

# STUDY OF LEAKAGE CURRENTS

**Jan Ježík**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT  
E-mail: xjezik01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Běťák

E-mail: xbetak00@stud.feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

This study discusses phenomenon, which affects stabilization time of transistor leakage current. Primarily it's dielectric absorption and dielectric relaxation of dielectric materials used in measuring system. Maximum measurement voltage could be up to 600 V and transistor current value reaches 150 nA. The result of this study should be the list of suitable materials, which allows system to reduce measuring time to minimum.

## 1. ÚVOD

Tato práce vznikla jako jeden z kroků pro řešení problému, se kterým se potýká firma UNITES Systems a.s. z Valašského Meziříčí. Tato firma se zabývá návrhem a konstrukcí testerů polovodičových elektrotechnických součástek. Protože mají být testery zařazovány do výrobního procesu jako výstupní kontrola každé vyrobené součástky, je u nich vyžadována extrémní rychlost. V procesu vývoje zařízení se ukázalo, že většina testovacích kroků se dá provádět s přijatelnou rychlostí. Problém ovšem nastal při měření zbytkových proudů (např. zavřeným tranzistorem), kde se ukázalo, že určité fyzikální vlastnosti materiálů použitých při konstrukci testeru neumožňují rychlá měření provádět.

## 2. ROZBOR

Tester je schopen otestovat 50 000–60 000 tranzistorů za hodinu, přičemž u každého tranzistoru musí provést 20–30 testovacích kroků. Z toho vyplývá, že na jeden testovací krok připadá průměrně 2,5 ms. Některé kroky probíhají rychleji, jiné jsou náročnější a zaberou více času. Nejproblematičtější je měření zbytkových proudů ICEO, ICBO, IEBO. Jeden takový testovací krok si může vyžádat čas přesahující i 20 ms, což je v porovnání s ostatními kroky neúměrně dlouhá doba. Za zpomalení při měření zbytkových proudů jsou zodpovědné relaxační děje probíhající v dielektrických materiálech použitých na cestě k měřené součástce.

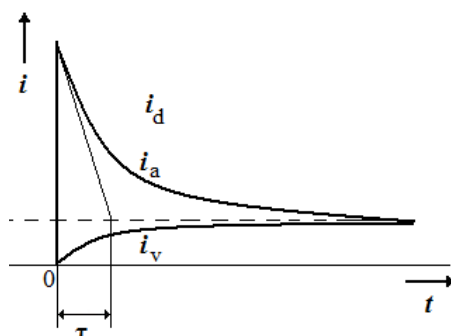
### 2.1. POLARIZAČNÍ PROCESY

Polarizační procesy jsou děje probíhající v dielektriku po jeho vložení do elektrického pole. Tyto děje lze rozdělit na rychlé a pomalé. Elektronová a iontová polarizace má velmi krátké trvání (cca  $10^{-13}$  s) a na sledované problematice se prakticky nepodílí. Zato iontová relaxační polarizace a dipólová relaxační polarizace způsobuje velké problémy, protože

doba ustavení rovnovážného stavu u těchto relaxačních polarizací se pohybuje od desítek nanosekund po jednotky sekund a je závislá na teplotě a složení materiálu.

## 2.2. DIELEKTRICKÁ ABSORPCE

Důsledkem polarizačních procesů je dielektrická absorpce, která se projevuje pomalým nabíjením dielektrika vloženého do stejnosměrného elektrického pole. Na obrázku 1 je znázorněn graf nabíjecího proudu kondenzátoru s reálným dielektrikem, který se exponenciálně blíží hodnotě zbytkového (vodivostního) proudu dielektrika. Veličinou charakterizující rychlost nabíjení je relaxační doba dielektrika  $\tau$ . V současnosti vykazuje měřicí soustava testeru hodnotu relaxační doby  $\tau = 3$  ms a nabíjecí proud klesne pod 1 nA za 25 ms. Snahou je nalézt materiály, které umožní snížit relaxační dobu na hodnotu 1 ms. V takovém případě dojde k poklesu nabíjecího proudu pod 1 nA za 5 ms.



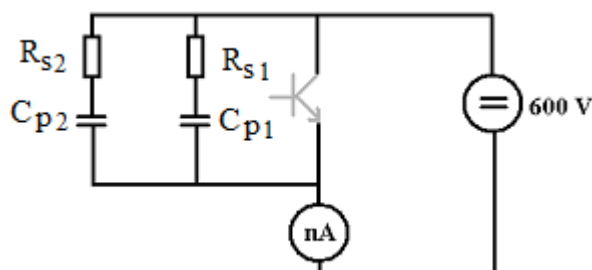
**Obrázek 1:** Nabíjecí proud kondenzátoru s reálným dielektrikem.

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

Rovnice (1) popisuje exponenciální průběh nabíjecího proudu, přičemž  $U_0$  je měřicí napětí,  $R$  je sériový odpor kondenzátoru a  $\tau$  je relaxační doba použitého dielektrika.

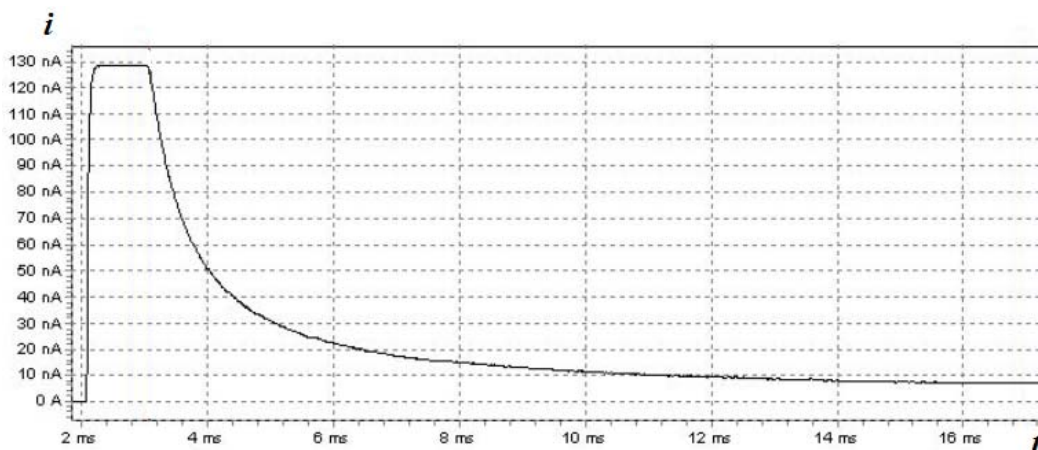
## 3. MĚŘENÍ A SIMULACE

Problém zpomalení testu při zjišťování zbytkových proudů se dá snadno zkoumat přímo pomocí testeru po vyjmutí testovaného tranzistoru. Měřicí svorky jsou rozpojené, a tester tak měří svůj vlastní nabíjecí proud. Po zapnutí zdroje stejnosměrného napětí (až 600 V) se začnou nabíjet parazitní kapacity ( $C_{p1}$  a  $C_{p2}$ ) v celé měřicí soustavě, což vyvolá nabíjecí proud. Náhradní schéma zapojení je na Obrázku 2.



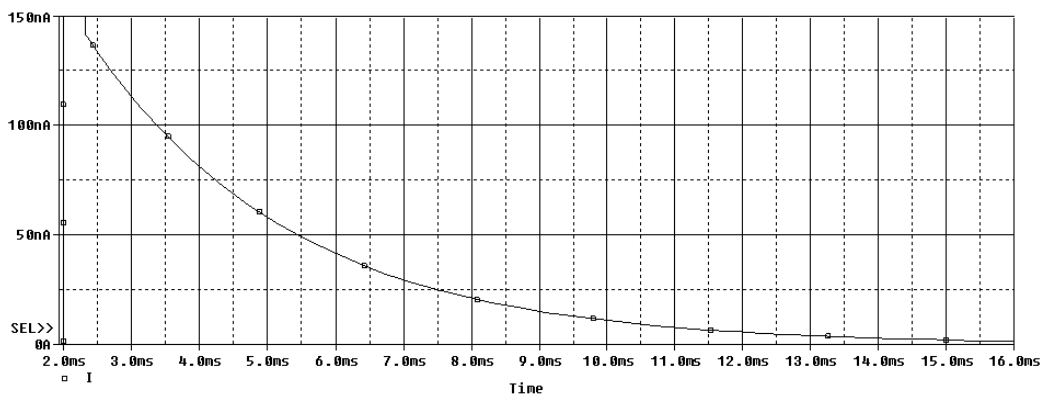
**Obrázek 2:** Náhradní schéma zapojení měřicí soustavy s parazitními kapacitami.

Po spuštění testu s vhodnými parametry se ukáže, že průběh proudu odpovídá svým tvarem teoretickému předpokladu z Obrázku 1. Výsledek tohoto testu je zachycen na Obrázku 3.



**Obrázek 3:** Nabíjecí proud parazitních kapacit.

Po zjištění hodnot parazitních kapacit s jejich sériovými odpory a relaxační doby  $\tau$  bylo možné provést simulace pomocí programu PSpice (Obrázek 4). Za pomoci rovnice (1) byl navíc v programu MATLAB proveden výpočet teoretického průběhu nabíjecího proudu. Všechny změřené a vypočtené průběhy byly vzájemně porovnány.



**Obrázek 4:** Simulace nabíjecího proudu v programu PSpice.

#### 4. ZÁVĚR

Porovnáním simulace s naměřenými grafy jsem dospěl k závěru, že reálné fyzikální děje probíhající v dielektrických částech testeru se dají úspěšně popsat procesem nabíjení paralelní kombinace několika kondenzátorů. Na základě tohoto zjištění budou dále detailně zkoumány jednotlivé materiály za účelem změření jejich relaxačních dob, aby bylo možno sestavit seznam vhodných materiálů pro konstrukci testeru.

#### LITERATURA

- [1] MENTLÍK, V. *Dielektrické prvky a systém*. 1. vyd. Plzeň: BEN – technická literatura, 2006. 235 s. ISBN 80-7300-189-6.
- [2] JIRÁK, J et al. *Materiály a technická dokumentace*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004. 129 s.
- [3] KUNDERT, K. *Modeling Dielectric Absorption in Capacitors*. 3. Vyd. The Designer's Guide Community, 2006. 18 s.