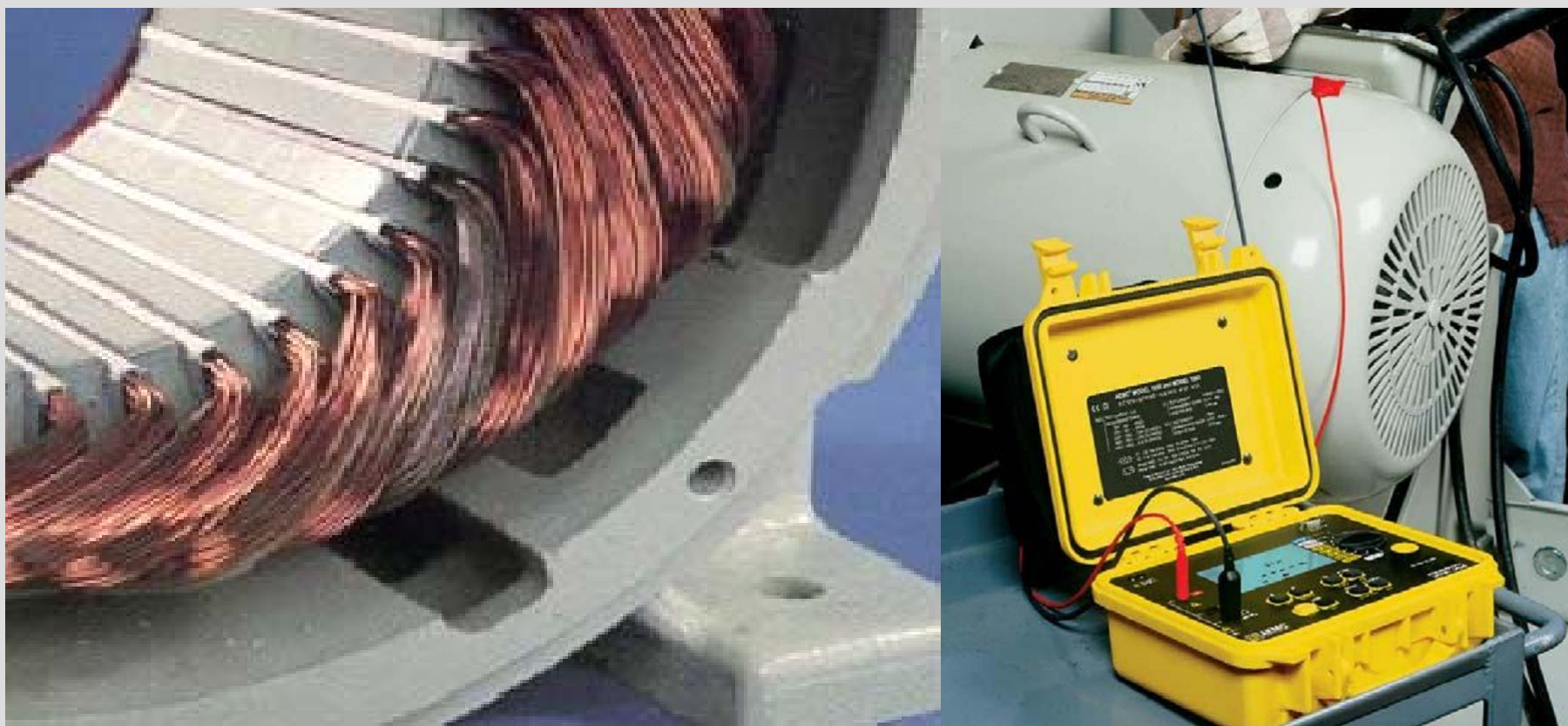




Visoka škola elektrotehike i računarstva
strukovnih studija 2015/2016
Specijalističke studije SNET

Monitoring i
Diagnostika
Električnih
Mašina

MERENJE OTPORA IZOLACIJE ELEKTRIČNIH MAŠINA I TRANSFORMATORA



Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

UVOD

- Otpor izolacije se uglavnom meri pre priključenja mašine na puni napon
- Potrebno je izmeriti otpor izolacije između namotaja i uzemljenih metalnih delova (mase), kao i otpor izolacije između međusobno izolovanih namota (faza)
- Merenje otpora izolacije ima tri cilja:
 - utvrđivanje da nema oštećene izolacije
 - utvrđivanje stanja izolovanosti mašine pre priključenje mašine na puni napon
 - mogućnost poređenja sa kasnijim ispitivanjima izolacije kako bi se stekao kriterijum sa promenama koje su eventualno nastale u izolaciji (ovlaženje, starenje ili eventualna oštećenja)
- Otpor izolacije ne sme imati suviše niske vrednosti

ŠTA PROUZROKUJE DEGRADIRANJE I PROPADANJE IZOLACIJE ?

- Pregrevanje električne mašine (transformatora)
- Preterano hlađenje (ili niske temperature okoline)
- Prevelika vlaga
- Prisustvo prašine
- Korozivna isparenja (nagrizaju izolaciju)
- Ulje
- Vibracije
- Starenje
- Ogrebotine i mehanička zasecanja i oštećenja namotaja

NAJČEŠĆI UZROCI NAPREZANJA IZOLACIJE ?

- Električne mašine i transformatori su u principu izrazito nehomogena celina što se tiče zagrevanja
 - gvozdeni delovi, magnetno kolo i oklop
 - provodnici
 - izolacija**
 - vazdšni procep i sl.
- **Kritični delovi u pogledu zagrevanja su izolacija: namotaja, kolektora!!!.**
- **Izolacija se napreže usled zagrevanja i mehanički (elektromagnetne sile)!!!**

Temperatura namotaja:

$$\theta = \theta_a + \vartheta$$

apsolutna temperatura ←

→ porast temperature
(relativna temperatura)

→ temperatura ambijenta

Proračunska (nominalna) temperatura ambijenta po IEC-u.

$$\theta_{anom} = 40^{\circ}\text{C}$$

Dozvoljeni porast temperature zavisi od klase izolacije!!!!

Klasa izolacije	A	E	B	F	H
Dozvoljeni porast ϑ_{doz} [°C]	60	70	80	100	125

Važno je naglasiti:

$$\theta_{doz} = \theta_{anom} + \vartheta_{doz} = \theta_a + \vartheta$$

KLASE IZOLACIJE (izolacionih materijala) Y, A, E, B

Klase izolacionih materijala					
JUS IEC 85; IEC 85; DIN EN 60034-1					
Klasa	Granična temperatura	Izolacioni materijali	Vezivno sredstvo	Sredstvo za impregnaciju	Primena
Y	90 °C	drvo, pamuk, svila, papir	nema	ne treba	vodovi, omotači
		Psp, Vf, PA, PE, PVC, PS Anilin-Formaldehid-veštačka smola, Karbamid			
A	105 °C	pamuk, svila, drvo, Psp, Vf, PA	nema	asfaltni lak, šelak, kopal, izolaciono ulje	provodnici, namotaji, izolacione cevi
		tkanine, papir, PA	prirodni lakovi, lakovi od veštačke smole		
		slojevito drvo (šper ploča)	fenol formaldehidna smola		
		CA, umrežene poliesterske smole	nema	ne treba	
E	120 °C	PC-, CTA-folije, umrežene poliesterske smole, lak za žicu	nema	lakovi od veštačke smole, mrežaste poliesterske smole, epoksidne smole	namotaji, presovani elementi
		materijali od pamuka, slojevitog papira presovani elementi sa ispunom od celuloze	fenol-milamin-formaldehidne smole		
		obrađivane tkanine	lakovi od veštačke smole		
		etilen-vinilacetat-kopolimer	nema	ne treba	
B	130 °C	staklena vlakna, azbest	nema	kao E	namotaji, presovani elementi
		tkanine od staklenih vlakana, azbest	lakovi od veštačke smole		
		Proizvodi od liskuna	šelak, asfalt, lakovi od veštačke smole, epoksidne smole		
		lakovi za žicu, tkanine i folija na bazi PE-glikolterftalata	nema		
		slojevita staklena vlakna i azbest, Vsp, presovani elementi sa mineralnim ispunom	fenol-melamin-formaldehidne smole, epoksidne smole		

KLASE IZOLACIJE (izolacionih materijala) F, H, C

Klase izolacionih materijala					JUS IEC 85: IEC 85: DIN EN 60034-1
Klasa	Granična temperatura	Izolacioni materijali	Vezivno sredstvo	Sredstvo za impregnaciju	Primena
F	155 °C	staklena vlakna, azbest	nema	alkidne smole, epoksidne smole, silikon-alkidne smole, umrežene poliesterske i PUB smole	namotaji
		tkanine od staklene vune, azbest, proizvodi od liskuna, vezivni materijali bez celuloze (PA-baza)	kao i sredstva za impregnaciju		
		lakovi za žicu (baza: IPE, EI, politereftalat), folija na bazi polimonohtlortrifluoretilena	nema		
H	180 °C	staklena vlakna, azbest	nema	silikonske smole	provodnici i namotaji otporni na toplotu, izolacione cevi omotači
		tkanine od staklenih vlakana, azbest	silikonske smole, silikonski kaučuk		
		proizvodi od liskuna	silikonske smole		
		vlakna (baza PA), folije (baza PI), lakovi za žicu (baza PI)	nema		
C	> 180°	liskun, porcelan, staklo, kvarc	nema	nikakvo, ili vezivno sredstvo, npr. cement	izolatori, namotaji otporni na toplotu
		tkanine od staklenih vlakana, azbest, proizvodi od liskuna	silikonske smole sa visokom postojanošću na toplotu	kao i vezivna sredstva	
		politetrafluoretilen	nema	ne treba	

Dozvoljeni porasti temperatura rotacionih električnih mašina obzirom na klase izolacije

[illegible]

ODNOS IZMEĐU VEKA TRAJANJA IZOLACIJE I TEMPERATURE?

- Jedan od najvažnijih faktora u konstrukciji ali i u pogonu električnih mašina je odnos između veka trajanja izolacije i radne temperature mašine
- Izolacioni materijal stari, odnosno razlaže se pod uticajem toplote
- Starenjem dakle postaje dominantna toplotna nestabilnost izolacionih materijala
- **ISKUSTVENO PRAVILO:** za svakih 8°C povišenja radne temperature vek trajanja mašine se smanjuje na polovinu i obrnuto
- Vek trajanja $t = A \cdot e^{-\alpha \cdot \theta}$ (θ -temperatura izolacije, A i α su konstante za dati materijal)
- Može se pokazati da je $t_1/t_2 = e^{\alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \approx 0.917^{(\theta_2 - \theta_1)}$
- $t_1/t_2 \approx 0.5 \approx 0.917^{(\Delta\theta \approx 8^\circ\text{C})}$
- Na primer za klasu izolacije A važi:

Temperatura	82°C	90°C	98°C
Vek trajanja	40 god	20 god	10 god

POJAM “NOMINALNE SNAGE” ELEKTRIČNE MAŠINE/TRANSFORMATORA

- Propisima su određena dozvoljena povišenja temperatura za električne mašine i transformatore opterećene nominalnom snagom
- Za mašine klase izolacije A (izolacija sačinjena od pamuka, svile, papira i sličnih materijala u impregnisanom stanju) dozvoljeno zagrevanje iznad temperature okoline iznosi $\Delta \theta = \theta - \theta_a = 60^{\circ}\text{C}$, kada mašina radi u određenom režimu predviđeno vreme
- Šta to drugim rečima znači?
- Ako se neka mašina opterećena “nominalnom snagom” zagreje više od dozvoljene temperature, to znači da je njena stvarna nominalna snaga manja, i upravo jednaka onoj pri kojoj će njeno zagrevanje biti jednako dozvoljenom zagrevanju

NOMINALNA SNAGA Ako motor u nominalnim uslovima (ω_{nom} , I_{nom} , U_{nom} , θ_{anom} i td.) razvija nominalnu snagu porast temperature u stacionarnom stanju mora da bude:

$$\mathcal{G}_{doz} = \mathcal{G}_{max}$$

JEDNOČASOVNA SNAGA Ista definicija kao i za nominalnu snagu, s time što se dozvoljeni porast temperature dostiže za 1 čas.

PREOPTERETLJIVOST Sposobnost preopterećenja po snazi, momentu ili struji (v). Preopterećenja su moguća samo za kratko vreme, tako da se ne prekorači *dozvoljeni porast temperature*.

Minimalna preopteretljivost je $v_{min} = 1,6$.

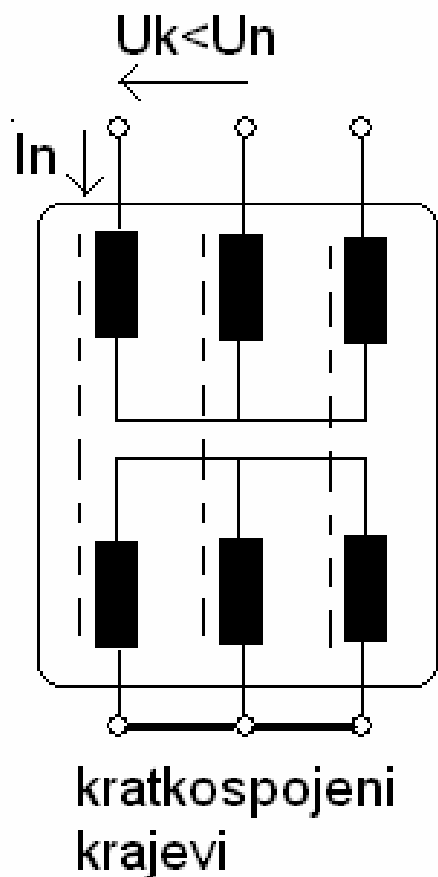
VREDNOSTI OTPORA IZOLACIJE

- Vrednosti otpora izolacije kod električnih mašina i transformatora kreću se od $0.5 \text{ M}\Omega$ pa naviše i ove vrednosti su zavisne od više faktora:
 - vlažnosti mašine,
 - trajanja merenja,
 - temperature,
 - mernog napona,
 - veličine mašine,
 - vrste i debljine izolacionog materijala i dr.
- Sistematskim merenjem otpora izolacije može se steći utisak o starenju izolacije ali je, obzirom na razne uticaje, uvek potrebno vršiti merenja pri praktično istim uslovima.

UTICAJ TEMPERATURE

- Ako se električna mašina ili transformator zagrevaju toplim suvim vazduhom (temperature 80°C-100°C) ili nazivnom strujom pri sniženom naponu (ogled kratkog spoja), dolazi do porasta otpora izolacije
- Galvanska otpornost namotaja ne zavisi od koncentracije vlage, ali izolaciona itekako zavisi
- Mere se sledeći otpori izolacije:
 - Otpor izolacije namotaja prema masi i otpor izolacije između namotaja (faza)
 - Otpor izolacije ugrađenih otporničkih termometara (ugrađuju se obično u žlebovima statora mašina i između izolacije i zida ili osnove žleba)

ODSTRANJIVANJE VLAGE IZ IZOLACIJE- pri sniženom naponu



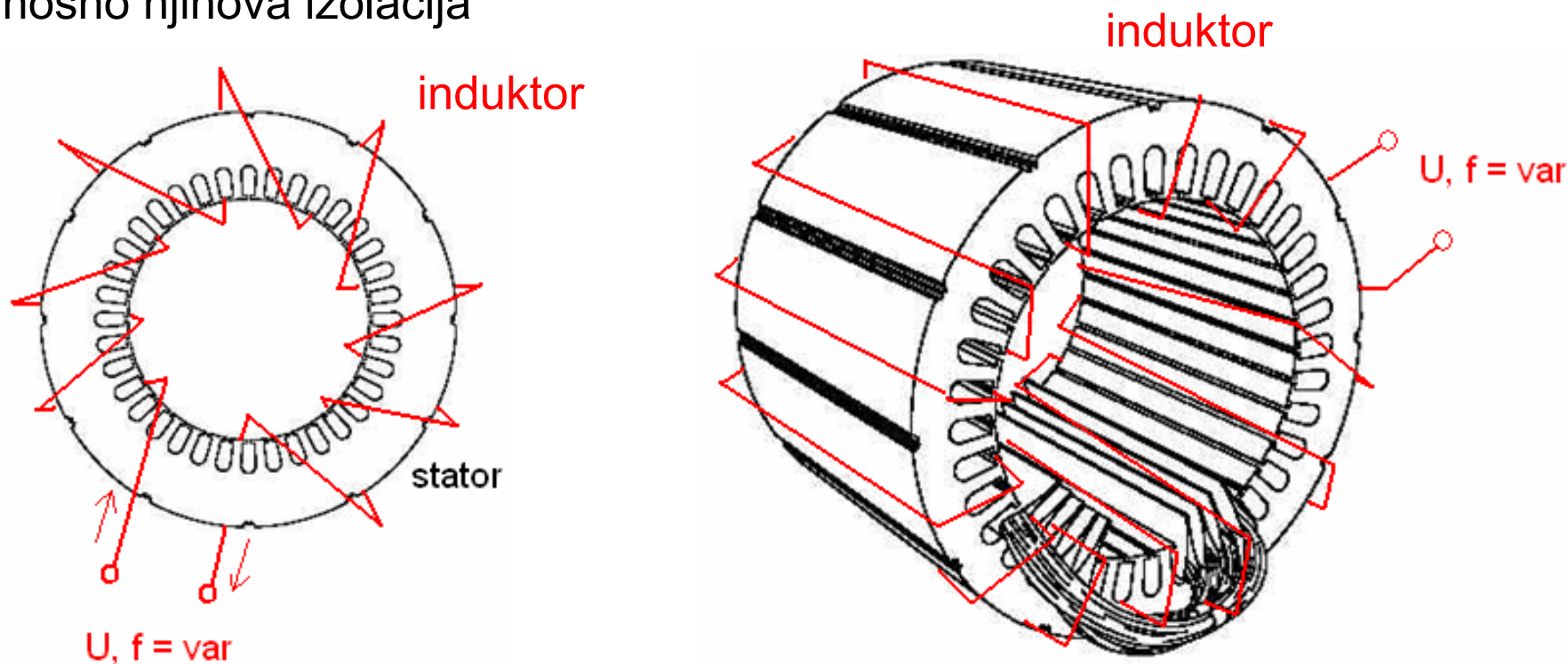
Kod korisnika koji nemaju temičke komore za odstranjivanje vlage iz namotaja izolacije namotaja, odnosno isušivanje izolacije, mora se primeniti grejanje pri sniženom naponu, ali pri nominalnoj struji.

Ustvari mora se izvršiti ogled kratkog spoja.

- Ogled kratkog spoja se vrši pri sniženom naizmeničnom naponu U_k , ali pri nominalnoj struji
- Grejanje izolacije se ostvaruje na osnovu snage gubitaka u bakru pri nominalnoj struji I_n
- Na ovaj način se izolacija isušuje i dolazi do porasta otpora izolacije
- Vrednost sniženog napona $U_k = u_k(r.j) \times U_n$
- $u_k(r.j)$ je relativna vrednost napona kratkog spoja čije su tipične vrednosti 0.04, 0.06, 0.08,...
- Grejanjem namotaja isparava vlaga iz izolacije
- Ova metoda se može primeniti kako kod energetskih transformatora, tako i kod električnih mašina

ODSTRANJIVANJE VLAGE IZ IZOLACIJE- indukcionim grejanjem

- Kod velikih obrtnih mašina , isušivanje izolacije se vrši indukcionim zagrevanjem (sa promenljivom učestanošću i naponom)
- Kod ovih mašina bi ogled kratkog spoja bi bio zahtevan, stoga se pribegava indukcionom zagrevanju
- Mašina se demontira, izvadi se iz nje rotor a stator se obmota sa provodnicima
- Indukcionim zagrevanjem povećavaju se gubici u gvožđu mašine ili transformatora
- Na ovaj način se greje i isušuje kako magnetno kolo (Fe) tako i namotaji (Cu), odnosno njihova izolacija



KAKO SE MERI OTPOR IZOLACIJE?

- Otpor izolacije se meri pri visokim jednosmernim naponima, kako bi merena struja kroz izolaciju bila merljiva
- DC naponi: 500V, 1000V, 2500V i 5000V
- Za razliku od merenja otpora namotaja (zavisan samo od temperature), otpor izolacije jako zavisi od više faktora: temperature, vlage, trajanja merenja (menja se u toku merenja), mernog napona, debljine izolacionih materijala i sl.

DOVOLJAN OTPOR IZOLACIJE?

- Orijentaciona vrednost za dovoljan otpor izolacije R_i je:

$$R_i [\text{M}\Omega] \approx U_n [\text{kV}]$$

pri merenju sa naponom 500VDC.

- Za asinhronu mašinu nazivnog napona 6kV, dovoljan otpor izolacije između faza i prema masi je približno 6MΩ ili veći.

- Prema američkom standardu za sinhronne generatore čije su snage 1MVA i više, propisan je minimalni otpor izolacije:

$$R_i = k_\theta k_i \frac{(U_n + 3,6)(8 + \sqrt{n})}{\sqrt{P_n} - 16}$$

R_i- otpor izolacije u [MΩ]

n- nominalna brzina obrtanja [ob/min]

U_n- nazivni napon u [kV]

P_n – nazivna snaga [kW]

k_θ – temperaturni koeficijent , k_i - koeficijent izolacije (zavisí od klase izolacije)

- Za mašine ispod 1MVA propisan je minimalni izolacioni otpor (isto važi i za asinhronne mašine):

$$R_i [\text{M}\Omega] = U_n [\text{kV}] + 1$$

- Za **pobudne namotaje i za mašine jednosmerne struje i za snage $P < 100[\text{kW}]$** , koje su po pravilu niskonaponske, zahteva se otpor izolacije najmanje $1[\text{M}\Omega]$, pri temperaturi 75°C i mernom naponu od $500[\text{V}]$.
- Za **mašine jednosmerne struje snage $P \geq 100[\text{kW}]$** otpor izolacije se određuje prema:

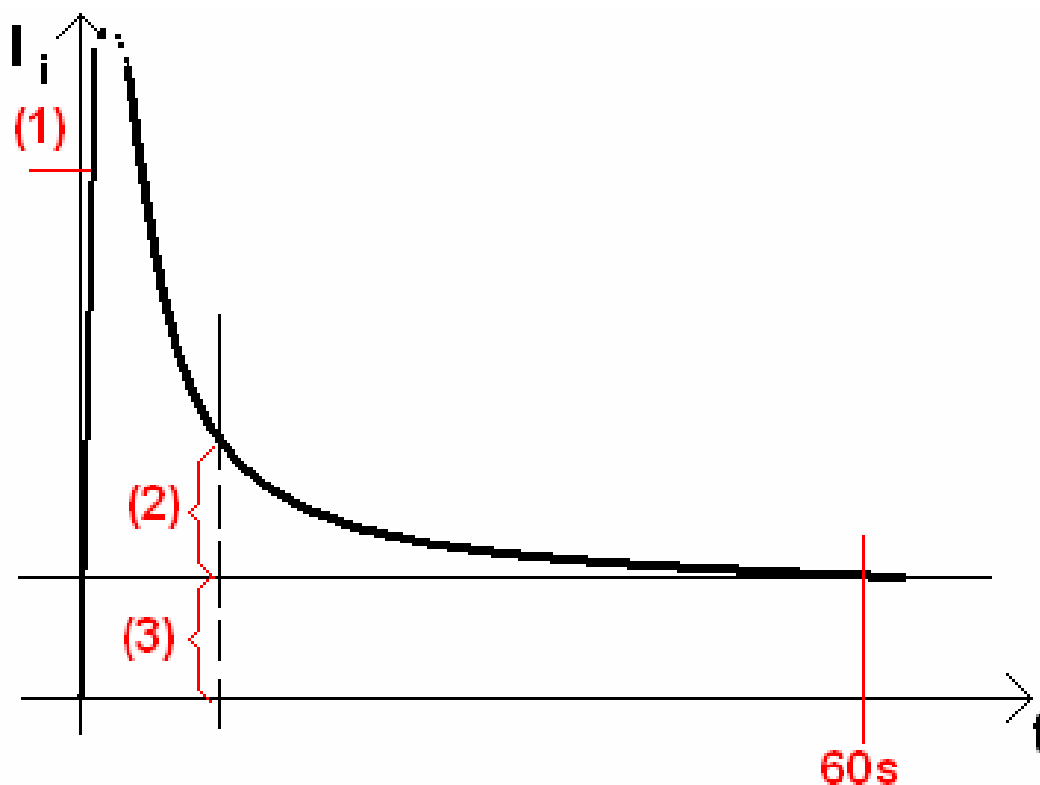
$$R_i = k_e k_i \frac{n + 700}{0,1P_n + 500}$$

k_e - naponski koeficijent (određen naponskim nivoom)

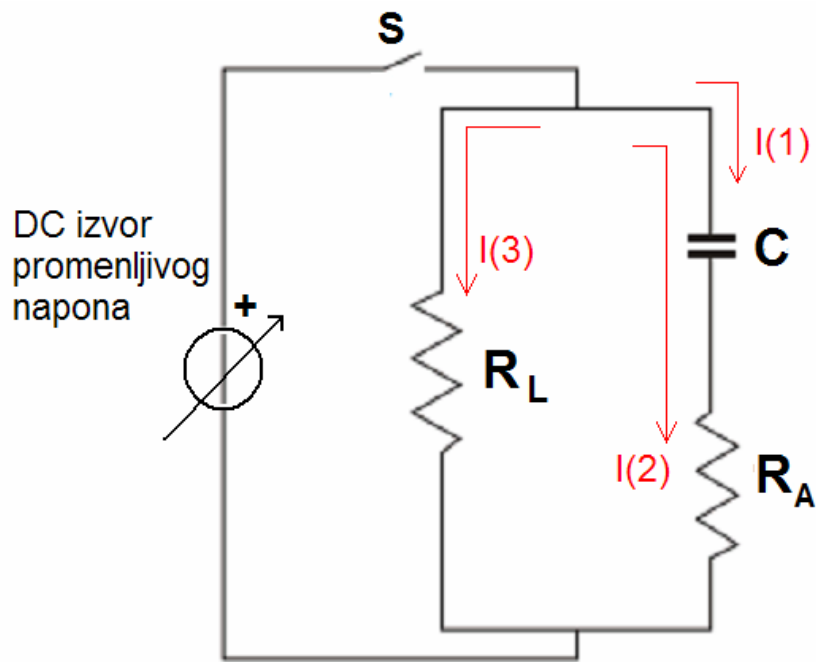
Ostali parametri su isti kao u prethodnoj relaciji

ZAVISNOST OTPORA IZOLACIJE OD TRAJANJA MERENJA

- Zavisnost otpora izolacije od trajanja merenja se objašnjava činjenicom što ispitna struja I_i kojom se vrši merenje ima tri komponente (1) *struja početnog punjenja kapaciteta*, (2) *struja apsorbovanja- polarizaciona* i (3) *struja curenja- izolacionu*
- Početno punjenje i polarizacija se događa u izolaciji, slično kao što se dešava u elektrolitskim kondenzatorima



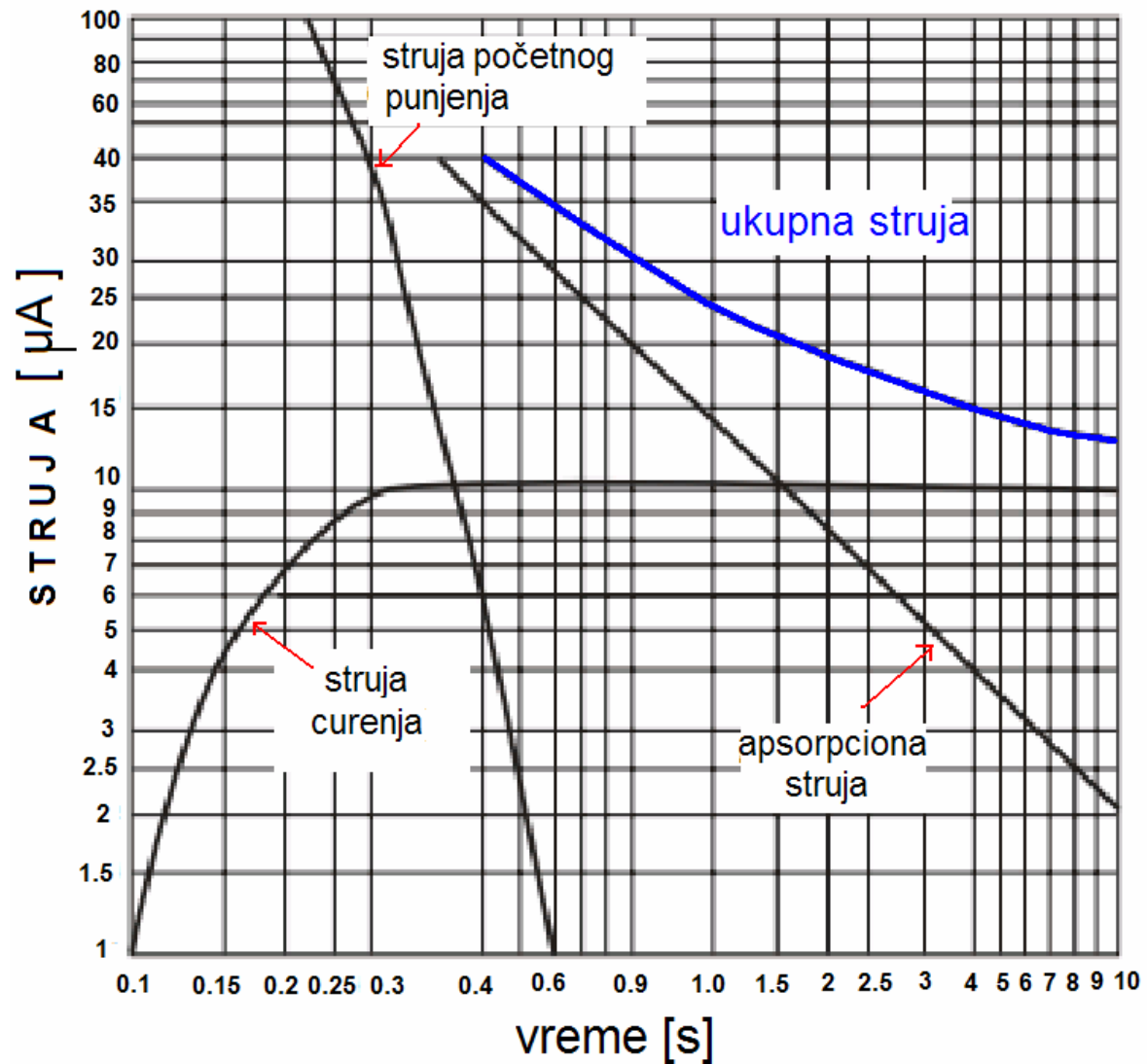
TEST STRUJE U IZOLACIJI- logaritamska podela



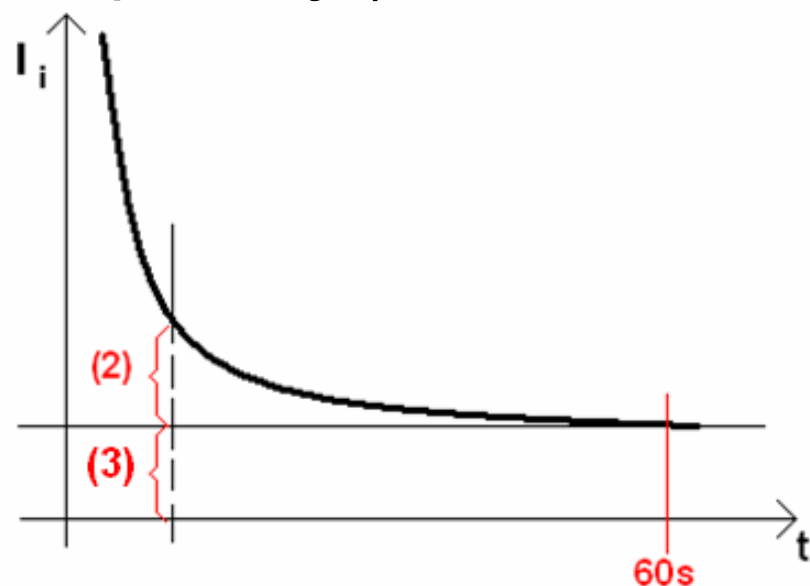
$I(1)$ - struja početnog punjenja kapaciteta C

$I(2)$ - apsorpciona struja

$I(3)$ - izolaciona struja (struja curenja) određuje dielektrične gubitke

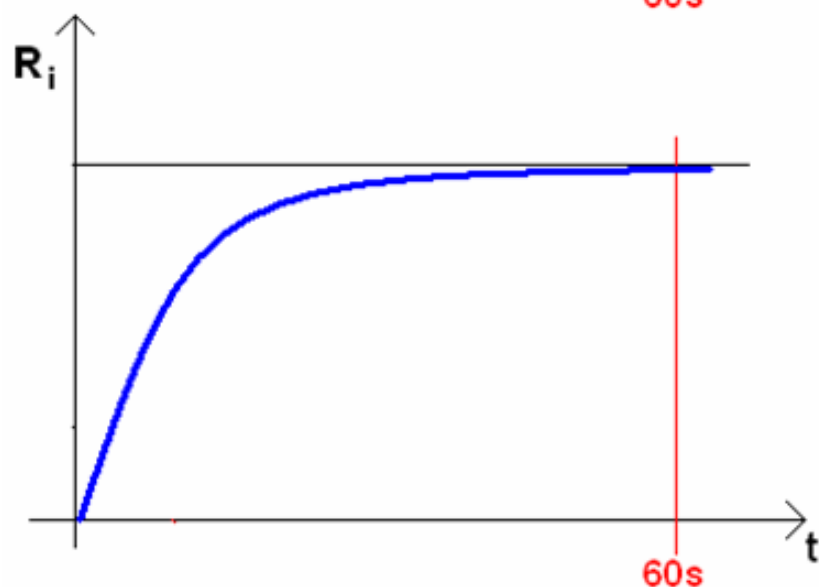


- Na osnovu dijagrama ispitne struje se dobija vremenska zavisnost otpora izolacije (zavisnost od trajanja ispitivanja) odnosno $R_i = F(t)$:



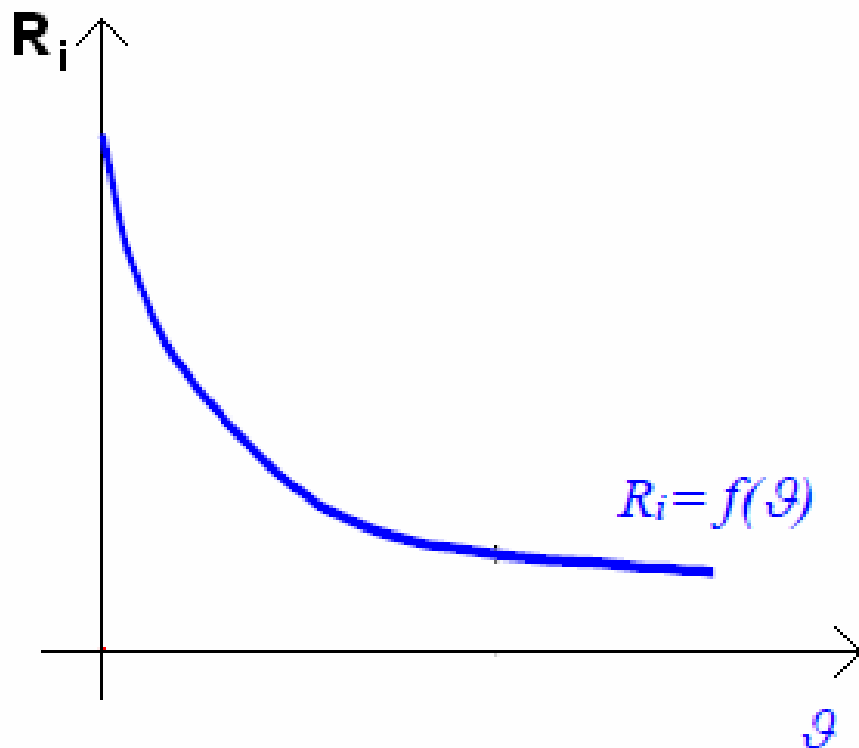
-Za otpor izolacije se uzima vrednost koja se dobije nakon iščezavanja polarizacione komponente

-Ustaljeno stanje nakon koje se dobija konstantna vrednost otpora izolacije se uspostavlja za oko 60s



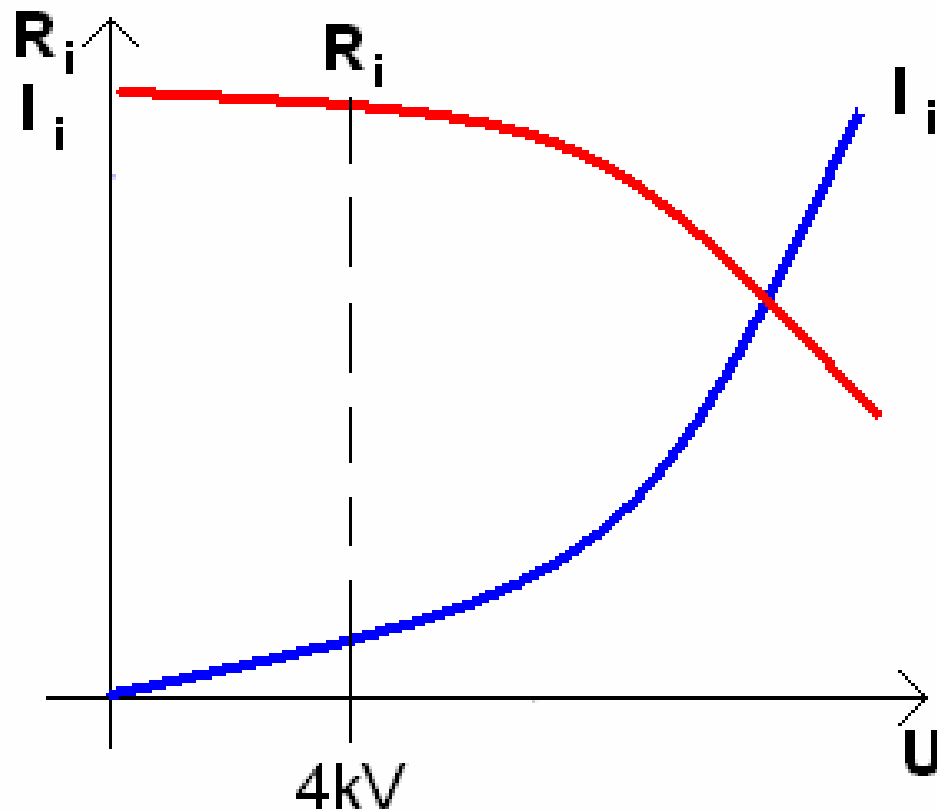
-Suprotno od otpornosti metala i provodnika, otpor izolacije opada sa temperaturom, po eksponencijalnom zakonu, slično kao kod poluprovodnika i elektrolita

ZAVISNOST OTPORA IZOLACIJE OD TEMPERATURE



- Suprotno od otpornosti metala i provodnika, otpor izolacije opada sa temperaturom, po eksponencijalnom zakonu, slično kao kod poluprovodnika i elektrolita
- Poželjno je ukoliko postoje uslovi, otpor izolacije meriti i na zagrejanoj mašini, nakon ogleda zagrevanja ili nakon isključenja mašine iz pogona

UTICAJ ISPITNOG NAPONA NA OTPOR IZOLACIJE

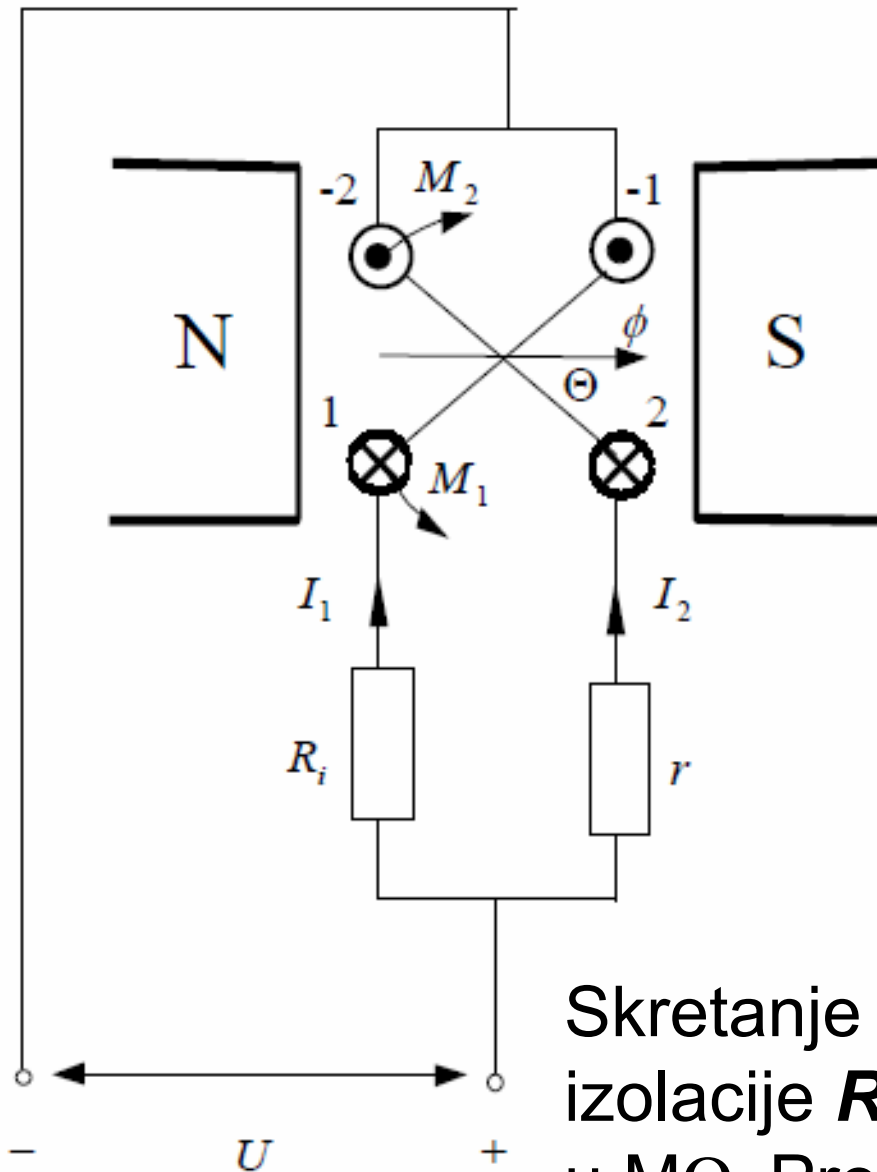


- Ako se merni napon povećava od 500V do 4kV struja polagano raste, a otpor izolacije na isti način (lagano), opada.
- Pri višim naponima struja počinje brže da raste, dok otpor izolacije brže opada

MEGAOMMETAR

- Otpor izolacije se meri jednosmernom strujom pomoću specijalnih logometrijskih instrumenata tzv. megaommetara
- Megommetar se sastoji iz izvora jednosmerne struje (generatora ili ispravljača) i logometrijskog mernog sistema
- Grupa motor-generator se koristi za dobijanje DC napona većih snaga, dok se transformator sa ispravljačem koristi za dobijanje DC napona manjih snaga
- Sistem ima dva obrtna kalema (1) i (2) na koje deluju suprotni obrtni momenti M_1 i M_2

PRINCIPSKA ŠEMA MEGAOMMETRA



$$M_1 = NI_1 \phi \sin \theta$$

$$M_2 = NI_2 \phi \cos \theta$$

U ravnotežnom stanju je
 $M_1 = M_2$

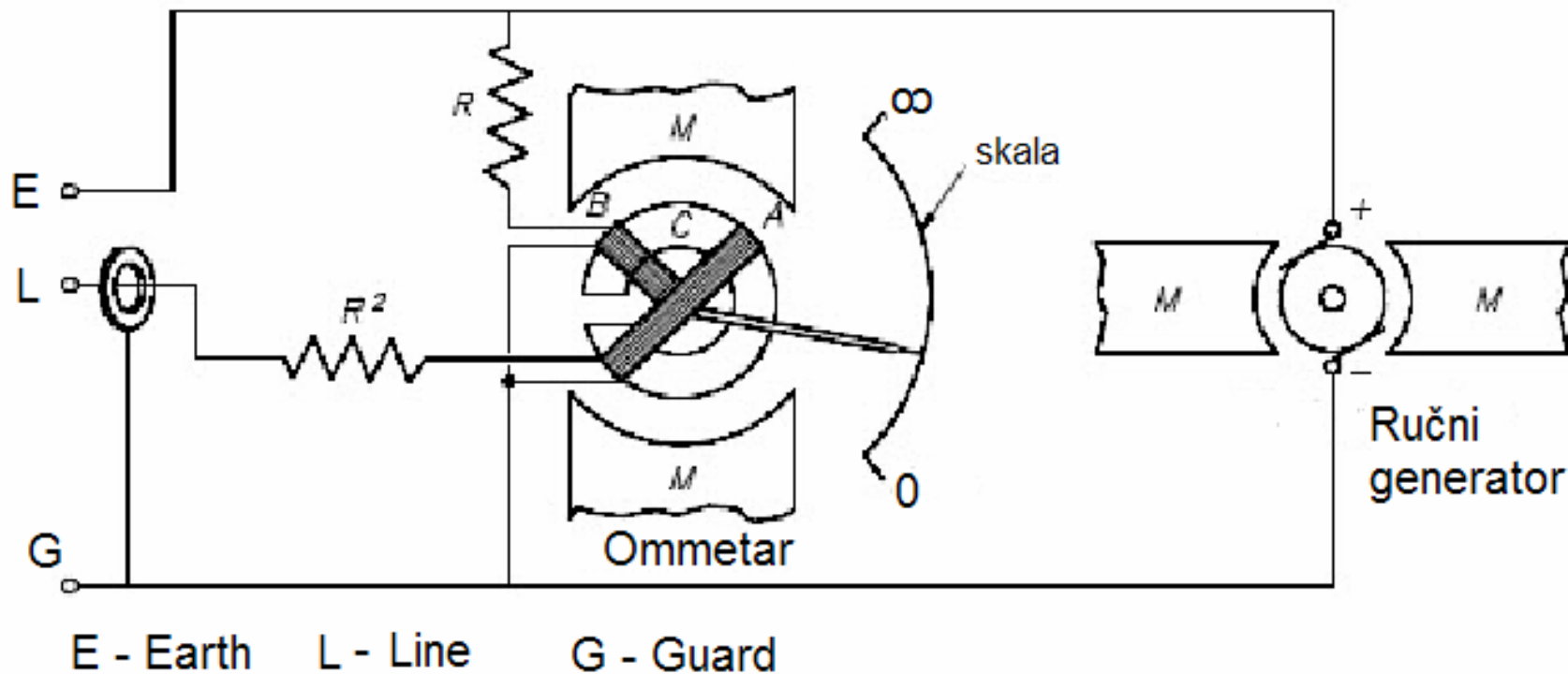
$$NI_1 \sin \theta = NI_2 \cos \theta$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_i}{r_i}$$

$$R_i = r_i \operatorname{tg} \theta$$

Skretanje θ je funkcija merenog otpora izolacije R_i , a skala instrumenta se baždari u $M\Omega$. Promenom otpora r_i je moguće promeniti opseg merenja

RUČNI MEGAOMMETAR



M - magnet

A - zakretni namotaj

B – kontrolni namotaj

C- jezgro namotaja

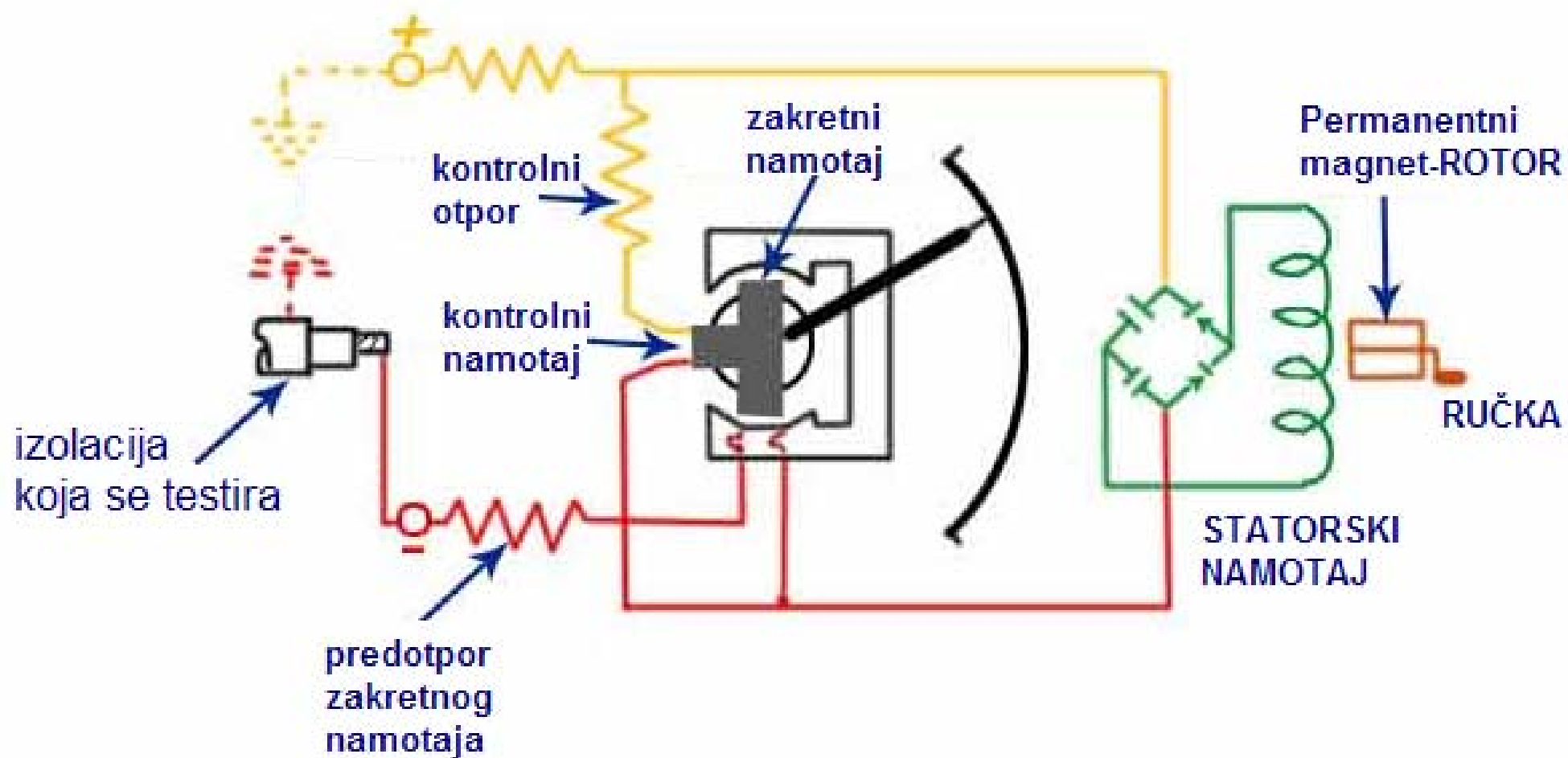
R- zaštitni otpor

R^2 - zaštitni otpor

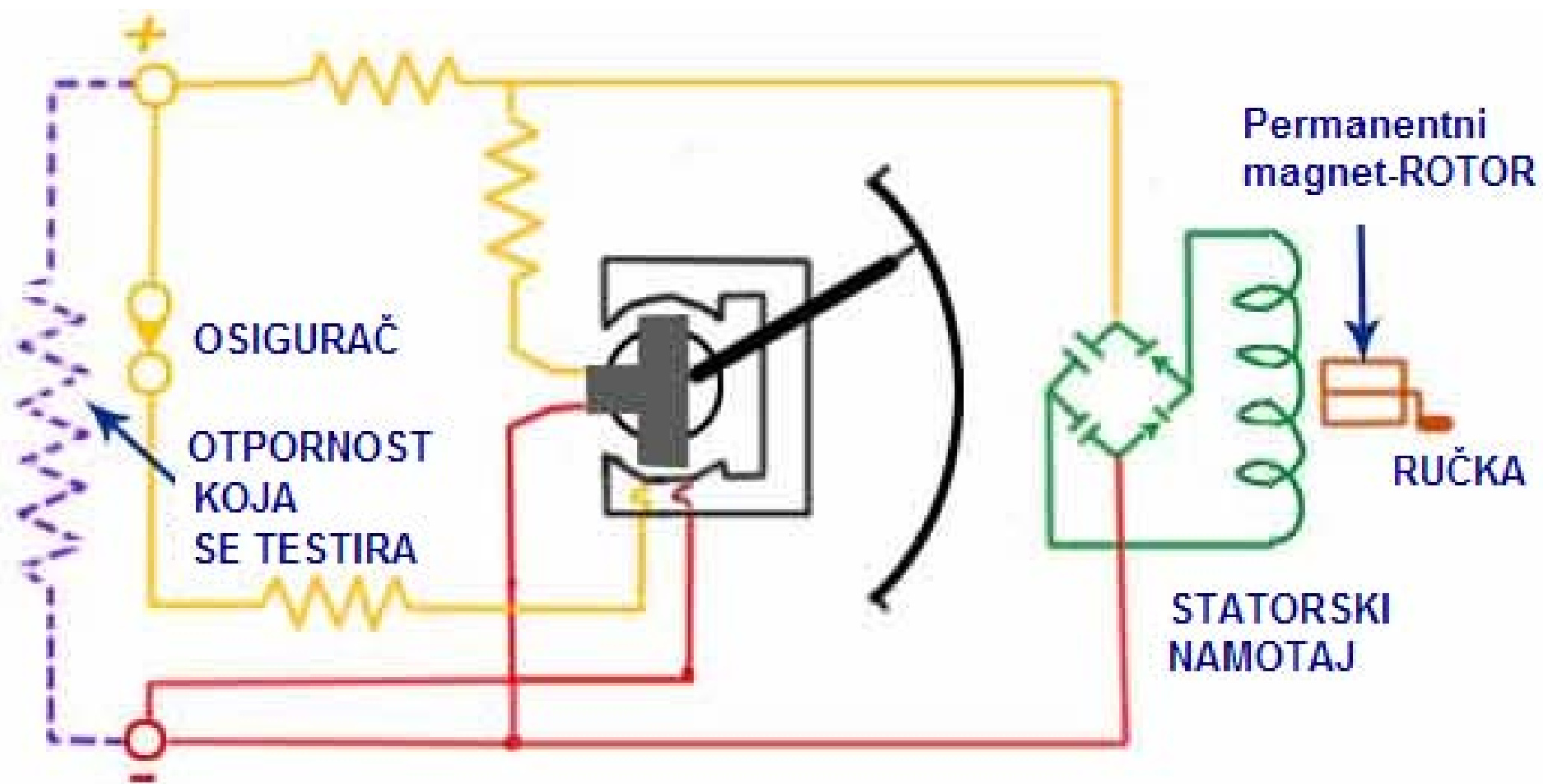
Prikaz merača izolacije (megger instrumenta)
kod koga je DC napon obezbeđen iz ručnog
generatora



RUČNI MEGAOMMETAR – Konfiguracija za test izolacije



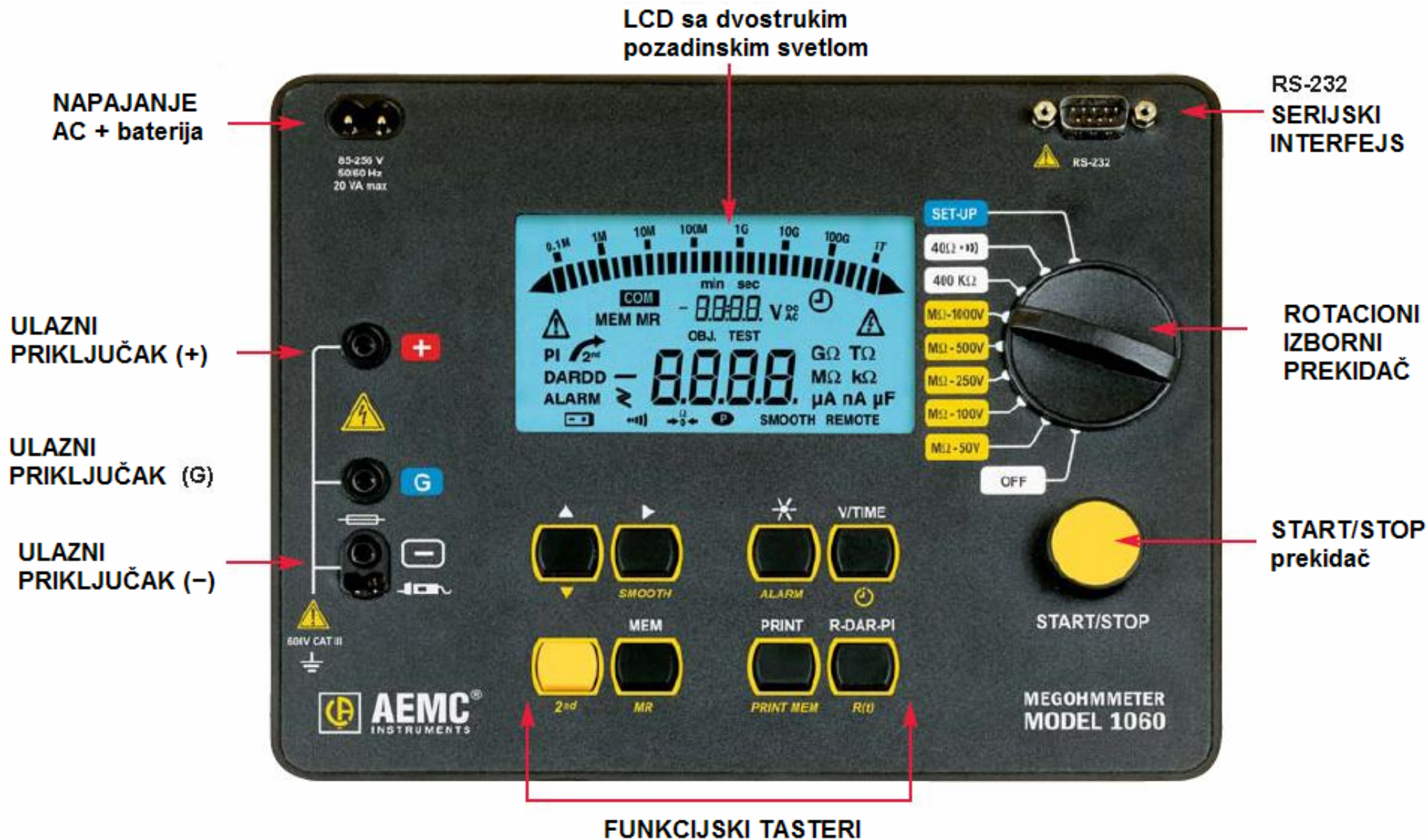
RUČNI MEGAOMMETAR – Konfiguracija za kontinualni test (otpornosti)



RAZNE IZVEDBE DIGITALNIH ELEKTRONSKIH MEGAOMMETAR-a

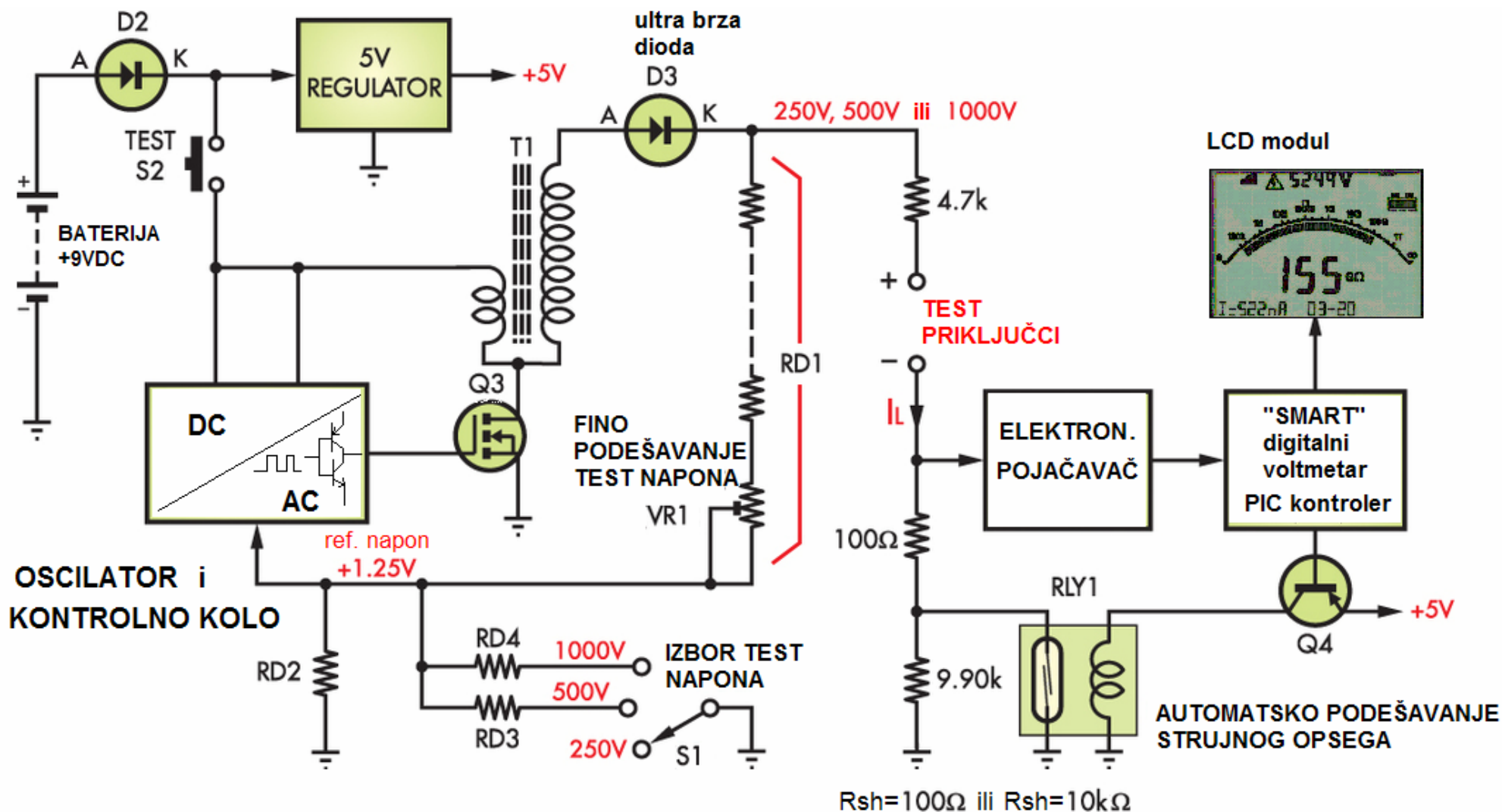


AEMC- MODEL 1080 DIGITALNI ELEKTRONSKI MEGAOMMETAR



ELEKTRONSKI MEGAOMMETAR (baterijski napajan)

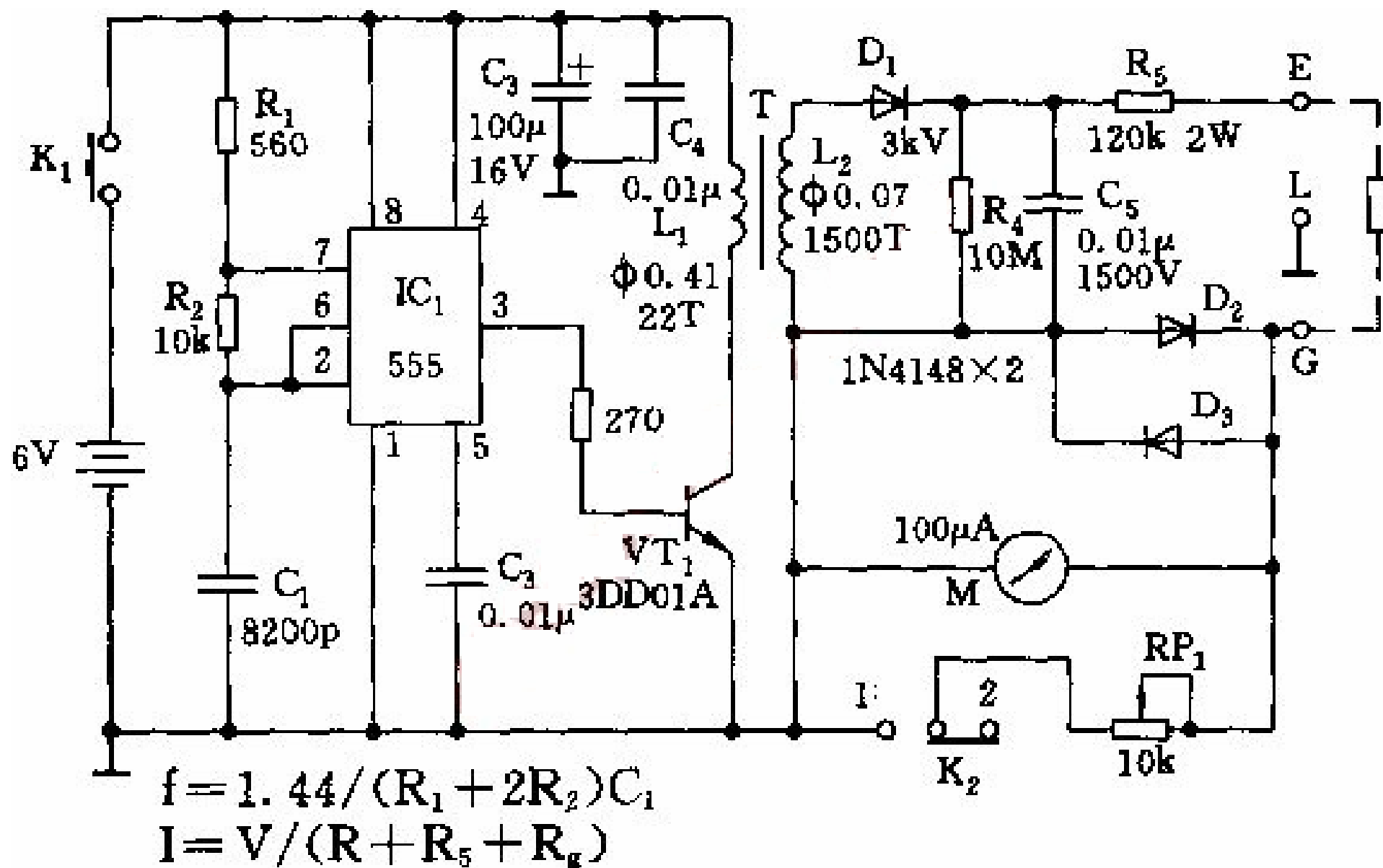
Funkcionalna blok šema



DC-DC konvertor generiše visoki napon sve dok se drži pritisnut TEST taster S2. Kada se on otpusti visoki napon iščezava kroz otpore u delitelju RD1-RD4. Taster ima sigurnosni efekat i štedi bateriju. Dva merna opsega struje curenja I_L (u zavisnosti da li se koristi 100Ω i $10k\Omega$)

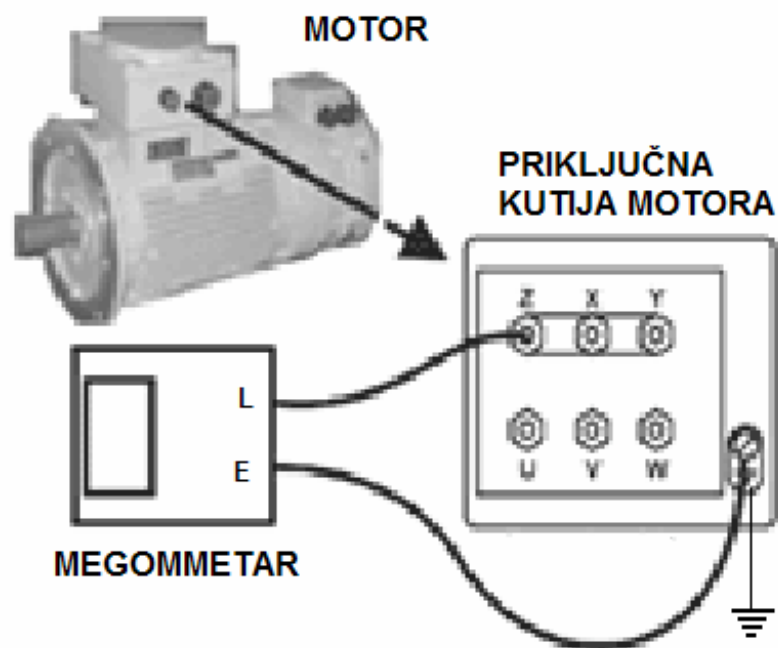
ELEKTRONSKI MEGAOMMETAR (baterijski napajan)

Konkretna elektronska šema

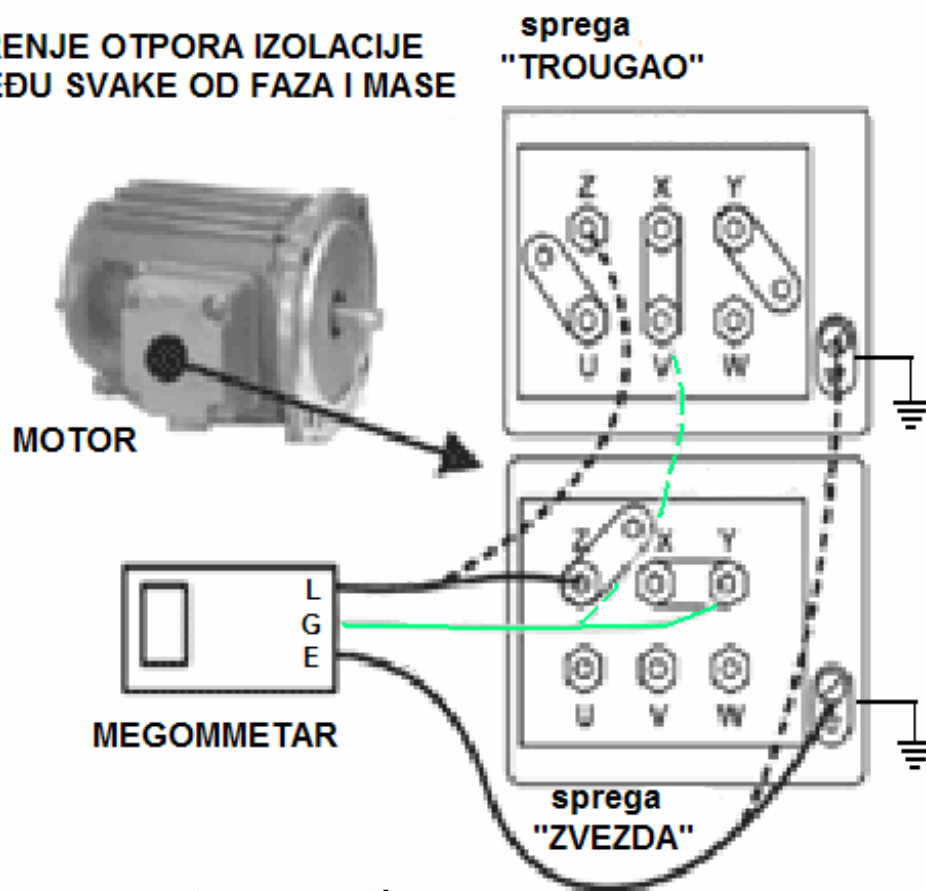


MERENJE OTPORA IZOLACIJE KOD ELEKTROMOTORA

MERENJE OTPORA IZOLACIJE
IZMEĐU SVIH FAZA I MASE



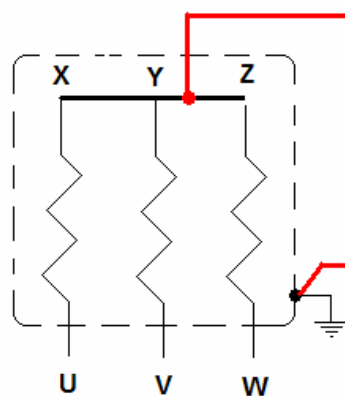
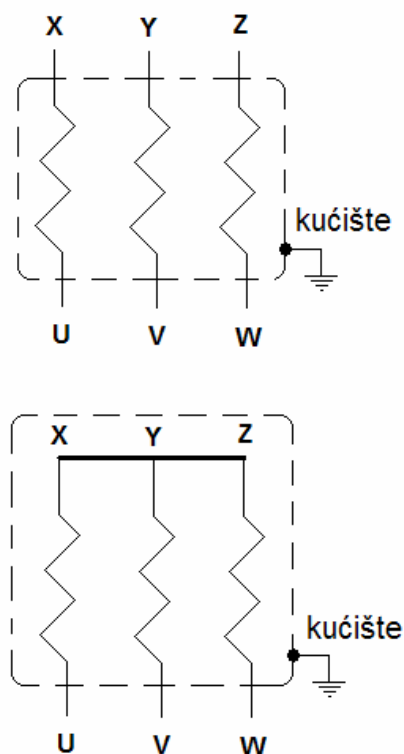
MERENJE OTPORA IZOLACIJE
IZMEĐU SVAKE OD FAZA I MASE



Merenje izolovanosti namotaja vrši se megaommetrom, s tim što ispitni napon megaommetra mora biti:

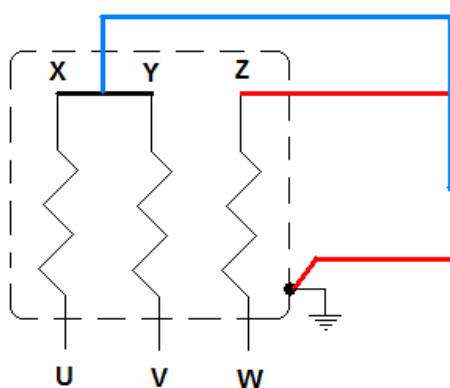
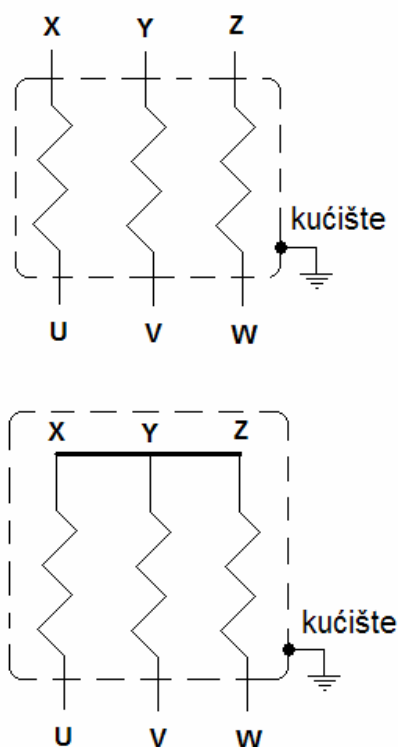
- za namotaje naznačenog napona do 1kV, $U_{isp} = 1000V$ DC
- za namotaje naznačenog napona preko 1kV, $U_{isp} = 2500V$ DC

Merenje otpora izolacije između svih faza i mase (sprega “zvezda”)



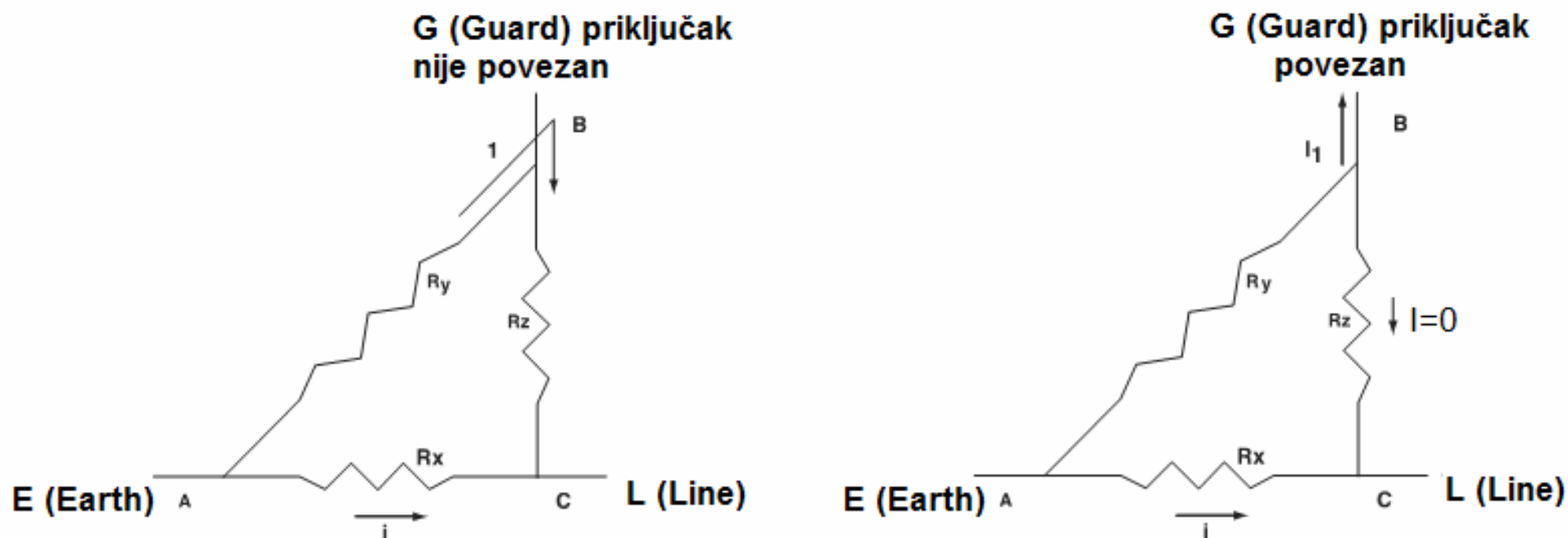
- Priključak L (Line) se vezuje na masu
- Priključak E (Earth) se vezuje na zvezdište
- Priključak G (Guard) nije povezan

Merenje otpora izolacije između svake od faza i mase (sprega “zvezda”)



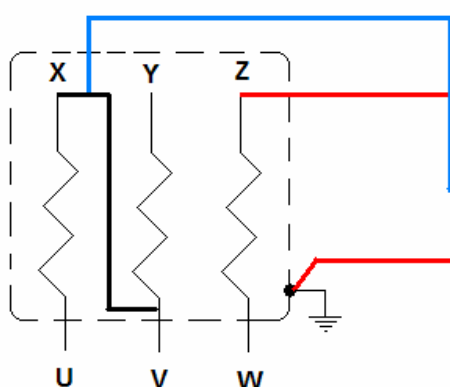
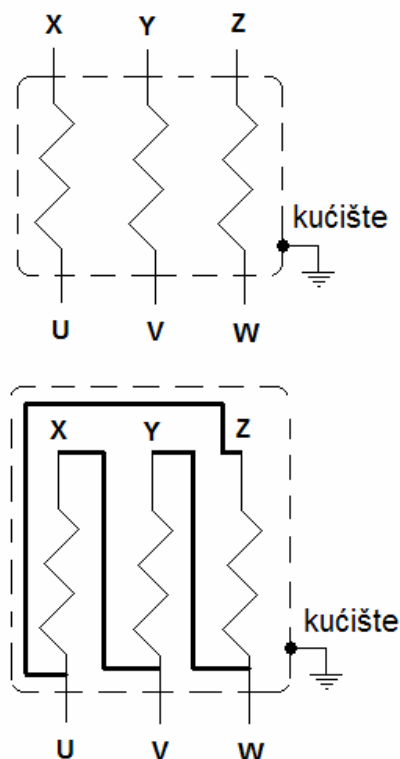
- U ovom konkretnom slučaju se meri otpor izolacije faznog namotaja W-Z prema masi
- Priključak G (Guard) mora biti vezan na zajedničku tačku ostala dva namotaja koji se ne testiraju

ULOGA PRIKLJUČKA “GUARD”



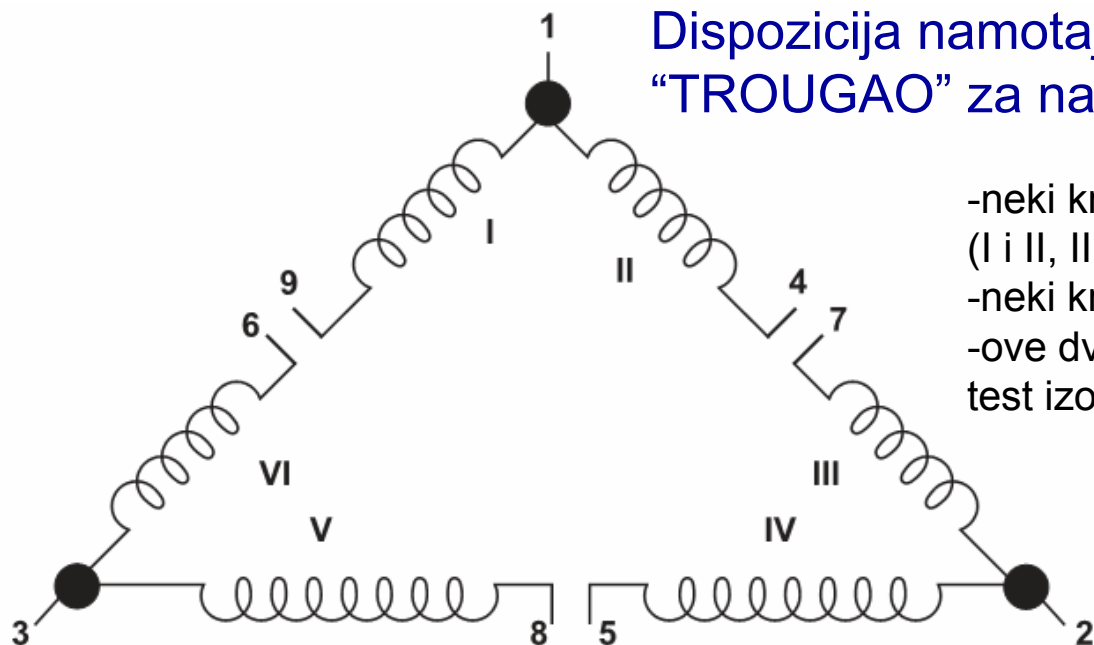
- Priključak G (Guard) kod megaommetra dobija na značaju kada se mere relativno velike vrednosti otpora izolacije
- Ako se on ne poveže može doći do greške u merenju struje I , na osnovu koje meri otpor R_x , obzirom da će deo struje proticati i kroz R_y i R_z
- Ako se poveže priključak G pojavljuje se struja odvoda I_1 , tako da nema struje kroz R_z , i merenje je samim tim tačnije, odnosno merimo samo struju kroz otpor R_x (koji se ustvari ispituje)

Merenje otpora izolacije između svake od faza i mase (sprega “trougao”)



- U ovom konkretnom slučaju se meri otpor izolacije faznog namotaja W-Z prema masi
- Priključak G (Guard) mora biti vezan na zajedničku tačku ostala dva namotaja koji se ne testiraju
- Specifična situacija nastaje kada su namotaji po fazi u ovoj sprezi sekcionisani (sa dve sekcije)!!!

Dispozicija namotaja asinhronog motora u sprezi “TROUGAO” za naponske nivoe 240VAC ili 480VAC



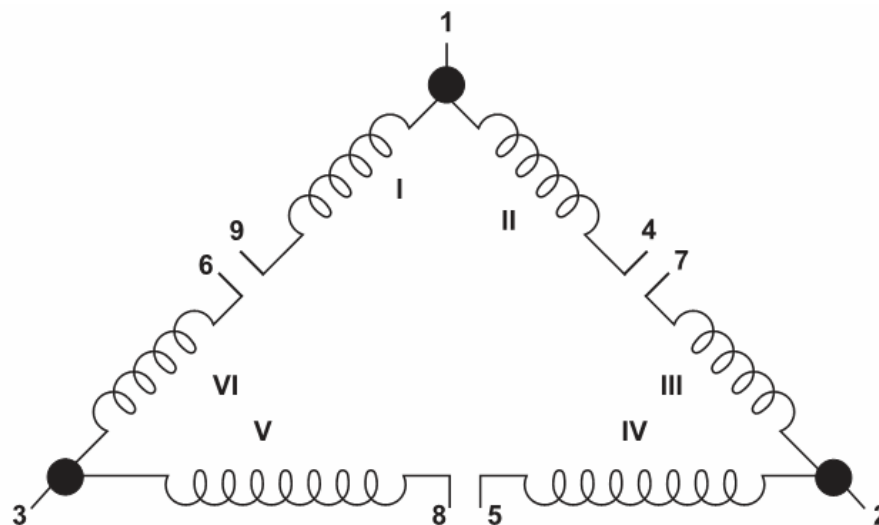
- neki krajevi namotaja su stalno spojeni interno (I i II, III i IV, V i VI)
- neki krajevi su pristupačni (odvojeni)
- ove dve konstatacije su bitne kada je u pitanju test izolacije

	L1	L2	L3	spoj
240VAC	1,6,7	2,4,8	3,5,9	-
480VAC	1	2	3	4-7, 5-8, 6-9

Pošto svi namotaji nisu odvojeni neće biti moguće meriti otpor izolacije između namotaja (namotaj-namotaj) za svih 6 namotaja.

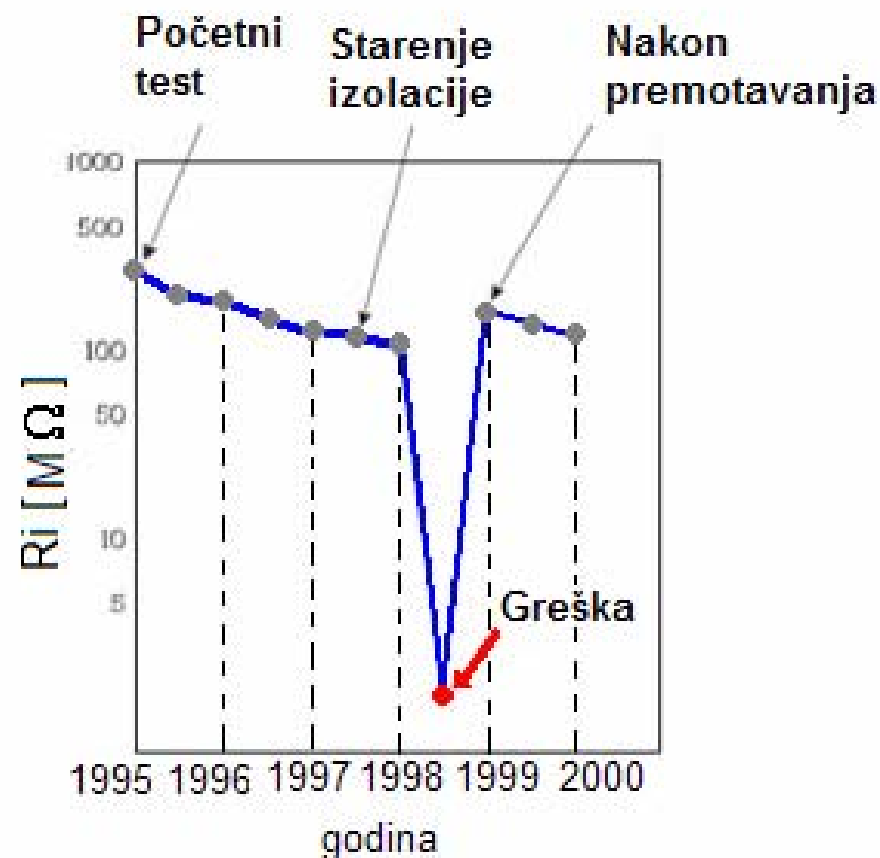
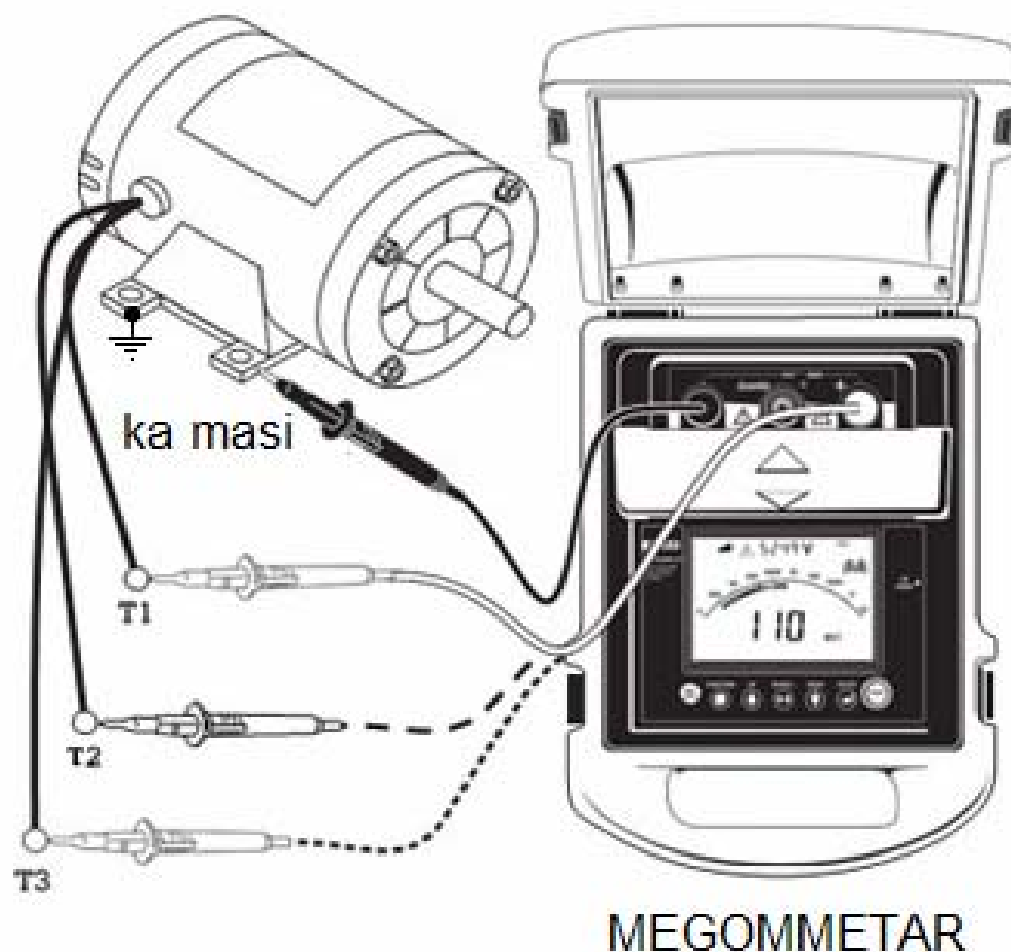
Kako onda vršiti test i merenje za ovaj slučaj?

Način testiranja izolacije
za namotaj sa dve sekcije po
fazi, i u sprezi “trougao”



Megaommetar (+)	Megaommetar (-)	Test otpora izolacije
Priključak 1	Kućište motora	Namotaji I i II - kućište
Priključak 2	Kućište motora	Namotaji III i IV- kućište
Priključak 3	Kućište motora	Namotaji V i VI-kućište
Priključak 1	Priključak 2	Namotaji I i II - III i IV
Priključak 2	Priključak 3	Namotaji III i IV – V i VI
Priključak 3	Priključak 1	Namotaji V i VI – I i II

Periodični test tzv. "spot-check"

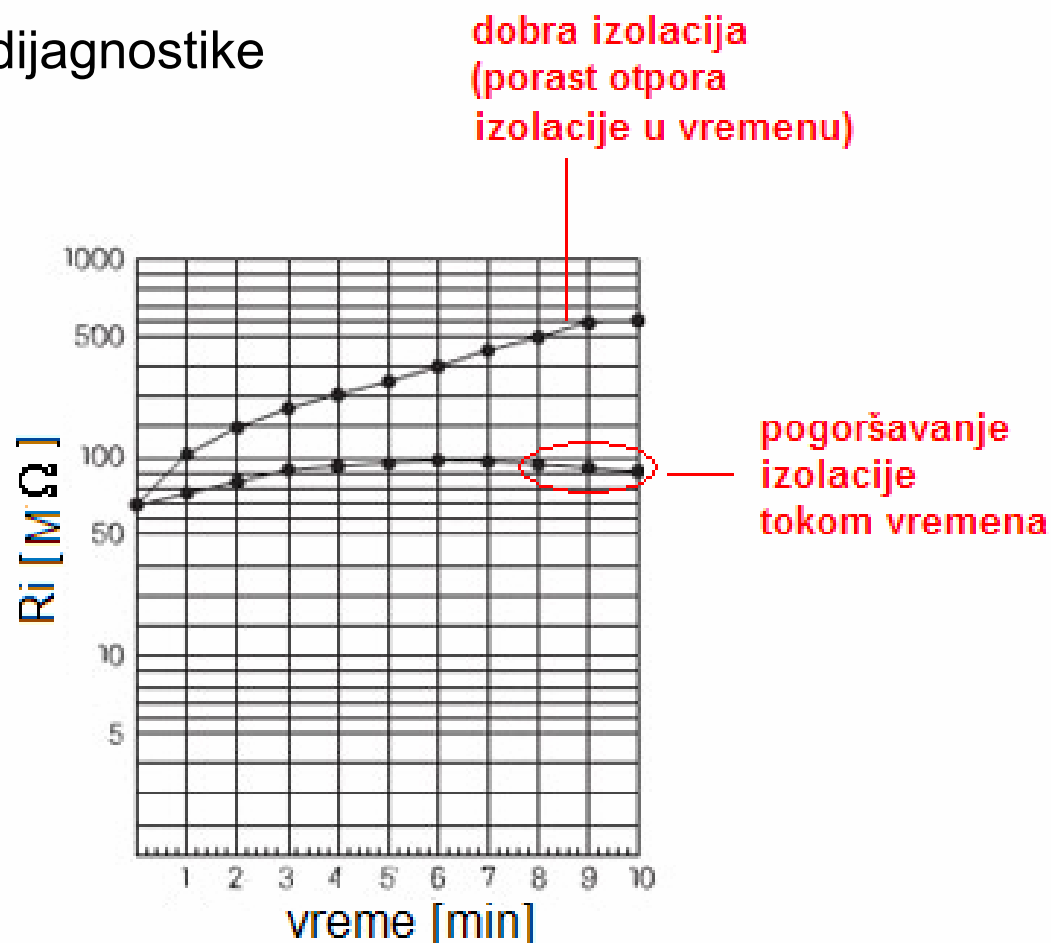
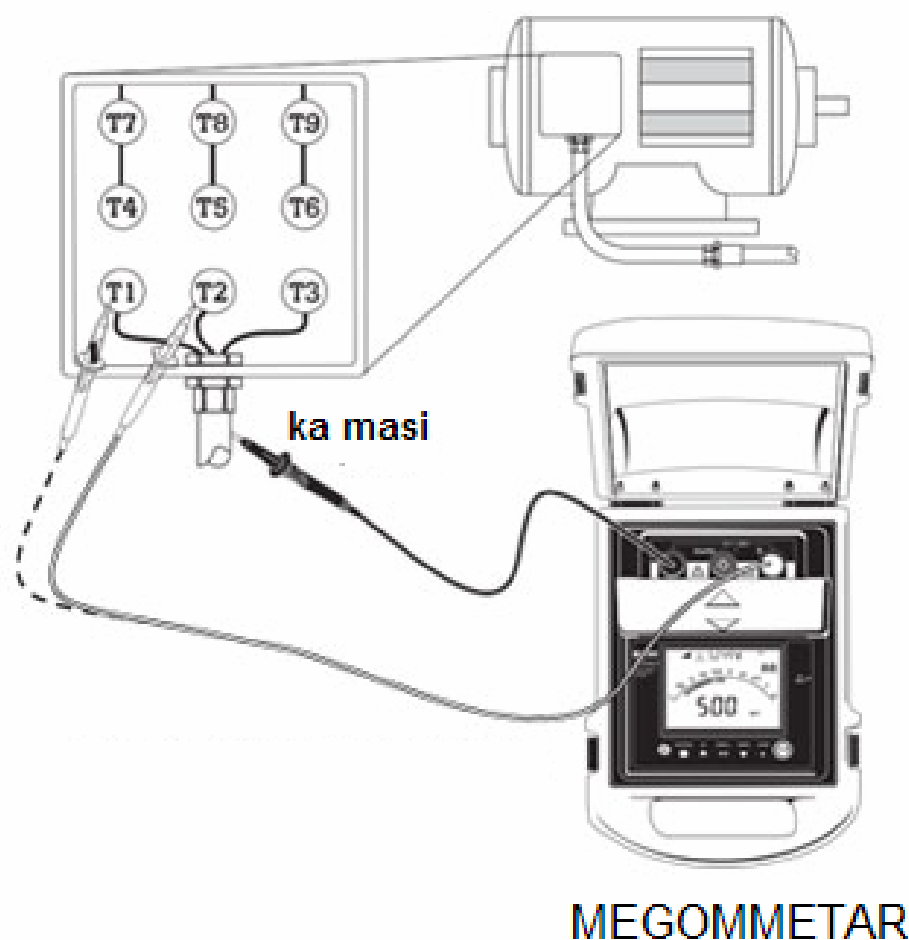


- MERENJE OTPORA IZOLACIJE SVAKOG OD NAMOTAJA PREMA MASI I SNIMANJE PODATAKA
- POSTUPAK SE PONAVLJA NA SVAKIH 6 MESECI
- POSTUPAK SE NAZIVA "Spot Check"

-Preventivno održavanje
-Ostvaruje se pri utvrđenoj temperaturi (60°C ili 85°C) i vlažnosti

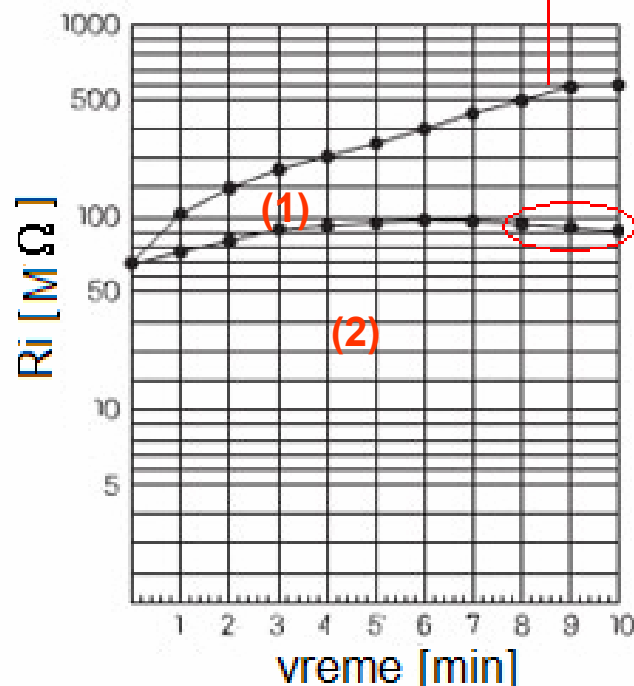
Dielektrična apsorpcija (*"time/resistance"* testiranje)

Spada u grupu prediktivnih metoda dijagnostike



- U ovom slučaju se zahteva više sukcesivnih merenja na svakih 1min
- Ovo se podešava internim tajmerom u instrumentu i vrši se očitavanje podataka
- Ne zahteva se na strogim vrednostima temperature i vlažnosti

dobra izolacija
(porast otpora
izolacije u vremenu)



pogoršavanje
izolacije
tokom vremena

Kriva (1)

- Dobra izolacija pokazuje kontinualan porast otpornosti u vremenskom intervalu (60s do 10min)
- Ovo je prouzrokovano apsorpcijom (polarizacijom) dielektrika
- Efekat polarizacije dominantan tokom dužeg vremena

Kriva (2)

- Ako se pojave vlaga ili nečistoće u izolaciji efekat polarizacije će biti “maskiran” velikom strujom curenja
- Struja curenja je ustvari struja provođenja
- Ova struja je konstantna, pa se ustvari ima nizak otpor izolacije

- Metoda dielektrične apsorpcije je nezavisna od veličine mašine koja se testira
- Kada je izolacija dobra očitavanje nakon 60s je veće u odnosu na očitavanje 15s ili 30s
- Indeks polarizacije ili **polarizacioni indeks PI** mora biti veći od 1.1

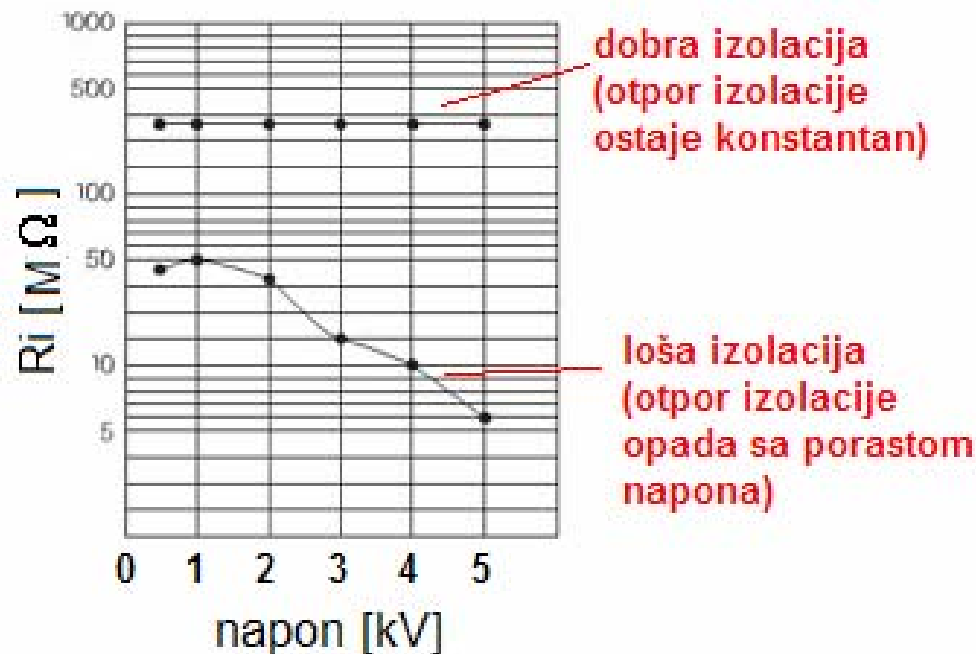
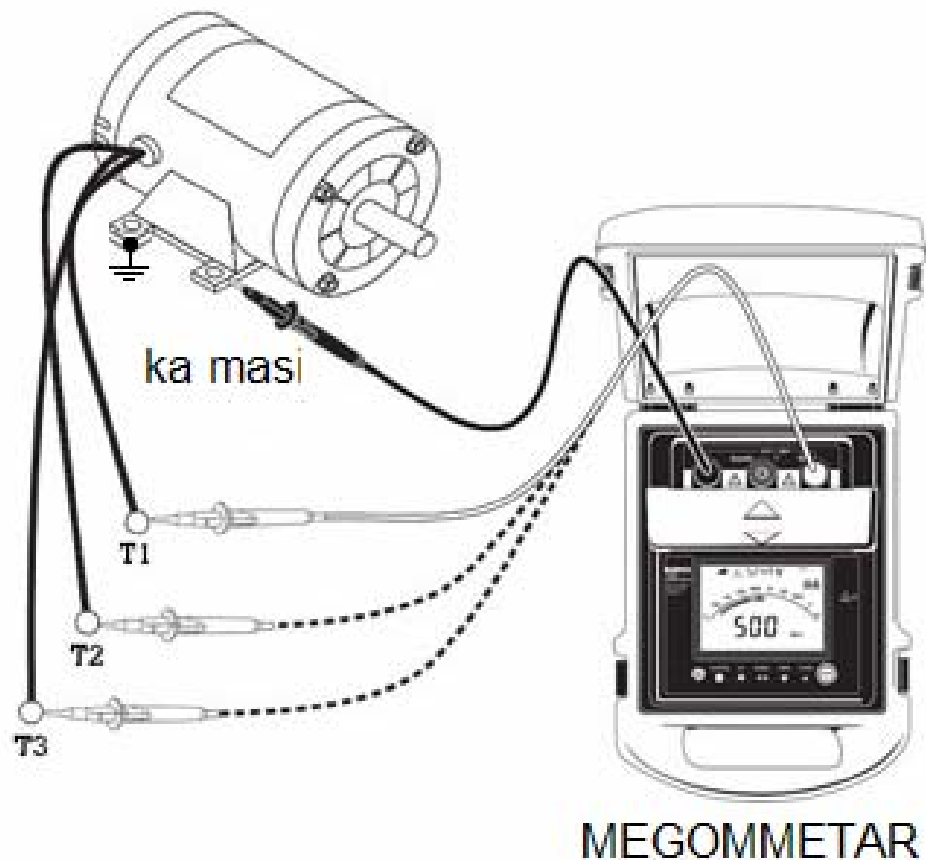
PI = očitavanje nakon 60s / očitavanje nakon 15s (za manje ispitne napone
na primer 500VDC)

PI = očitavanje nakon 10min / očitavanje nakon 1min (za veće ispitne napone
na primer 2.5kV)

IZOLACIJA NAMOTAJA OBZIROM NA INDEKS POLARIZACIJE

- **PI za odnos očitavanja otpora 60s/30s**
 - 1.1 > PI (neuspeo test, izolacija ne zadovoljava)
 - 1.25 > PI > 1.1 (izolacija korektna)
 - 1.6 > PI > 1.4 (izolacija izuzetno dobra)
 - PI > 1.6 (izolacija odlična)
- **PI za odnos očitavanja otpora 60s/15s**
 - PI=1.5 ili veći, za nove, opravljene ili prepravljene transformatore
 - PI=1.3 ili veći, za transformatore u eksploataciji

Test po naponskoj rampi

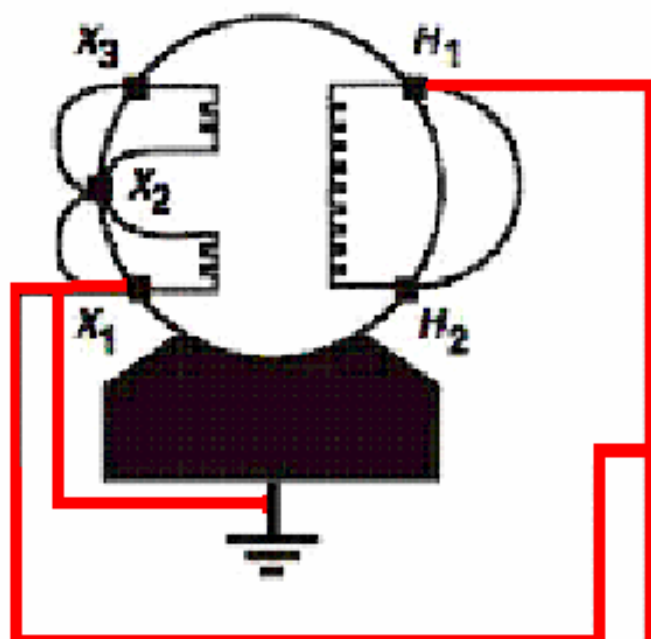


- MERENJE OTPORA IZOLACIJE SVAKOG OD NAMOTAJA PREMA MASI I SNIMANJE PODATAKA

- Na svakih 1 min napon se podiže za 1kV
- Očitavaju se vrednosti R_i

PRIMER 1: Testiranje otpornosti izolacije VN namotaja prema NN namotaju i “zemlji”

monofazni transformator



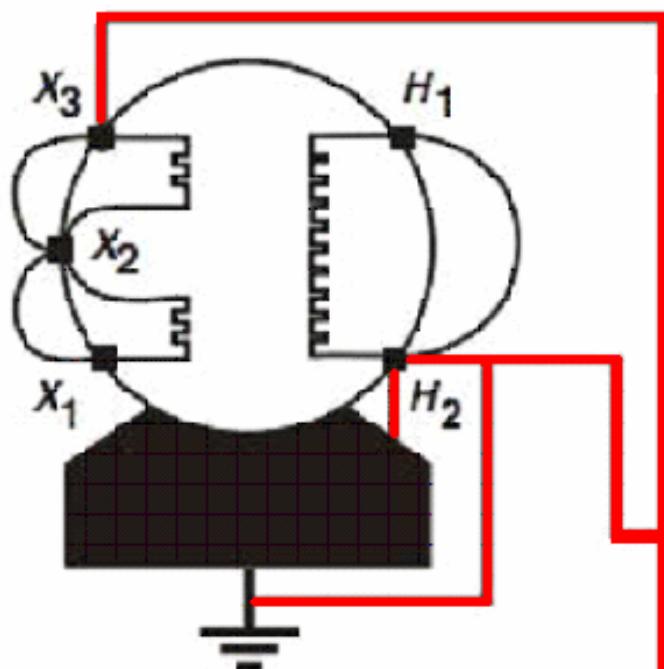
(+) Earth terminal

(-) Line terminal

(G) Guard terminal



PRIMER 2: Testiranje otpornosti izolacije NN namotaja prema VN namotaju i “zemlji” monofazni transformator



(+) Earth terminal

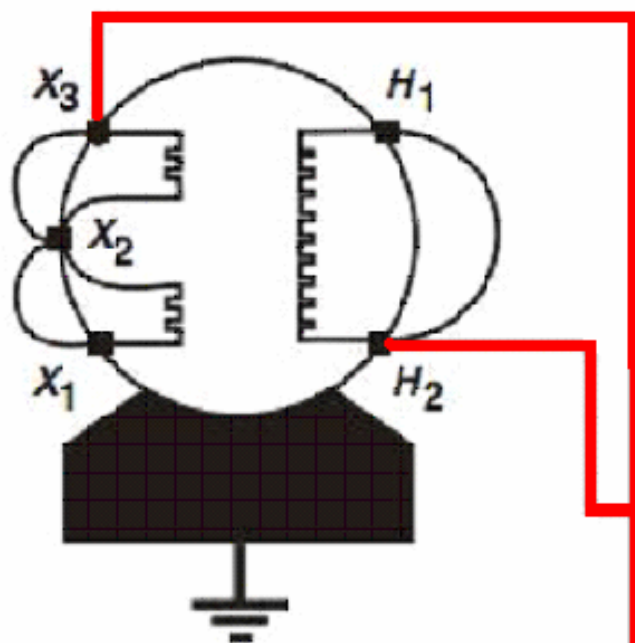
(-) Line terminal

(G) Guard terminal



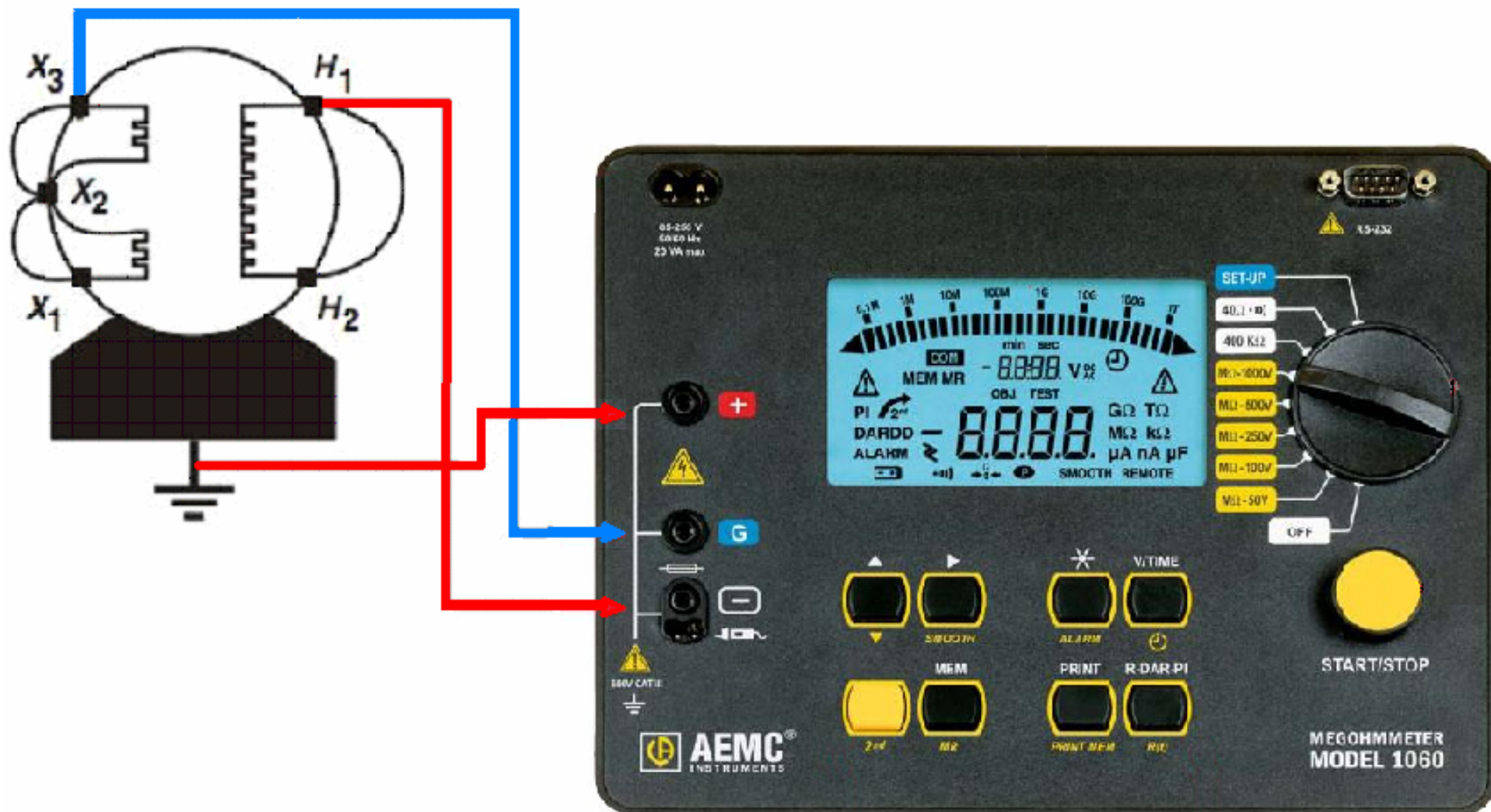
PRIMER 3: Testiranje otpornosti izolacije VN namotaja prema NN namotaju

monofazni transformator



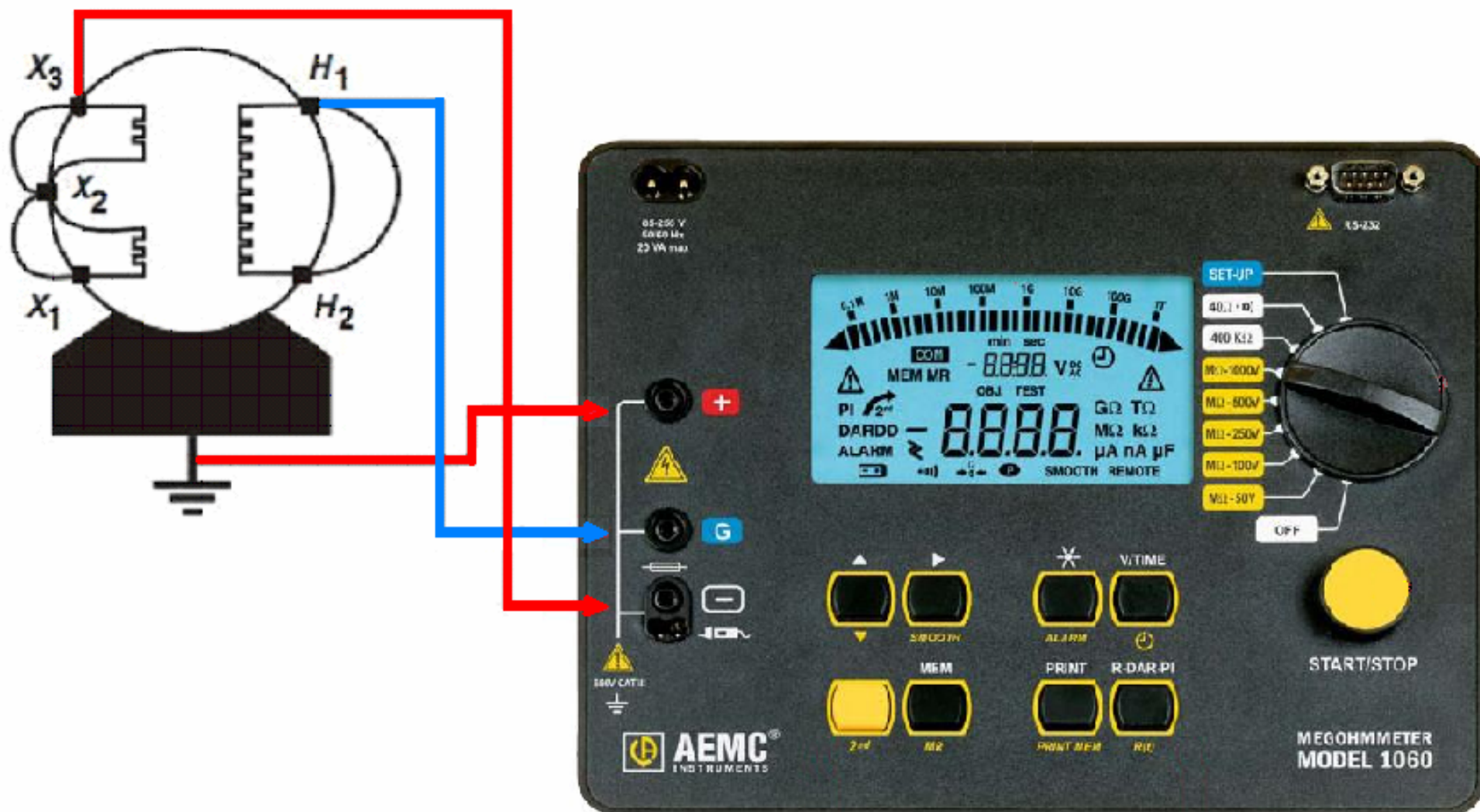
PRIMER 4: Testiranje otpornosti izolacije VN namotaja prema “zemlji”

monofazni transformator

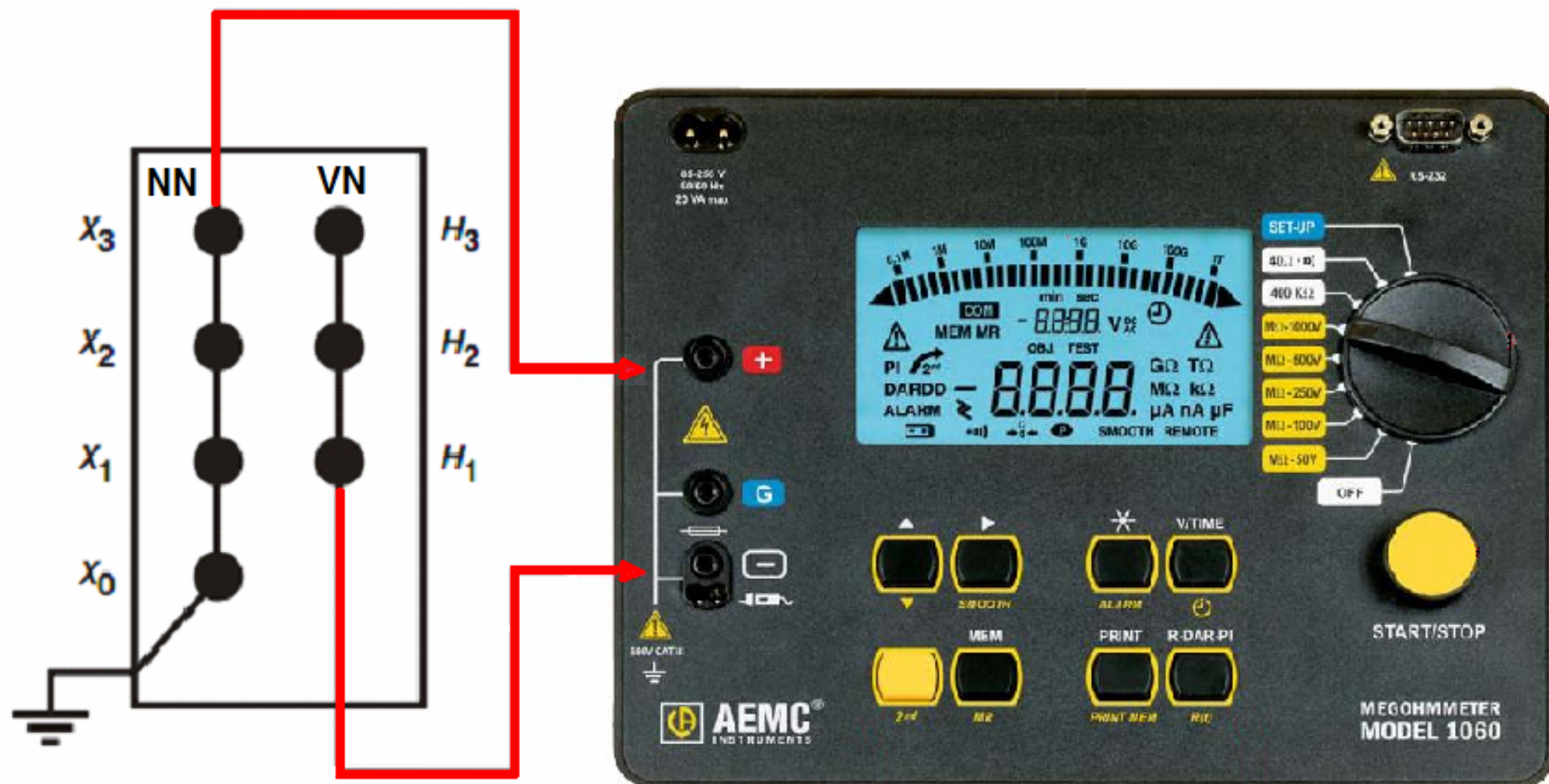


PRIMER 4: Testiranje otpornosti izolacije NN namotaja prema “zemlji”

monofazni transformator

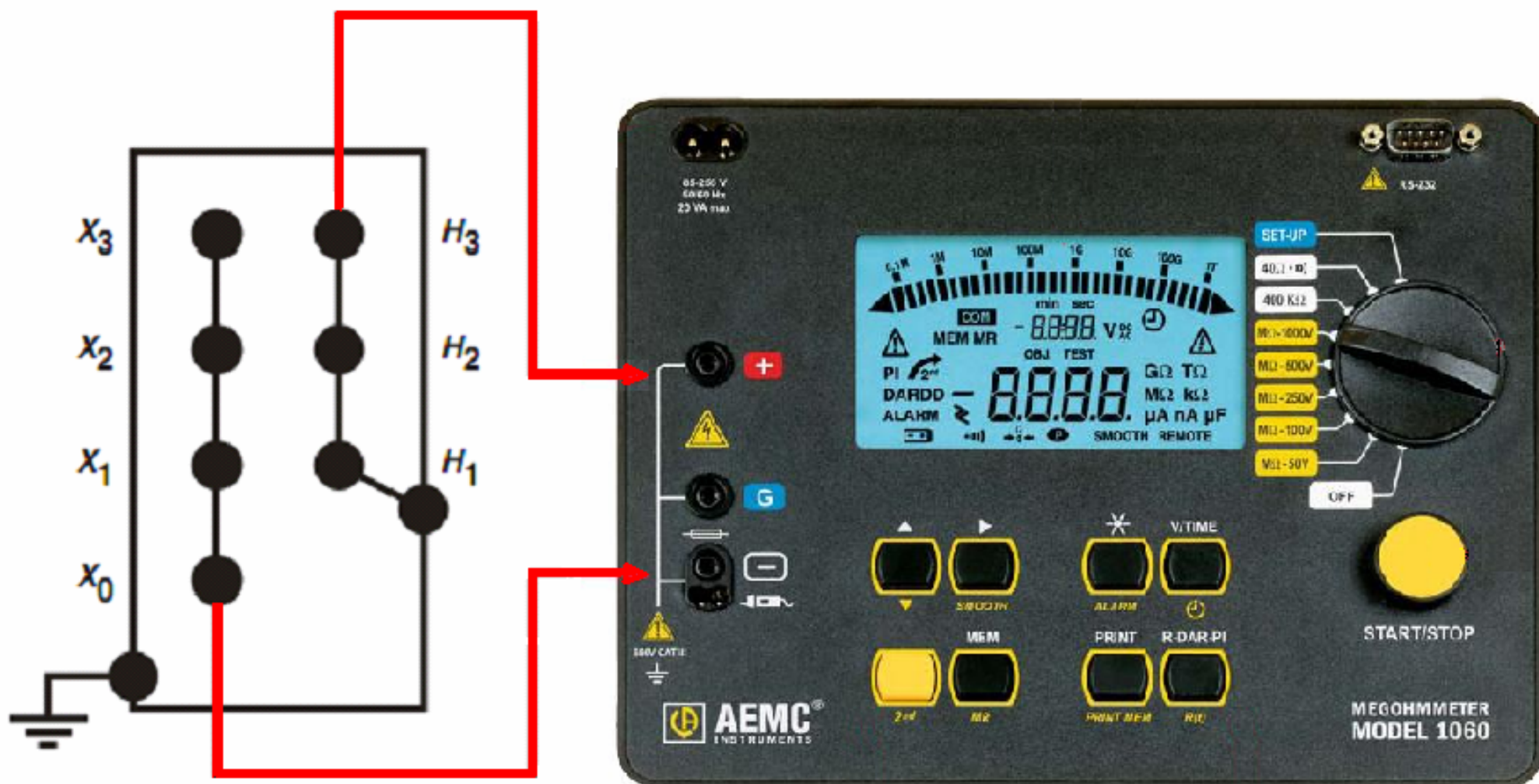


PRIMER 6: Testiranje otpornosti izolacije VN namotaja prema NN namotaju i “zemlji”

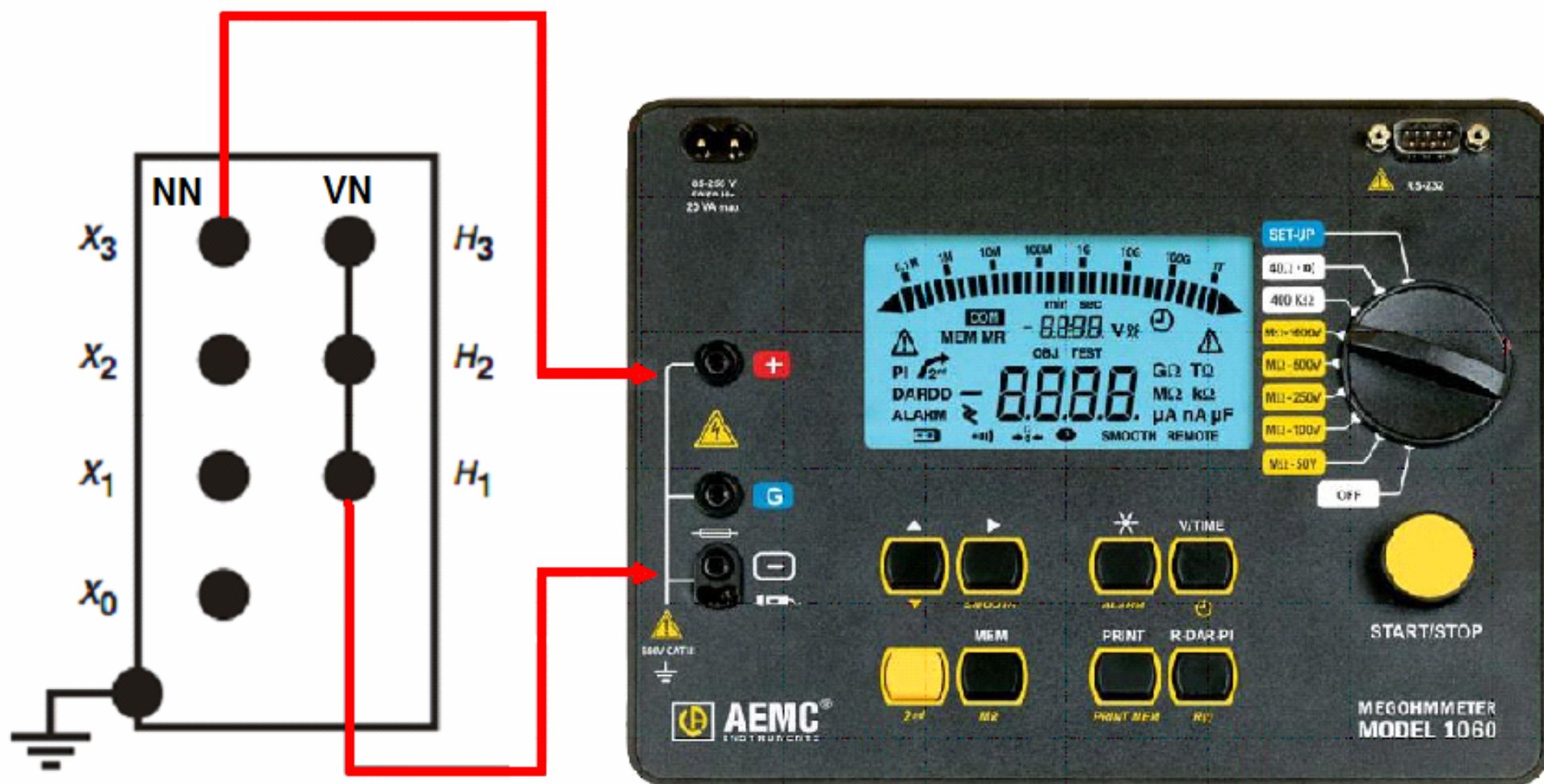


trofazni transformator

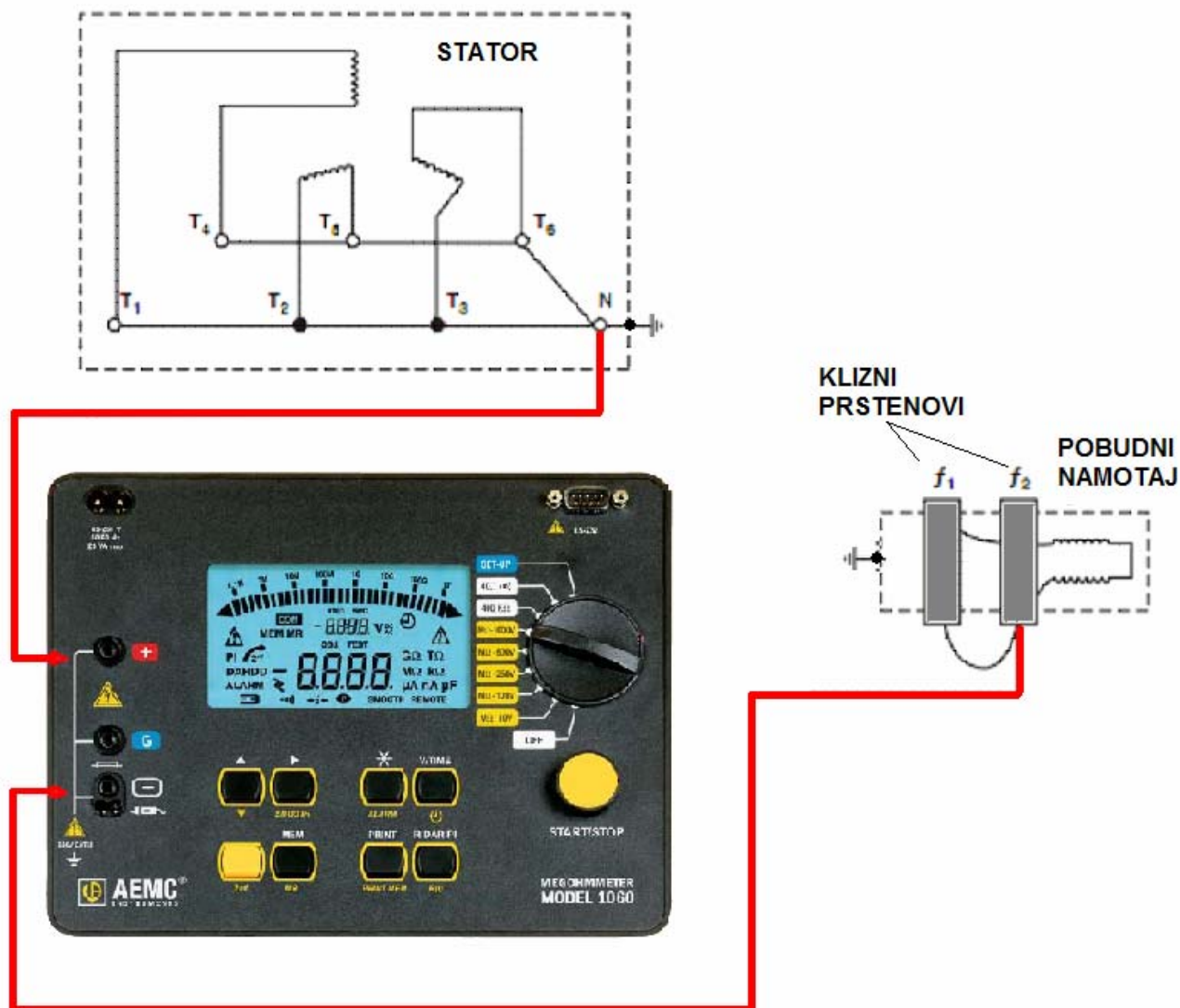
PRIMER 7: Testiranje otpornosti izolacije NN namotaja prema VN namotaju i “zemlji”
trofazni transformator



PRIMER 8: Testiranje otpornosti izolacije VN namotaja prema NN namotaju trofazni transformator



PRIMER 9: Testiranje otpornosti izolacije pobudnog namotaja generatora



- Pre testiranja motora ili generatora prvo se odspajaju četkice, uzemljuje se priključak startera, zakoči se i uzemli vratilo
- Isprazni se namotaj pobude njegovim uzemljivanjem
- Odspoji se namotaj pobude od uzemljenja i veže se na (-) kraj megaommetra
- Poveže se (+) kraj (Earth terminal) na uzemljenje

VAŽNE NAPOMENE KOD MERENJA OTPORA IZOLACIJE!!

- Megaohmmetar se priključi između namotaja koji se ispituje i mase (uzemljenje, transformatorski sud ili drugi namotaj), tek pošto se na priključcima megaohmmetra uspostavi pun ispitni napon.
- Od tog vremena meri se vreme i očitava se pokazivanje instrumenta (u $M \Omega$) nakon 15 i 60 sekundi, ili nakon 30 i 60 sekundi, zavisno od toga koji se polarizacioni indeks želi posmatrati
- Posle svakog ispitivanja namotaj se mora kratko spojiti i uzemljiti, pre nego se pristupi narednom ispitivanju.
- Naime, usled kapacitivnosti namotaja može doći do pražnjenja u obliku naponskih udara
- Naponski udari su opasni za kako za rukovaoce instrumenata, tako i za samu mernu opremu.

LITERATURA

- Miloš Petrović, *Ispitivanje električnih mašina*, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- *Vestermanov elektrotehnički priručnik (Poglavljje 3- Električne mašine)*, Građevinska knjiga, Beograd 2008.
- AEMC Instruments, *Understanding Insulation Resistance Testing*, Technical documentation-02/06 REV
- *User manual* AEMC megohmmeter 1050/1060, Chauvin Arnoux Inc. d.b.a. AEMC Instruments

Hvala na pažnji!!

PITANJA???



Beograd
Oktobar 2015