617 v dielektrické relaxační spektroskopii. In *Diagnostika '07*. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007. s. 66-69. ISBN: 978-80-7043-557-1.