

# ISPITIVANJE IMUNOSTI UREDJAJA INFORMACIONE TEHNOLOGIJE NA UTICAJE ELEKTROSTATIČKIH PRAŽNENJA

mr Miroslav Elezović, *Tehnički opitni centar, Beograd, e-mail: [miroslave@yahoo.com](mailto:miroslave@yahoo.com)*

Aleksandar Kovačević, *Tehnički opitni centar, Beograd, e-mail: [aleksa-toc@yahoo.com](mailto:aleksa-toc@yahoo.com)*

**Sadržaj:** *Ispitivanje imunosti uređaja informacione tehnologije (IT uređaja) na tranzijentne poremećaje u mreži napajanja obuhvata ispitivanje imunosti na elektrostatičko pražnjenje, brze tranzijente/rafale, naponske udare i propade, kratkotrajne prekide i varijacije napona napajanja. U ovom radu izvršena je teorijska analiza izvora i posledica elektrostatičkih pražnjenja, kao i eksperimentalna provera ispitivanja imunosti IT uređaja na elektrostatička pražnjenja.*

**Ključne reči:** Informaciona, tehnologija, imunost, elektrostatičko, pražnjenje

## ELECTROSTATIC DISCHARGE IMMUNITY TEST OF INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENTS

**Abstract:** *Testing immunity on transient disturbances in power supply of information technology equipments (ITE) is included Electrostatic discharge immunity test, Electrical fast transient/burst immunity test, Surge immunity test and Voltage dips, Short interruptions and Voltage variations immunity tests. In this paper is performed theoretical analysis source and consequence of electrostatic discharge, and experimental work for Electrostatic discharge immunity test of IT equipments.*

**Key words:** Information, technology, immunity, electrostatic, discharge

# 1. UVOD

Tranzijentne pojave u elektromagnetskom okruženju uređaja informacione tehnologije (IT uređaja) nastaju zbog energije koja se dovodi u sistem. Ove pojave su prirodne kao što su atmosferska i elektrostatička pražnjenja, ili pojave koje uzrokuje čovek, kao što su komutacione pojave (prekidački tranzijenti) i naponska pražnjenja usled kvara ili greške.

Međutim, radni naponi i tolerancija prenapona komponenti za obradu signala u ovim sistemima za prenos podataka su generalno mnogo niži nego oni kod komponenti sistema za napajanje. Prema tome, šteta (ne računajući probleme prestanka rada) će verovatnije nastati na linijama za prenos podataka nego na komponentama sistema za napajanje pri istoj izloženosti ubačenim tranzijentima.

Tranzijentne pojave uzrokuju kratkotrajne (reda nanosekunde ili mikrosekunde) naponske impulse visoke amplitude dovoljne da poremete rad elektronskih kola, a u nekim slučajevima imaju dovoljno energije da oštete ili unište pojedine komponente kola.

U ovom radu je analiziran nastanak pojave elektrostatičkih pražnjenja i njen uticaj na uređaje informacione tehnologije i ispitivanje otpornosti na elektrostatička pražnjenja. Standard IEC 61000-4-2 i njegov EN ekvivalent je principijelno osnovni standard za ispitivanje imunosti uređaja informacione tehnologije na elektrostatičko pražnjenje (ESD). Za razliku od ostalih tranzijentnih poremećaja, izvori elektrostatičkih pražnjenja su u blizini ugroženih IT uređaja. Prema standardu IEC CISPR 22, pod uređajem informacione tehnologije (IT uređaj) podrazumeva se svaki uređaj čija je prvenstvena funkcija unošenje, skladištenje, prikazivanje, prenos, obrada, preusmeravanje ili upravljanje podacima i telekomunikacionim porukama (ili neka kombinacija navedenog). Pored toga, to su uređaji čiji naznačeni napon napajanja ne prelazi 600 V.

Simulatorom elektrostatičkih pražnjenja se imitira realan slučaj u kome se uključuju i kodukciona i vazдушna komponenta poremećaja.

## 2. ELEKTROSTATIČKO PRAŽNJENJE

### 2.1 Mehanizam punjenja

Svi provodni objekti imaju sopstvenu kapacitivnost u odnosu na zemlju i međusobnu (zajedničku) kapacitivnost u odnosu na njihova tela. Ova kapacitivnost može sadržati DC naboj u odnosu na zemlju ukoliko je objekat izolovan od zemlje. Kretanje ili odvajanje izolovanih površina mogu izazvati prenos naboja.

Kod savršenih izolacionih materijala, ovaj električni naboj će ostati neodređen, ali, u stvarnosti, postoje površina i jačina provodljivosti, kao i usmerenost slobodnih elektrona tako da se diferencijalni naboj postepeno neutrališe. Ovo se odigrava sa većom brzinom i boljom provodljivošću. Kod statičnih razloživih materijala i veće vlažnosti postoje 2 načina za povećanje provodljivosti.

Električni naboj  $Q$  odnosi se na naponski diferencijal po kapacitetu objekta:

$$Q = C \cdot V \quad (1)$$

Kod paralelnih ploča, kapacitet je utvrđen površinom oblasti  $A$  i razmakom daljine  $d$ , kao i konstanta  $\varepsilon$  od dielektričkog materijala unutar zgrade:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot (A/d) \quad (2)$$

Za neispravne predmete, kapacitet može biti približan pomoću primene jednačine (2) na osnovne oblasti predmeta i sabiranje kapaciteta usled svakog elementa

$$C = \sum_i \{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot (A_i / d_i)\} \quad (3)$$

gde  $A$  predstavlja površinu oblasti svakog elementa, a  $d_i$  je razdaljina između površine svakog od elemenata.

Kapacitivnost ljudskog tela zavisi od njegove veličine i aktivnosti, tj. da li čovek sedi, stoji ili se kreće. U najgorem slučaju, izolacioni materijal visoke otpornosti, niska relativna vlažnost vazduha i energično kretanje, mogu izazvati potencijal i do 25 kV. Potencijal naboja veći od ovoga ima tendenciju ograničenja preko korona efekta.

U većem broju tipičnih slučajeva napon varira između 2 kV i 8 kV.

## 2.2 Uticaj na IT uređaje

Kada objekat sa elektrostatičkim nabojem uspostavi kontakt sa objektom različitog potencijala (ovaj drugi objekat može biti na potencijalu zemlje ali nije nužno), naboj se izjednačava između ta dva objekta i dolazi do nastanka naponskog  $v(t)$  i strujnog  $i(t)$  tranzijenta (videti sliku 1).

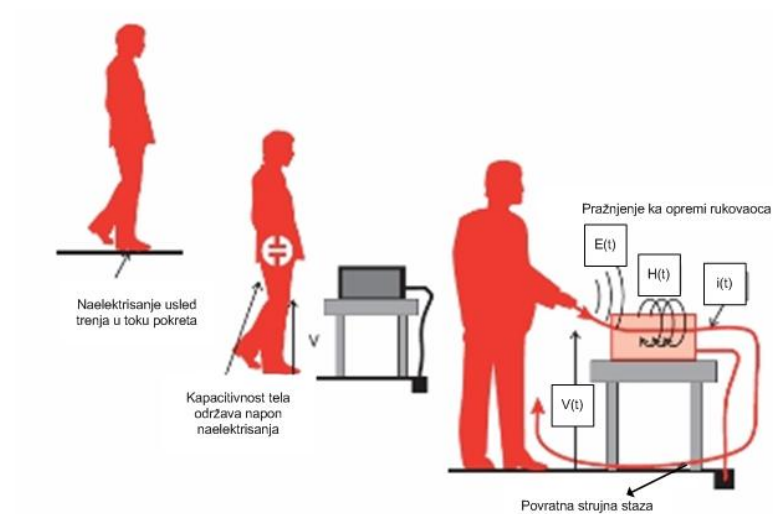
Amplituda i oblik tranzijenta zavisi od naponske razlike i ukupne impedanse u kolu struje izjednačenja.

Tranzijentima  $v(t)$  i  $i(t)$  pridruženi su i tranzijenti električnog i magnetskog polja,  $E(t)$  i  $H(t)$ . Sva ova četiri aspekta događaja će se spregnuti sa elektronskim kolima, ako se desi da su ona u strujnom kolu ili u blizini izvora polja.

Ovo sprežanje stvara indukovane naponske tranzijente unutar signalnih kola. Posebno digitalna kola mogu reagovati na ove indukovane impulse kao da su u pitanju namenski (korisni) signali, i njihov rad je zbog toga degradiran.

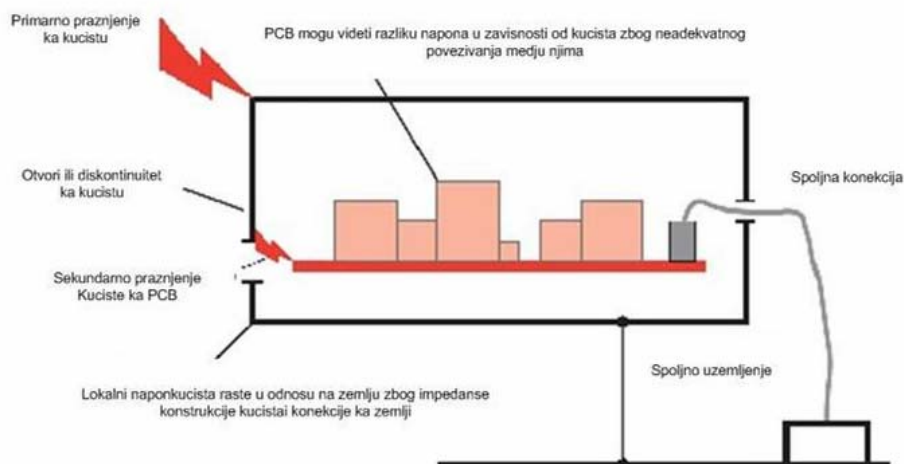
## 2.2 Sekundarno pražnjenje

Sekundarno pražnjenje može nastupiti unutar opreme ako struja pražnjenja pokušava da kroz uređaj ostvari provodnu stazu koja uključuje vazdušni procep (videti sliku 2). Napon preko vazdušnog procepa se povećava sve dok ne dođe do proboja u vazduhu (preskoka) i ovaj sekundarni proboj može biti opasniji za električna kola od inicijalnog događaja, jer je bliži i verovatno sa sobom povlači nižu impedansu petlje kvara. Proboj nastupa istovremeno sa primenjenim primarnim pražnjenjem.



Slika 1: Tipični slučaj elektrostatičkog pražnjenja

Sekundarno pražnjenje je najbolji način za proveru postojanja skrivenih vazdušnih procepa, za ostvarivanje dovoljno velikih razmaka da ne dođe do proboja, za njihovo izolovanje i za izbegavanje oštih ivica koje podstiču visoke gradijente polja (ivični efekt polja).



Slika 2: Mehanizam sekundarnog pražnjenja na elektronskoj opremi

## 2.3 Standard, metoda ispitivanja i ispitni generator

Standard IEC 61000-4-2 i njegov EN ekvivalent je principijelno osnovni standard za ispitivanje imunosti elektronske opreme (uređaja) na elektrostatičko pražnjenje (ESD). On definiše oblik struje pri propisanom nivou napona i ručni generator (videti sliku 3), koji je u suštini kondenzator napajan izvorom visokog napona i koji napunjen na propisanom naponu se prazni preko serijske impedanse kroz mesto kontakta prema zemlji.

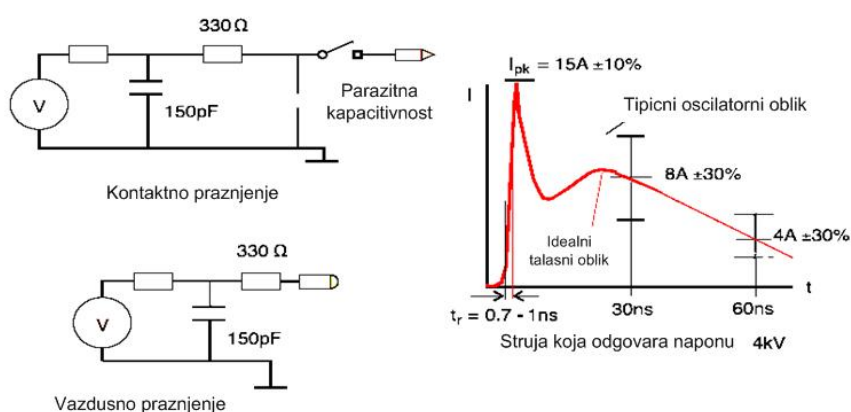


Slika 3: Sonda ESD generatora

U standardu su date dve metode:

- kontaktno pražnjenje i
- pražnjenje kroz vazduh.

Na slici 4 je prikazano ekvivalentno kolo ESD generatora i oblik strujnog impulsa.



Slika 4: Ekvivalentno kolo ESD generatora i oblik strujnog impulsa

## 2.4 Kontaktno pražnjenje

Metodom kontaktnog pražnjenja uticaj može biti primenjen direktno na ispitivani uređaj ili na kontaktnu površinu u neposrednoj blizini uređaja. Pre svakog ispitnog

impulsa, kondenzator generatora je napunjen na željeni nivo napona, ali je njegov napon odspojen od generatorske sonde preko vakuumskog relea. Sonda se primenjuje na pogodno izabranu tačku ispitivane opreme ili na kontaktnu ploču. Generator je tada pobuđen tako da se zatvore kontakti relea i napon kondenzatora se preko sonde dovodi na ispitivanu opremu.

To stvara strujni impuls (sa pridruženim tranzijentima napona i polja) kao naponsko pražnjenje kroz kombinovanu serijsku vezu impedansi generatora, ispitivane opreme i uzemljene površine. Ovaj postupak se ponavlja željeni broj puta, na istom mestu, sa odgovarajućim polaritetom i veličinom napona.

## 2.5 Pražnjenje kroz vazduh

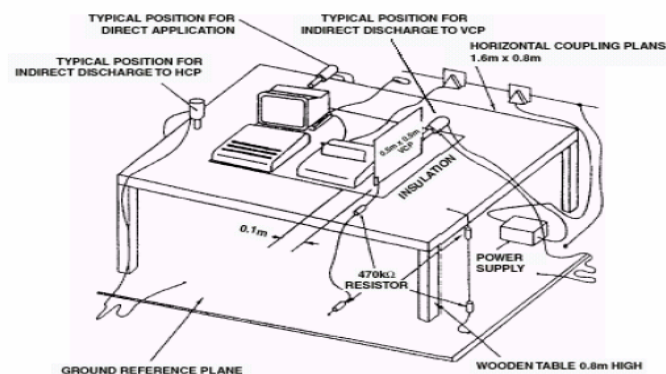
Za pražnjenja kroz vazduh koristi se isti generator, pri čemu se koristi probna sonda sa zaobljenim vrhom a ne sa igličastim vrhom (šiljkom). Kondenzator je kao i pre napunjen do željenog nivoa, ali je sada napon kontinualno prisutan na sondi, koja se drži udaljeno od ispitivane opreme. Za svaki impuls, vrh sonde se prinosi izabranoj tački na ispitivanoj opremi, pažljivo do trenutka dodira. Upravo pre dodira dolazi do proboja vazdušnog procepa između vrha sonde i ispitivane opreme, a struja pražnjenja je ograničena ukupnom serijskom impedansom generatora, vazdušnog procepa, ispitivane opreme i povratne petlje (staze).

Ovaj postupak se ponavlja željeni broj puta, na istom mestu, sa odgovarajućim polaritetom i veličinom napona.

## 2.6 Praktični aspekti ispitivanja

Impuls elektrostatičkog pražnjenja ima vreme porasta ispod nanosekunde tako da su jako bitne mere predostrožnosti u pogledu uticaja visokih frekvencija.

Ispitivanjem se mora generisati impuls sa brzim porastom (kratko vreme uspostavljanja) kao u realnim uslovima, pošto je ovo važan parametar u izboru staze pražnjenja kroz ispitivanu opremu i reakcije same opreme. Preporučeni raspored ispitivanja je prikazan na slici 5:



Slika 5: Primer postavljanja ispitivanja imunosti na elektrostatičko pražnjenje za stone uređaje prema standardu EN 61000-4-2

Uzemljena referentna ravan (GRP) je integralni deo postavke ispitivanja i povratni vod generatora mora biti dobro povezan sa njom, jer ova veza formira deo povratnog strujnog kola.

Kod indirektnog pražnjenja, kao dela ovog ispitivanja, koriste se dve druge ravni, različite od GRP, poznate kao horizontalna sprežuća ravan (HCP) i vertikalna sprežuća ravan (VCP).

Pražnjenje preko ovih ravni simulira uticaj polja zračenja kao posledice realnog atmosferskog pražnjenja u blizini objekta.

Svaka sprežuća ravan je spojena sa uzemljenom referentnom ravni preko otpornih provodnika da bi se obezbedilo da se svako naelektrisanje isprazni za nekoliko mikrosekundi.

Konstrukcija ovih provodnika je specifična: otpornici treba da se nalaze blizu završetaka provodnika, tako da je provodnik između završetaka izolovan od spojeva i parazitnih sprega (lutajućih struja), tako da iste budu neutralizovane. Snaga otpornika je nevažna, otpornici treba da se suprotstavljaju impulsu visoke vrednosti gradijenta  $dV/dt$  bez proboja, tako da je za ovu primenu najpogodniji otpornik tipa ugljeničnog sloja.

Za nekoliko desetina nanosekundi od pojave elektrostatičkog pražnjenja na sprežućoj ravni se uspostavlja pun napon, koji je kapacitivno spregnut sa ispitivanom opremom. Bilo kakva parazitna (lutajuća) kapacitivnost između sprežuće ravni i objekta ili ispitivane opreme modifikuje napon ravni i oblik strujnog impulsa, a na taj način i primenjen poremećaj. Zato je važno obezbediti najmanje 1 m slobodnog prostora oko ispitivane opreme, što pretpostavlja odvajanje gornje površine ispitnog stola od zidova i drugih objekata. Isto tako, odstojanje vertikalne sprežuće ravni od ispitivane opreme je specificirano na 10 cm; čak i mala odstupanja ovog rastojanja mogu izazvati velike promene u sprežanju sa ispitivanom opremom, tako da je od velike pomoći pogodno merilo za kontrolisanje ovog razmaka, kao što je plastični merač zazora od 10 cm.

## 2.7 Neuzemljena ispitivana oprema

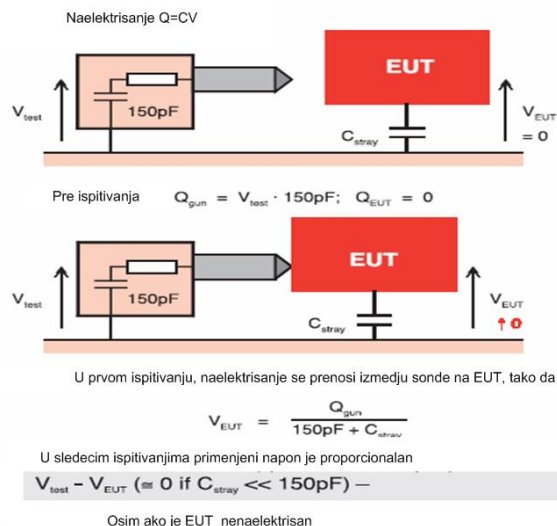
Ako ispitivana oprema ima vezu sa zemljom (uzemljena), naelektrisanje koje se nagomilava na opremi sa svakim ispitnim impulsom brzo se odvodi, tako da je ispitivana oprema spremna za sledeći impuls. To nije slučaj ukoliko je ispitivana oprema izolovana od zemlje, kao što su prenosni uređaji i uređaji klase bezbednosti II napajani iz mreže. Kada se na njih primeni elektrostatičko pražnjenje, naelektrisanje se prenosi preko kondenzatora generatora od 150 pF na sopstveni kapacitet ispitivane opreme, ostajući na nekom plivajućem nivou napona u odnosu na zemlju, a stvarna vrednost napona zavisi od odnosa kapacitivnosti (videti sliku 6).

Ovo je u redu za prvu primenu impulsa, ali to znači da će se primenjeni uticaj progresivno slabiti sa svakim sledećim impulsom istog polariteta i nivoa, pa će se potencijalna razlika između generatora i ispitivane opreme smanjivati.

Ako je impuls obrnutog polariteta, ispitivana oprema trpi mnogo veće naprezanje od nameravanog.

Ispitivana oprema manjih dimenzija ima sopstveni kapacitet samo nekoliko pF, tako da ona trenutno dostiže gotovo punu vrednost primenjenog napona i sledeći impuls je bez značaja.

Stoga je neophodno obezbediti odvođenje naelektrisanja sa ispitivane opreme između svakog primenjenog impulsa.



**Slika 6:** Naelektrisanje neuzemljene ispitivane opreme pri ispitivanju uticaja elektrostatickog praznjenja

Amandman 2 na standard, koji je skoro publikovan, postize ovo dopustajuci u toku ispitivanja primenu odvodnog otpornog kabla izmedju ispitivane opreme i horizontalne sprezuce ploce.

Ovaj kabl moze ostati povezan tokom ispitivanja onoliko dugo koliko su ugrađeni otpornici bliže završetaka kabla (oko 2 cm), pošto njegovo prisustvo verovatno neće uticati na rezultat, mada u slučaju osporavanja kabl ne treba da bude spojen.

Treba voditi racuna da su odvodni otpornici sprezuce ravni sposobni da izdrze pun naponski impuls bez proboja.

Drugi nacini za stalno spojen odvodni kabl su:

- primena odvodne otporne četkice, izmedju praznjenja u iste svrhe – otpornik mora biti na samom kraju kabla prema zemlji, inace bi praznjenje indukovano na odvodu moglo biti losije nego da je primenjena ESD sonda, dovodeci do neregularnog ispitivanja,
- korišćenje vazdušnog varničara da bi se ubrzalo praznjenje ispitivane opreme.

## 2.8 Broj, mesto i nivo elektrostatickog praznjenja

Standard preporucuje 10 praznjenja za najosetljiviji polaritet na "prethodno odabranim tackama". Niži nivoi u odnosu na specifikaciju moraju takođe biti zadovoljeni, tako da za tipican test usaglasenosti gde je propisano kontaktno praznjenje 4 kV i praznjenje kroz vazduh 8 kV, mora se proveriti i za 2 kV kontaktno i 2 kV i 4 kV za vazdušno. Ispitivanje ne mora biti linearno, tj. ispitivana oprema moze, na primer, otkazati pri 4 kV a proci pri 8 kV, a to bi bio opšti otkaz.

Pitanje kako izvršiti prethodno odabiranje odgovarajućih tacka ispitivanja je komplikovano.

Treba da budu ispitivane samo tacke opreme koje su pristupačne pri normalnom korišćenju, ali to često nije dovoljno ograničenje.

Amandman 2 standarda detaljnije definiše šta znači "pristupačni delovi", a klauzula A.5 standarda daje neka uputstva u vezi sa tim.

Dakle, standardi pojedinačnih proizvoda kao što je EN 55022 (za IT uređaje) mogu u tom smislu biti eksplicitniji nego bazični standard, ali obično je najveći problem

ustanoviti najosetljivija mesta oko ispitivane opreme. Istraživačka ispitivanja koja koriste impulse sa velikom brzinom ponavljanja ili impulse visokog nivoa mogu pomoći ako je imunost ispitivane opreme neznatno veća od specificirane, ali nisu od pomoći ako konstrukcija opreme obezbeđuje dovoljnu rezervu imunosti.

Ovo takođe izlaže ispitivanu opremu većem naprezanju nego što zahteva ispitivanje usaglašenosti, što u nekim slučajevima nije prihvatljivo.

Konstrukcija prototipa može biti slabija od finalnog proizvoda po pitanju imunosti, a slabosti bi mogle biti najprimetnije na izvesnim tačkama, koje su primarni kandidati za ispitivanje usaglašenosti.

I na kraju, ova pitanja mogu biti razrešena samo kroz veštinu, iskustvo i istrajnost inženjera ispitivača.

## **2.9 Rukovanje sa ESD sandom**

Elektrostatičko pražnjenje primenjeno na ispitivanu opremu nije ograničeno samo na naponski i strujni impuls, koji se pojavljuje na vrhu sonde, već je prisutno i lutajuće polje ispred sonde i takođe oko povratnog uzemljenog provodnika koji izlazi iz sonde.

I jedno i drugo se mogu spregnuti sa ispitivanom opremom i modifikovati ispitni impuls, tako da ih je potrebno kontrolisati.

Treba obezbediti da ovaj uzemljeni provodnik ne leži na ispitivanoj opremi i da je dovoljno udaljen od nje, a standard savetuje da ovaj provodnik i bilo koji provodni deo bude najmanje 20 cm udaljen od opreme, osim njene veze sa referentnom uzemljenom pločom (GRP).

Na isti način, treba uvek držati generator tako da je njegova sonda upravna na ispitivanu površinu opreme i ne treba rukovati generatorom u blizini sonde. Ovo će smanjiti promenljivost sprežavanja lutajućeg polja ispred generatora.

Kada se pražnjenje primeni na sprežuće ravni, sonda se postavlja na ivicu horizontalne ravni suprotno od sredine ispitivane opreme ili na sredinu jedne ivice vertikalne ravni. Ovo je eksplicitno dato u Amandmanu 1 standarda.

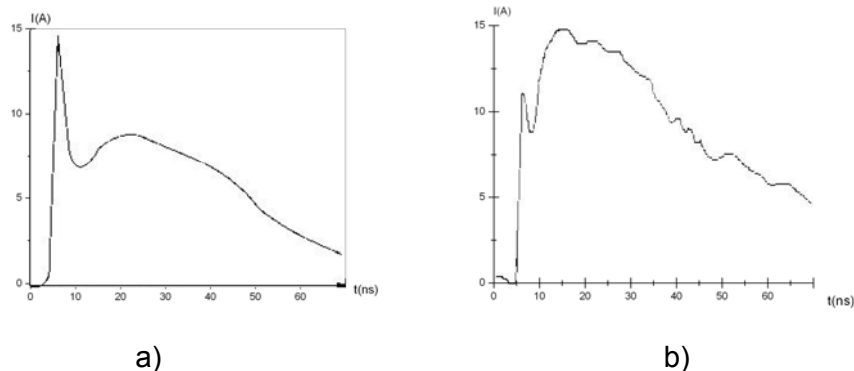
Kod ispitivanja pražnjenja kroz vazduh važni su upadni ugao sonde i brzina približavanja i bitno utiču na proboj vazdušnog procepa.

U standardu se kaže da će "vrh sonde biti približen što je moguće brže do dodira sa ispitivanom opremom (bez izazivanja mehaničkih oštećenja)".

U slučaju kontaktnog pražnjenja kontaktni pritisak je relevantan, čak i tanak sloj oksida može izazvati visoku kontaktnu otpornost, što može dovesti do velikih varijacija oblika primenjenog impulsa, tako da vrh sonde mora biti pritisnut na površinu ispitivane opreme onoliko jako koliko je to moguće.

## **2.10 Rezultati ispitivanja**

Ispitivanje imunosti uređaja informacione tehnologije na elektrostatičko pražnjenje izvršeno je na terminalu za daljinsko očitavanje prema standardu, i to: kontaktnim pražnjenjem 4 kV i pražnjenjem kroz vazduh 8 kV.



Slika 7: Izgled impulsa a) neopterećenog generatora, b) opterećenog generatora

Na slici 7 prikazan je izgled strujnog impulsa pri ispitivanju kontaktnim pražnjenjem naponom od 4 kV, što odgovara jačini struje od 15 A.

Nakon ispitivanja nisu uočene promene u radu terminala za daljinsko očitavanje.

### 3. ZAKLJUČAK

Izvori tranzijentnih poremećaja (izuzev elektrostatičkih), obično nisu u blizini ugroženih IT uređaja i njihova energija se najčešće prenosi u elektronska kola preko kablovskih veza.

S obzirom da se radi o veoma kompleksnoj oblasti, pre svega zbog pojava visokonaponskih impulsa ekstremno kratkog trajanja, uz veliku strminu čela i visoku frekvenciju ponavljanja, nejasnoće u zahtevima, nedovoljno iskustvo u postavljanju ispitivanja, nedovoljno poznavanje pojava, ispitivane opreme i ispitne opreme može izazvati oštećenja i jedne i druge opreme.

Kako navedena ispitivanja nisu rutinska, u mnogim stručnim člancima iz ove oblasti potencira se stručnost i iskustvo ispitivača.

### 4. Literatura

1. Dag Bjorklof (2006), "Immunity Testing: Examining Requirement and Test Methods", ETL SEMKO, Kista Sweden.
1. Schaffner, "Transient Immunity Testing a handy guide Schaffner", [www.Schaffner.com](http://www.Schaffner.com).
3. IEC 61000-4-2 (2001), "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharges immunity test", International Electrotechnical Commission.
4. JUS IEC 50 (1997), "Međunarodni elektrotehnički rečnik – Poglavlje 161: Elektromagnetska kompatibilnost", JSZ.
5. IEC CISPR 22 (2003), "Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and method of measurement", International Electrotechnical Commission.