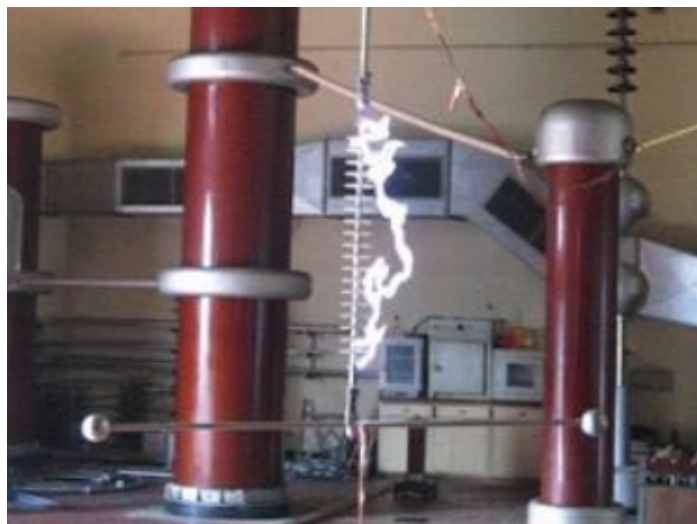


*Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Oddelek za fiziko
Smer: naravoslovna fizika*

PRAKSA na EIMV na oddelku OVN

Barbara Horvat



Kazalo

1	OVN	2
2	Metoda povratne napetosti	2
3	Zaključek	5

1 OVN

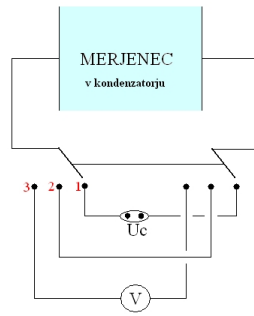
Obvezno prakso sem opravljala na Elektroinštitutu Milan Vidmar (EIMV) na Oddelku za visoke napetosti (OVN), ki s svojim delom pokriva različna področja povezana z visokonapetostnimi napravami oz. elektroenergetskimi objekti. Dejavnosti, ki se izvajajo na OVN, pa so:

- Raziskovalno delo v elektroenergetiki
 1. raznovrstno raziskovalno delo na področju elektroenergetike in elektroindustrije,
 2. konzultantske storitve za proizvodna, prenosna in distribucijska elektroenergetska podjetja,
 3. računalniške simulacije električnih prehodnih pojavov in numerične analize,
 4. analize prenapetosti in koordinacija izolacije,
 5. preverjanje zaščite objektov pred udari strel in dimenzioniranje prenapetostne zaščite,
 6. analize dogajanja in iskanje vzrokov ob večjih okvarah na VN napravah.
- Preskusi in meritve na visokonapetostnih napravah
 1. izvajanje preskusov in meritev v laboratoriju za visoke napetosti,
 2. diagnostika izolacije VN naprav v elektroenergetskih objektih,
 3. meritve napetostnih in tokovnih prehodnih pojavov med obratovanjem sistema,
 4. preverjanje razreda točnosti napetostnih instrumentnih transformatorjev.
- Sodelovanje pri gradnji elektroenergetskih objektov
 1. svetovanje pri uvajanju novih tehnologij in rešitev v elektroenergetski sistem,
 2. sodelovanje pri določanju tehničnih parametrov, izbiri in naročanju VN naprav,
 3. izdajanje strokovnih mnenj o ustreznosti naprav in tehničnih rešitev,
 4. izvajanje prevzemov naprav za elektroenergetiko pri proizvajalcih ,
 5. sodelovanje pri načrtovanju, gradnji in obnovi elektroenergetskih objektov,
 6. pregledi in izdelava strokovnih mnenj po zaključku del.
- Razno (svetovanje, izobraževanje, zakonodaja, standardizacija...)
 1. pomoč vladnim organizacijam pri tehničnih vprašanjih v elektroenergetiki,
 2. udeležba v univerzitetnem izobraževalnem procesu na fakulteti za elektrotehniko ,
 3. sodelovanje pri pripravi zakonov in podzakonskih aktov za področje elektroenergetike,
 4. delovanje v tehničnih odborih pri uvajanju tehnične standardizacije,
 5. organizacija oz. sodelovanje pri strokovnih predavanjih in posvetovanjih,
 6. članstvo v strokovnih delovnih telesih domačih in tujih združenj na področju elektroenergetike,
 7. vzdrževanje stikov s sorodnimi organizacijami, društvi in podjetji v Sloveniji in tujini.

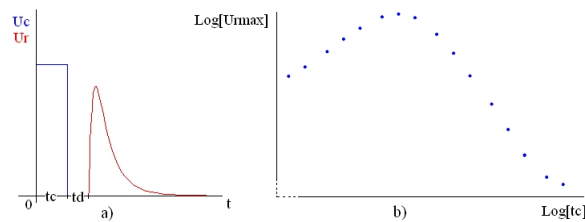
2 Metoda povratne napetosti

Med opravljanjem prakse sem se поблиže spoznala z metodo povratne napetosti s katero se diagnosticira kakovost izolacije (olja ter papirja v transformatorju) oz. napove njeno življenjsko dobo.

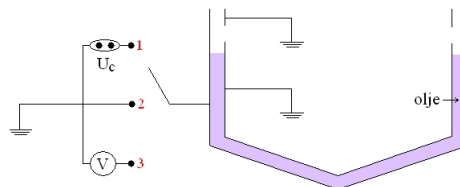
Med obremenitvijo izolacije (dielektrika) z enosmerno napetostjo se pojavi polarizacija dipolov, ki se z izklopom električnega polja oz. kratko vezavo izolacije začne spontano relaksirati. Trajanje depolarizacije dopuščamo le določen čas, nato pa izmerimo kolikšna je preostala napetost, katere časovna odvisnost zavisi od stanja izolacije npr. večja količina vlage v izolaciji znižuje njeno upornost in s tem povečuje prevodnost, ki vpliva na časovni potek napetosti.



Slika 1: Meritev povratne napetosti: ko je stikalo na 1 poteka polarizacija, na 2 depolarizacija, ko pa je na 3 pa merimo preostalo polarizacijo.

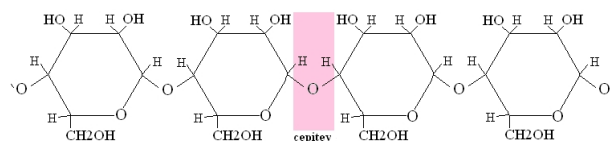


Slika 2: a) Potek napetosti: polnimo čas t_c , praznimo čas t_d , nato merimo povratno napetost. Cikel zaključimo s kratko vezavo merjenca, da je depolarizacija popolna. b) Vsak tak cikel ponovimo pri različnih vrednostih časa polnjenja ter pri konstantnem kvocientu t_c/t_d . Od vsakega cikla pa nanesimo na graf maksimalno vrednost povratne napetosti U_{rmax} v odvisnosti od časa polnjenja. Dobljena krivulja predstavlja spekter polarizacije iz katerega sklepamo na kakovost izolacije: če ima spekter le en maksimum, potem je izolacija homogena (ni dodatnih vrhov desno od glavnega vrha zaradi nečistoč) in hkrati topla mesta (deli izolacije z večjo količino vlage, ki prispevajo dodatni vrh/ove levo od glavnega vrha) ne obstajajo, torej je vlaga po celi izolaciji enakomerno porazdeljena. Na sliki prikazan spekter je dobljen z uporabo celice prikazane na sliki 3.



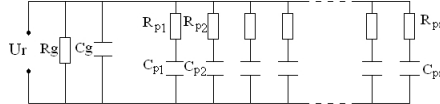
Slika 3: Celica, ki se uporablja za meritev povratne napetosti v laboratoriju, je pravzaprav kondenzator napolnjen z oljem, ki lahko vsebuje poleg vode še dodatne nečistoče. Z razliko od transformatorja, katerega del izolacije je tudi papir, je temperatura olja v celici vedno konstantna in povsod enaka. Torej predstavlja maksimalno idealiziran primer meritve.

Vlaga v izolaciji transformatorja je posledica razpadanja papirja oz. celuloze (verig glukoze) kajti pri vsaki cepitvi verige nastane po ena molekula vode. Količina v olju absorbirane vlage pa zavisi predvsem od temperature: bolj vroče je olje, več lahko absorbira vode, tem slabšo izolacijo predstavlja oz. tem hitreje se stara.



Slika 4: Veriga celuloze.

Polarne molekule vode v nepolarnem olju so poleg nečistoč povzročitelj dipolske polarizacije v izolaciji pod vplivom električnega polja. Poleg te polarizacije pa se v električnem polju pojavita še dve: elektronska (elektroni okoli pozitivnega jedra se premaknejo zaradi električnega polja; zgodi se nemerljivo hitro) ter ionska/molekularna (pri ionih, ki se ne ločijo pri nizkih električnih poljih, delovnih temperaturah). Posledica elektronske ter ionske polarizacije je konduktiven tok, ki steče takoj ko izpostavimo merjenec električnemu polju. Ta tok je velik in teče le kratek čas. Predstavimo ga lahko s kondenzatorjem z majhno kapacitivnostjo C_g (kondenzator se takoj nabije) imenovano geometrijska kapacitivnost. Posledica dipolske polarizacije pa je polarizacijski tok, ki je odvisen od količine vode ter nečistoč v olju. Torej je odvisen od temperature. Model, s katerim lahko predstavimo ta efekt, pa je zaporedna vezava polarizacijskega upora R_p ter polarizacijskega kondenzatorja C_p imenovana polarizacijska veja. Zaradi primesi nečistoč in različne porazdelitve temperature (transformator) torej različne porazdelitve števila molekul vode, je potrebno polarizacijski veji dodati še n polarizacijskih vej, ki jih vežemo vzporedno. Ko merljiv polarizacijski tok neha teči, ostane le še tok, ki je posledica gibanja prostih elektronov in ga predstavimo z geometrijsko upornostjo R_g .



Slika 5: Model za predstavitev izolacije. Polarizacijske veje so vezane vzporedno z geometrijskim uporom ter geometrijsko kapacitivnostjo. Čim bolj je izolacija nehomogena, tem večje je število polarizacijskih vej n .

Vsak cikel je sestavljen iz štirih zaporednih korakov:

- polnjenje

Polnilni tok I_c teče čez polarizacijski in geometrijski del modela. Tok čez geometrijsko kapacitivnost seveda zanemarimo, saj velja, da je C_g majhen. Tako imamo:

$$I_c(t) = I_{R_g} + \sum_{i=1}^n I_{p_i}, \quad kjer \quad (1)$$

$$I_{R_g} = \frac{U_c}{R_g}, \quad I_{p_i} = \frac{U_c}{R_{p_i}} e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad \text{ter} \quad \tau_i = R_{p_i} C_{p_i}.$$

Napetost na posamezni polarizacijski veji pa lahko zapišemo kot:

$$U_{C_{p_i}}(t) = U_c(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}). \quad (2)$$

- praznjenje

Po polnjenju, ki traja čas t_c , kratko sklenemo merjenec v kondenzatorju. To predstavimo s praznjenjem modelskih kondenzatorjev na katerih je začetna napetost enaka $U_{C_{p_i}}(t_c)$. Ponovno se predpostavi, da je kapaciteta geometrijskega dela modela majhna in se tako geometrijski kondenzator takoj izprazni. Depolarizacijski tok lahko potemtakem zapišemo kot:

$$I_d(t) = \sum_{i=1}^n \frac{U_{C_{p_i}}(t_c)}{R_{p_i}} e^{-\frac{t}{\tau_i}}. \quad (3)$$

- merjenje povratne napetosti

Po praznjenju, ki traja čas t_d , merimo z visokoimpedančnim voltmetrom koliko naboja je še ostalo na polarizacijskih kondenzatorjih, ki se praznijo preko geometrijskega dela modela oz. merimo povratno napetost U_r . Za i -to polarizacijsko vejo velja:

$$I_{p_i} = \frac{U_r - U_{C_{p_i}}}{R_{p_i}} = C_{p_i} \frac{dU_{C_{p_i}}}{dt}. \quad (4)$$

Vemo pa še:

$$U_r = -R_g I_{R_g} = -R_g \sum_{i=1}^n I_{R_{g_i}} \quad (5)$$

$$U_r = -\frac{1}{C_g} \int I_{C_g} dt = -\frac{1}{C_g} \int \sum_{i=1}^n I_{C_{g_i}} dt. \quad (6)$$

Tu seveda velja $\sum_{i=1}^n I_{C_{g_i}} + \sum_{i=1}^n I_{R_{g_i}} = \sum_{i=1}^n I_{p_i}$. Ko rešimo sistem enačb, dobimo:

$$U_r = \frac{1}{C_g} e^{-\frac{t}{\tau_g}} \sum_{i=1}^n \int_0^t I_{p_i}(t') e^{\frac{t'}{\tau_g}} dt', \text{ kjer} \quad (7)$$

$\tau_g = R_g C_g$ ter

$$I_{p_i}(t) = \frac{1}{2} \mathcal{J} \left(1 + \frac{\beta}{\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}} \right) e^{-\frac{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}}{2\alpha} t} + \frac{1}{2} \mathcal{J} \left(1 - \frac{\beta}{\sqrt{\beta^2 - 4\alpha}} \right) e^{-\frac{\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha}}{2\alpha} t}, \text{ kjer} \quad (8)$$

$$\mathcal{J} = U_c \frac{1}{R_{p_i}} (1 - e^{-\frac{t_c}{\tau_{p_i}}}) e^{-\frac{t_d}{\tau_{p_i}}},$$

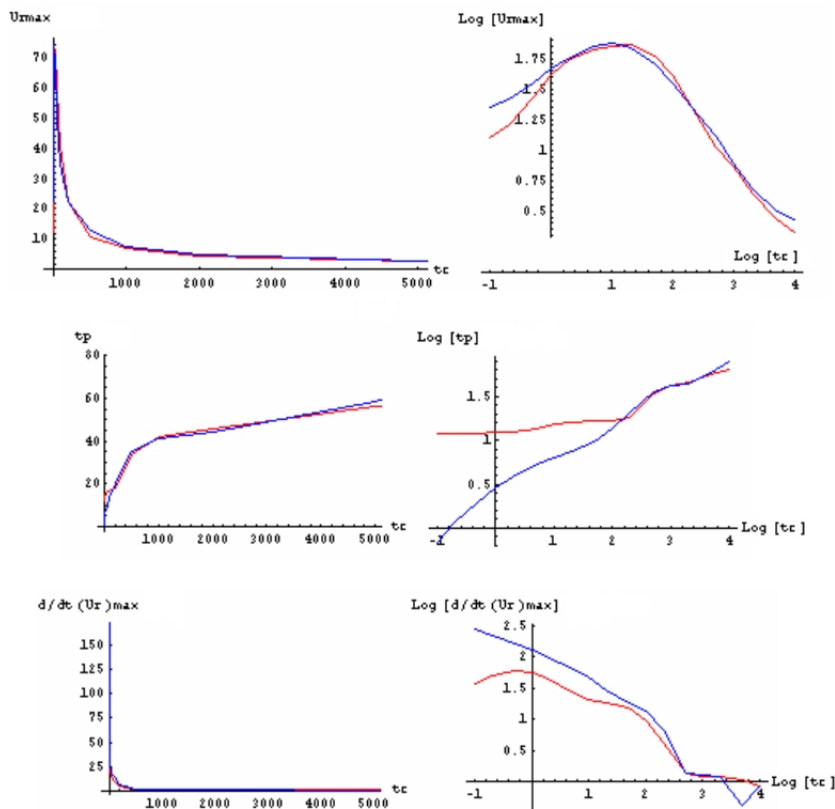
$$\alpha = \tau_g \tau_{p_i},$$

$$\beta = \tau_g + \tau_{p_i} + \tau_{p_i} \sum_{i=1}^n \frac{R_g}{R_{p_i}}.$$

- popolna depolarizacija

3 Zaključek

Z enačbo (7) ter vsemi, ki jo definirajo, sem napisala program, ki za poljubno število ciklov in poljubno število polarizacijskih vej vrne spekter $U_{rmax}(t_c)$ ter $t_p(t_c)$, kjer je t_p čas maksimalne napetosti v i -tem ciklu, ter $(\frac{d}{dt} U_r(t))_{max}$ (maksimalen odvod v i -tem ciklu) v navadni ter v log-log skali. Minimalno število polarizacijskih vej za k -ciklov je seveda $n_{min} = \frac{k}{2} - 1$ (imamo 2 geometrijska parametra (R_g, C_g) ter $2n$ polarizacijskih (R_{p_i}, C_{p_i})). Vendar je za čim boljše ujemanje modela z eksperimentom ugodneje, da se doda čim več polarizacijskih vej. Rezultati, ki jih dobimo iz meritev (modre krivulje) ter modelom (rdeče krivulje) pa so:



Slika 6: Spektri levo v navadni skali, desno v log-log skali. Modre krivulje predstavljajo meritev opravljeno na neznanem olju v celici, rdeče pa uporabljeni model izolacije pri izbranih parametrih. Očitno je, da je potrebno parametre še malce spremeniti oz. jih še nekaj dodati, da bi bilo ujemanje modela z meritvijo čim boljše.