



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Terensko ispitivanje Energetskih Transformatora

Andrej Sepcic

RSM

asepcic@doble.com

Povijest Altanove

- 1938 ISA Instrumentazioni Sistemi Automatici S.r.l. osnovana je u Tainu, ITALIJA
- 1999 TECHIMP je rođen kao spin-off Sveučilišta u Bologni ITALIJA.
- 2017 ISA i TECHIMP se spajaju čime je nastala ALTANOVA GRUPA
- 2019 INTELLISAW se pridružuje ALTANOVA GRUPI
- 2021 ALTANOVA GROUP postaje dio ESCO Technology Group i pridružuje se Doble Engineering Company, kao dio USG divizije.



Povijest kompanije Doble

100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



Year	Event / Milestone
1920	Doble Safety Portable Telephone
1922-1923	Type A & B testers
1928	Power factor test set
1934	First Doble Client Conference
1936	Frank Doble forms special oil committee
1949	Type MH power factor test set
1951	First Doble survey of electric insulating mineral oils
1965	Morgan Schaffer established in Montreal, Canada
1972	TR-1 circuit breaker motion analyzer
1978	Doble acquires Justice Controls Corporation
1982	Type F3/F35 series
1987	TR3000 circuit breaker analyzer
1989	AM100 circuit breaker monitor
1990	Doble Test Assistant (DTA) software
1993	M4000 high voltage apparatus tester
1994	AMS-500 on-line dissolved hydrogen monitor
2000	F6 series
2000	Intelligent Diagnostic Devices (IDD)
2003	Doble Power Test opens in the UK
2005	Myklos™ portable dissolved gas analyzer
2007	ESCO Technologies, Inc. acquires Doble Engineering Company
2001	Calisto™ dissolved hydrogen & water monitor
2012	Xtensible Solutions joins the Doble team
2013	M7100 high voltage asset analyzer
2014	Condition monitoring system
2015	ENOSERV joins the Doble team
2016	Transient Cyber Asset (TCA) program
2017	Morgan Schaffer and Vanguard Instruments join the Doble team
2017	NRG Systems joins Doble's Utility Solutions Group
2018	Manta Test Systems joins the Doble team
2021	F8 Series



ALTANOVA
2021
Altanova joins the Doble team

PHENIX TECHNOLOGIES
Phenix Technologies joins the Doble team

Altanova danas



120
ZEMALJA



12 LOKACIJA
DILJEM
SVIJETA



150+
ZAPOSLENIKA



250+
PRODAJNIH PARTNERA



5550+
KLIJENATA GLOBALNO



Part of ESCO Technologies'
Utility Solutions Group

PROIZVODNE LINIJE



Naša rješenja

Ispitna oprema

Neophodna za svakodnevna ispitivanja električne opreme. Upotrebljavana u svim fazama životnog ciklusa opreme

Usluge ispitivanja i savjetovanja

Raznovrsna ponuda prema životnom ciklusu električne opreme:
Montaža i puštanje u rad
Dijagnostičko ispitivanje
Analiza podataka
Savjetovanje
Trening



Sustavi kontinuiranog nadzora

Prijelaz s održavanja temeljenog na vremenu na održavanje temeljeno na stanju.

Fokus na prediktivno održavanje i pomicanje fokusa sa cijene električne opreme na troškove ispada mreže.

Snažna evolucija trenda digitalizacije u elektroprivredi.

Proizvodimo uređaje za ispitivanje i kontinuirani nadzor:

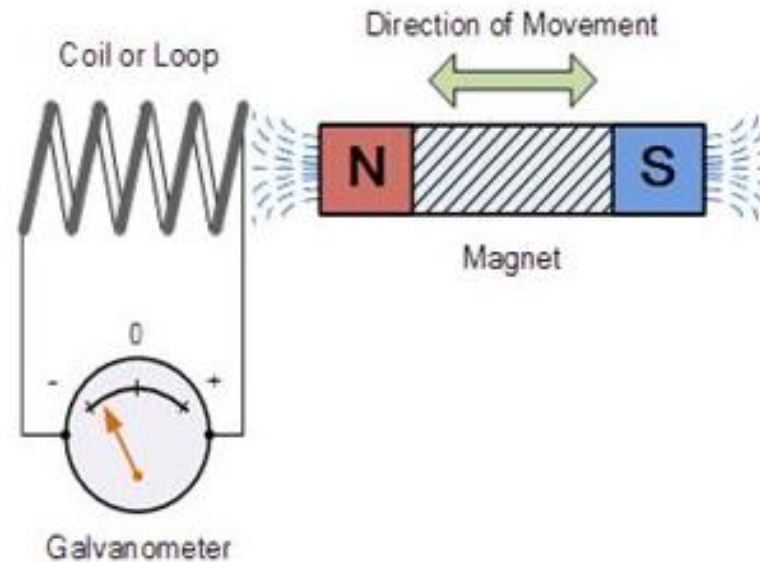
- Energetskih Transformatora
- Prekidača
- GIS-ova
- SN/VN/EVN kabela
- SN/NN razvodnih uređaja
- Baterija
- Strujnih i naponskih transformatora
- Releja zaštite
- Energetskih brojila i pretvarača
- Rotacijskih mašina
- Pogona s promjenjivom brzinom
- Dalekovoda



TRANSFORMATOR

Transformator

1830s - Joseph Henry i Michael Faraday rade s elektromagnetima i otkrivaju svojstvo indukcije neovisno jedan o drugome na različitim kontinentima.

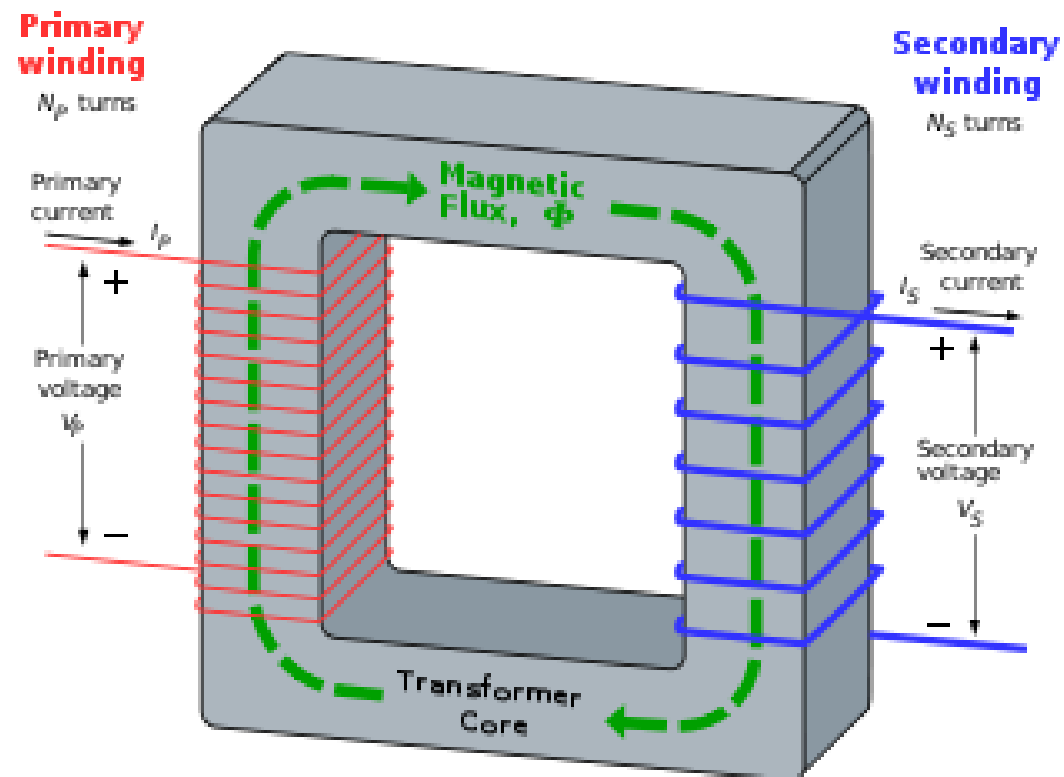


Faradayev eksperiment - ODNOS IZMEĐU INDUCIRANOG EMF-a I MAGNETSKOG TOKA

Transformator

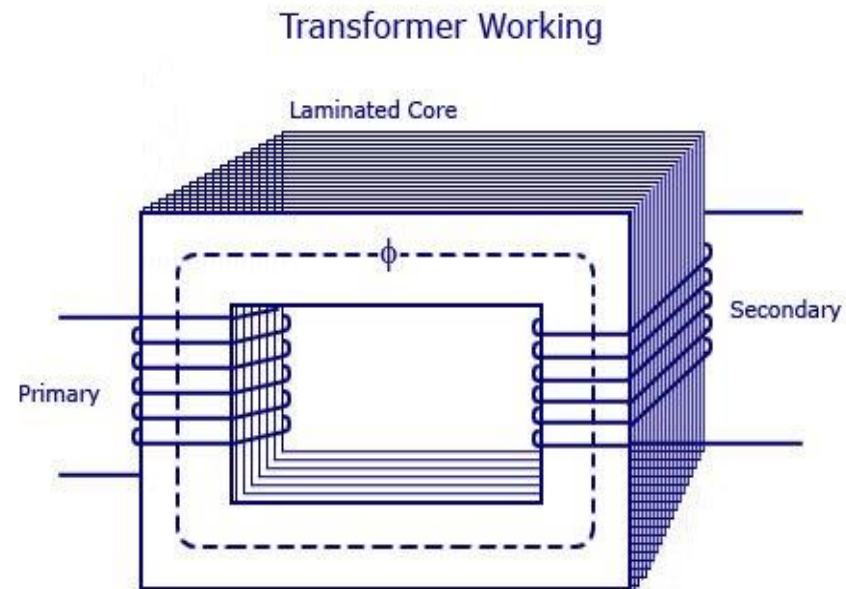
Što je transformator ?

Transformator je uređaj koji prenosi električnu energiju iz jednog strujnog kruga u drugi kroz induktivno spregnute vodiče, zavojnice transformatora



Zašto nam je potreban transformator ?

- Za povećanje i – smanjenje napona.
- Potreba za prijenosom energije s jednog mjesta na drugo.
- Za odvajanje i zaštitu strujnog kruga.

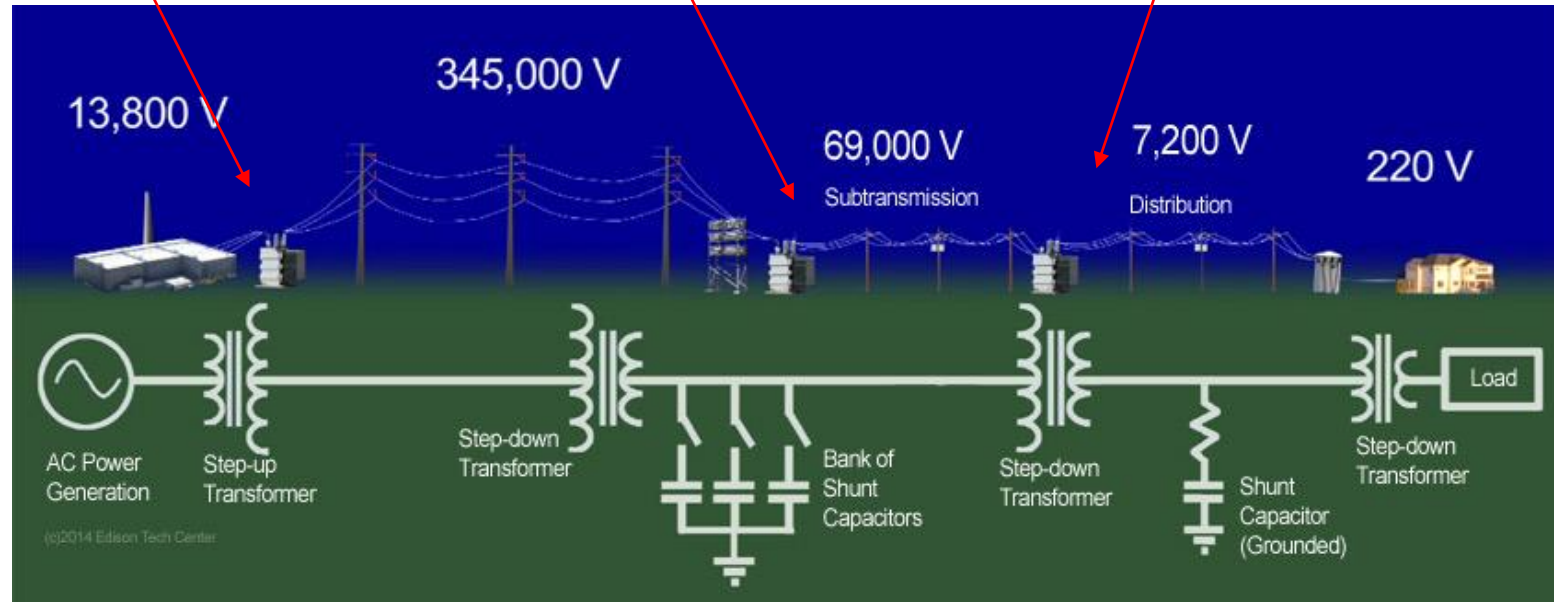


Gdje nam je potreban transformator

Proizvodnja

Prijenos

Distribucija



Glavni djelovi transformatora

- Jezgra
- Namoti
- Izolacijski sustav
- Naponski regulator – OLTC/DETC
- Tank
- Provodni Izolatori (Bushings)
- Sustav hlađenja
- Ventil za otpuštanje pritiska
- Konzervator
- Disač/odzračnik (Breather)
- Upravljačka kutija
- BUCHHOLZ Relej
- OSR – Oil Surge Relay
- Temperaturni pokazatelji

Kvar transformatora



je neizbježan ako se ne vodi računa o transformatoru

Kvar transformator



To je upravo ono što bismo željeli izbjeći pravilnim održavanjem ET u dobrom zdravlju

Važna pitanja koja si trebamo postaviti

- **Zašto** ispitivati ?
- **Kada** ispitivati ?
- **Tko** bi trebao ispitivati ?
- **Što** ispitivati ?

Zašto ispitivati ? Budući da su transformatori:

- **Skupi**
- Obično **pouzdati** i **izdržljivi**
- **Kvarovi** se mogu ponekad pojaviti
- **Teški** za izvršiti **dijagnozu**
- Održavanje i vizualni pregledi imaju **ograničenu vrijednost**
- Često nije ih **ekonomično** popravljati
- Kvarovi mogu imati **katastrofične posljedice**
- Bitno je imati **odgovarajuće** politike praćenja i upravljanja

Pogledi na ispitivanje

***‘Nemamo nikakvih problema,
Dakle, ne radimo nikakvo testiranje’***

***‘Kada se desi kvar,
Prvo pitanje koje šef pita je
“KADA JE ISPITIVAN ZADNJI PUT ?” ’***

Odgovoraјуća politika upravljanja transformatorom ?

***‘Ako nije pokvareno,
Nemojte to popravljati’***

Tko bi trebao obavljati ispitivanja ?

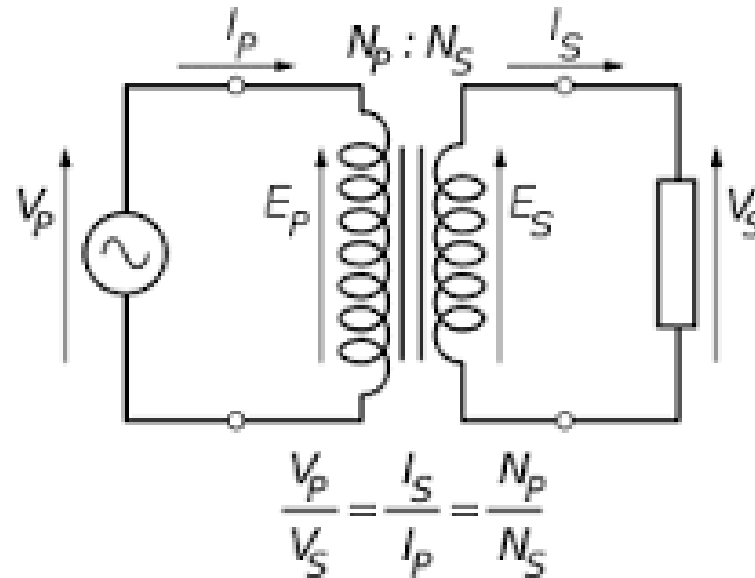
- Ispitni inženjeri i tehničari iz elektroprijenosnih i elektrodistribucijskih kompanija
- Proizvođači transformatora
- Ispitne kompanije
- Proizvođači ispitne opreme
- Sveučilišni istraživači

Preporučeni testovi na energetskim transformatorima

- Koeficijent transformacije / Vektorska Grupa Trafoa
- Mjerenje otpora namota i dinamičkog otpora
- Test praznog hoda/Struja uzbude
- Test kratkog spoja (Impedancija kratkog spoja ili reaktancija curenja) i frekvencijski odziv na lutajuće gubitke
- Otpor izolacije (DC metoda)
- Tangens Delta (faktor snage, C&DF faktor disipacije)
- SFRA – Analiza frekvencijskog odziva/Sweep Frequency Response Analysis
- Ispitivanje parcijalnih izbijanja (PD)
- Ispitivanje ulja (DGA, probojni napon)

Koeficijent Transformacije (TTR)

Koeficijent transformacije definira se kao omjer broja namota žice u primarnom namotu (N_p) i broja namota žice u sekundarnom namotu (N_s)



Koeficijent Transformacije (TTR)

Svrha ispitivanja omjera namota :

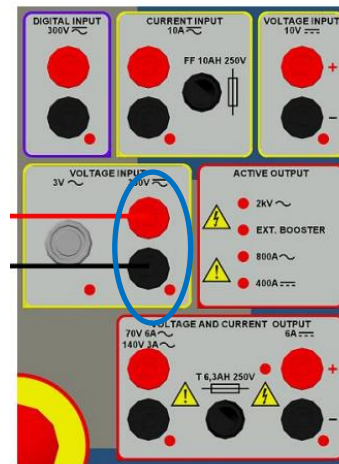
- Identificirati postoje li :
 - kratko spojeni namoti,
 - otvoreni namoti na VN namotu.
- Pruža informacije o kvaru izolacije između namota.
- Pomaže u identificiranju vektorske grupe transformatora (satnog broja).



Koeficijent Transformacije (TTR)

Primjer - Instrumenti potrebni za ispitivanje:

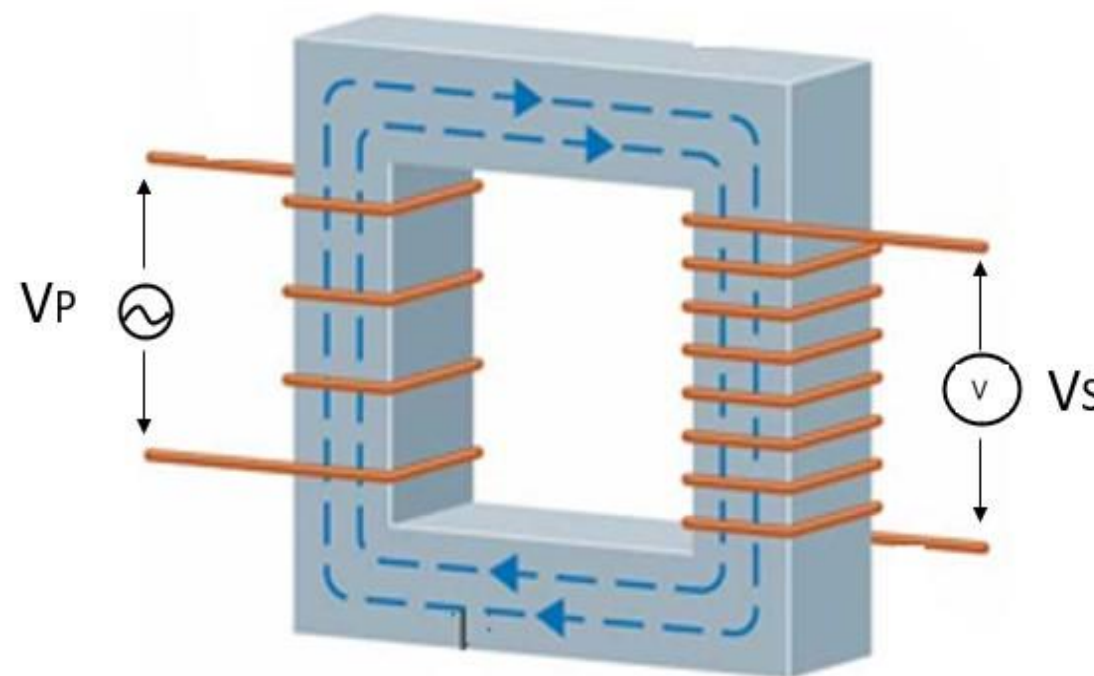
Izvor izmjeničnog napona (do 250 V ili 10 kV) i ulaz za mjerenje napona



Koeficijent Transformacije (TTR)

Prije ispitivanja:

- Treba se znati:
 - Tip transformatora (1f ili 3f)
 - Broj namota
 - Faze
- Napon koji ćemo generirati:
 - **ne smije prijeći nazivni napon transformatora**
 - **uvijek na VN stranu transformatora**
- Napon koji ćemo mjeriti:
 - **ne smije premašiti mjerni ulaz voltmetra**
- Koeficijent transformacije mora se mjeriti na svim pozicijama naponskog regulatora.



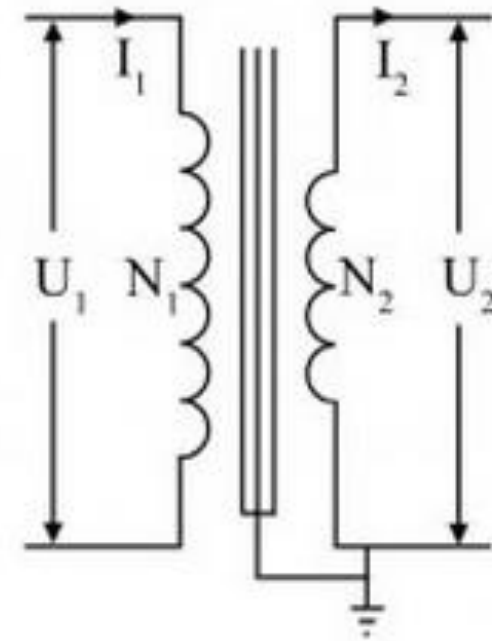
Koeficijent Transformacije (TTR)

Ispitivanje na jednofaznom transformatoru



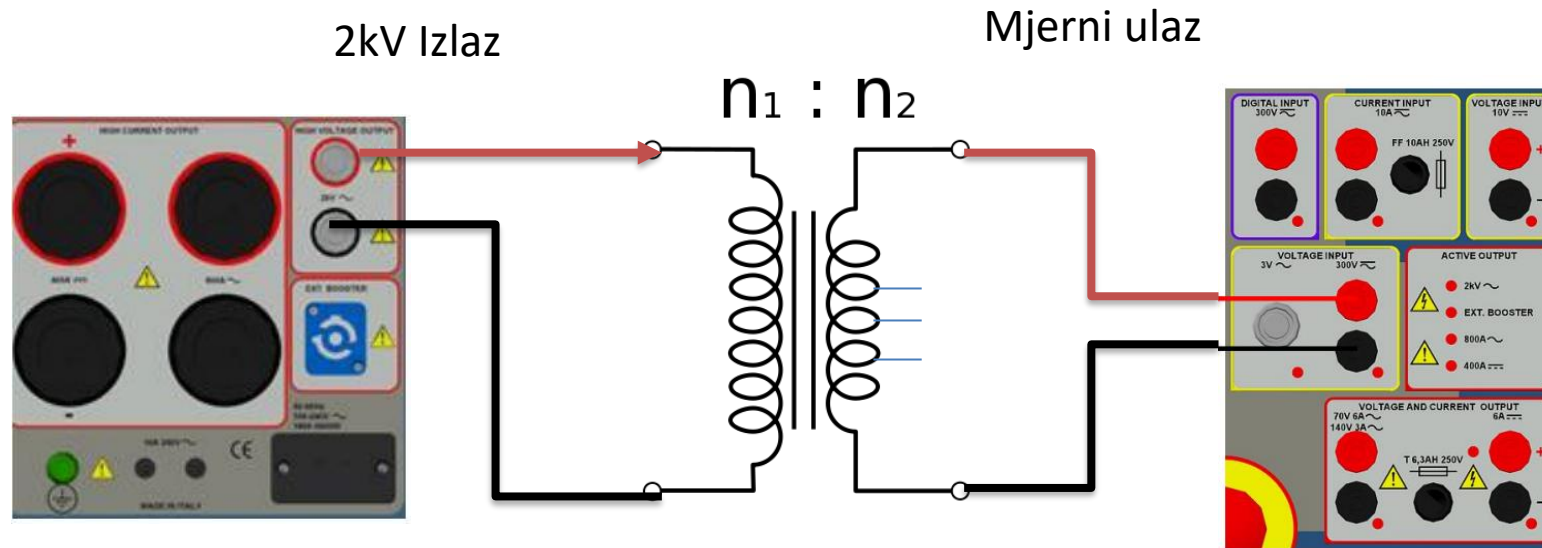
Primarni
namot

Sekundarni
namot



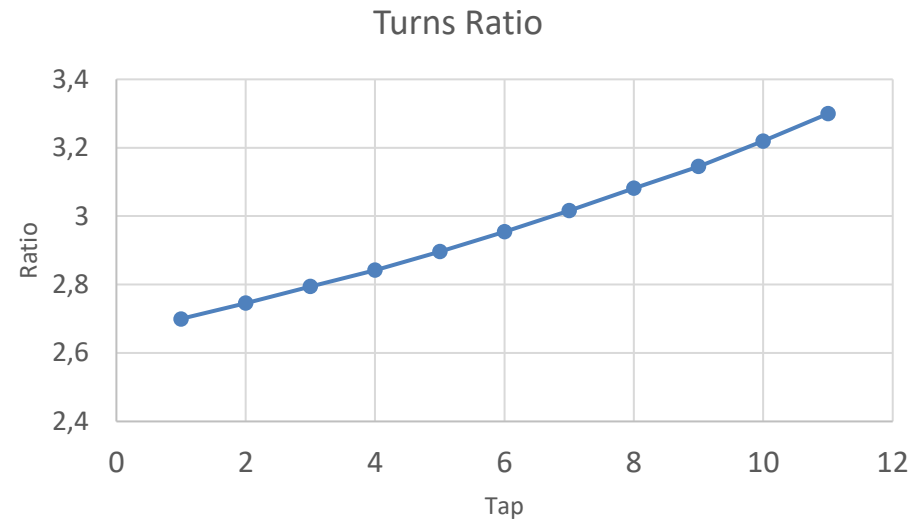
Koeficijent Transformacije (TTR)

Ispitivanje koeficijenta transformacije na jednofaznom ET



Koeficijent Transformacije (TTR)

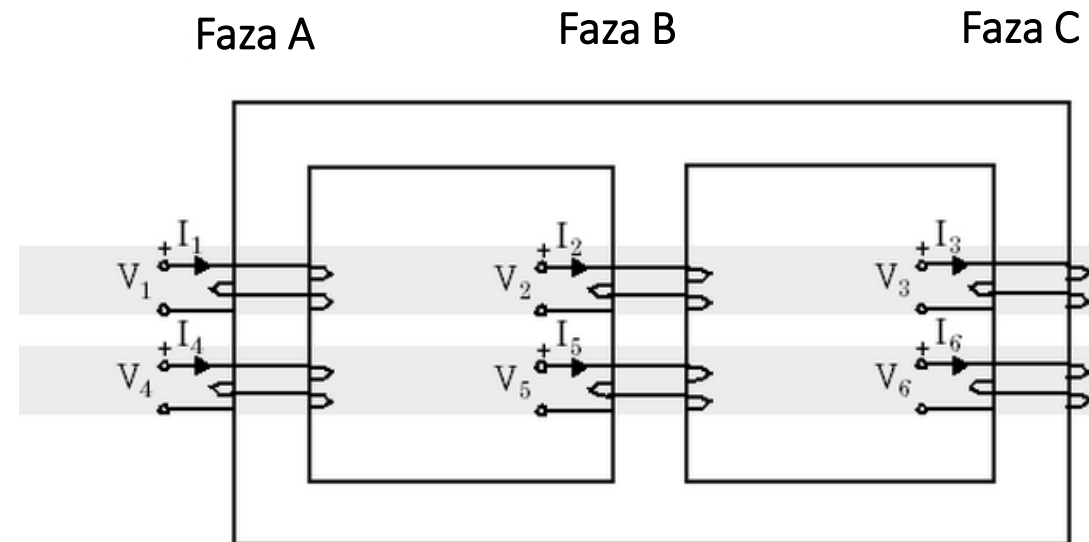
Koeficijent transformacije u odnosu na poziciju regulatora napona



Koeficijent Transformacije

Koeficijent transformacije trofaznog transformatora

- Trofazni transformator se sastoji od tri seta primarnih namota, po jedan za svaku fazu
- Tri seta sekundarnih namota namotana na istu željeznu jezgru.



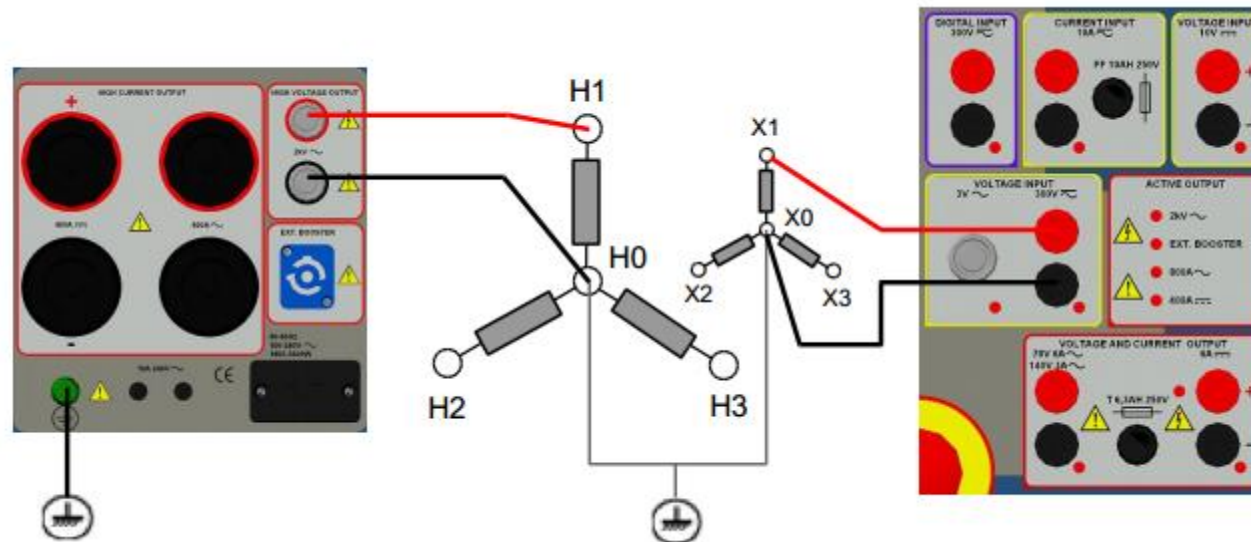
Koeficijent Transformacije

Primjer: 220kV Trofazni transformator



Koeficijent Transformacije

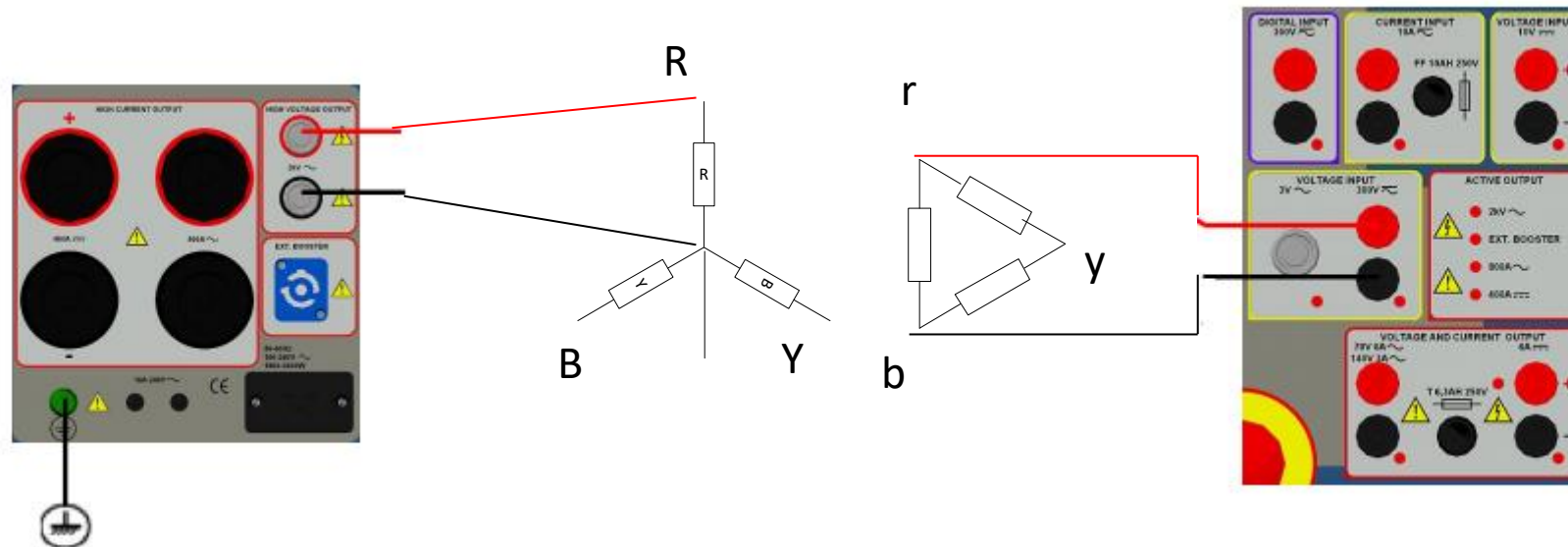
Ispitivanje koeficijenta transformacije na Tx Vektorske grupe YNyn0



Vršimo efektivno 3 ispitivanja, generiramo na A-N i mjerimo na a-n, te analogno tome B-N i b-n i zadnje, C-N i c-n

Koeficijent Transformacije

Ispitivanje koeficijenta transformacije na Tx Vektorske grupe YNd11



Vršimo efektivno 3 ispitivanja, generiramo na A-N i mjerimo na a-b, te analogno tome B-N i b-c i zadnje, C-N i c-a

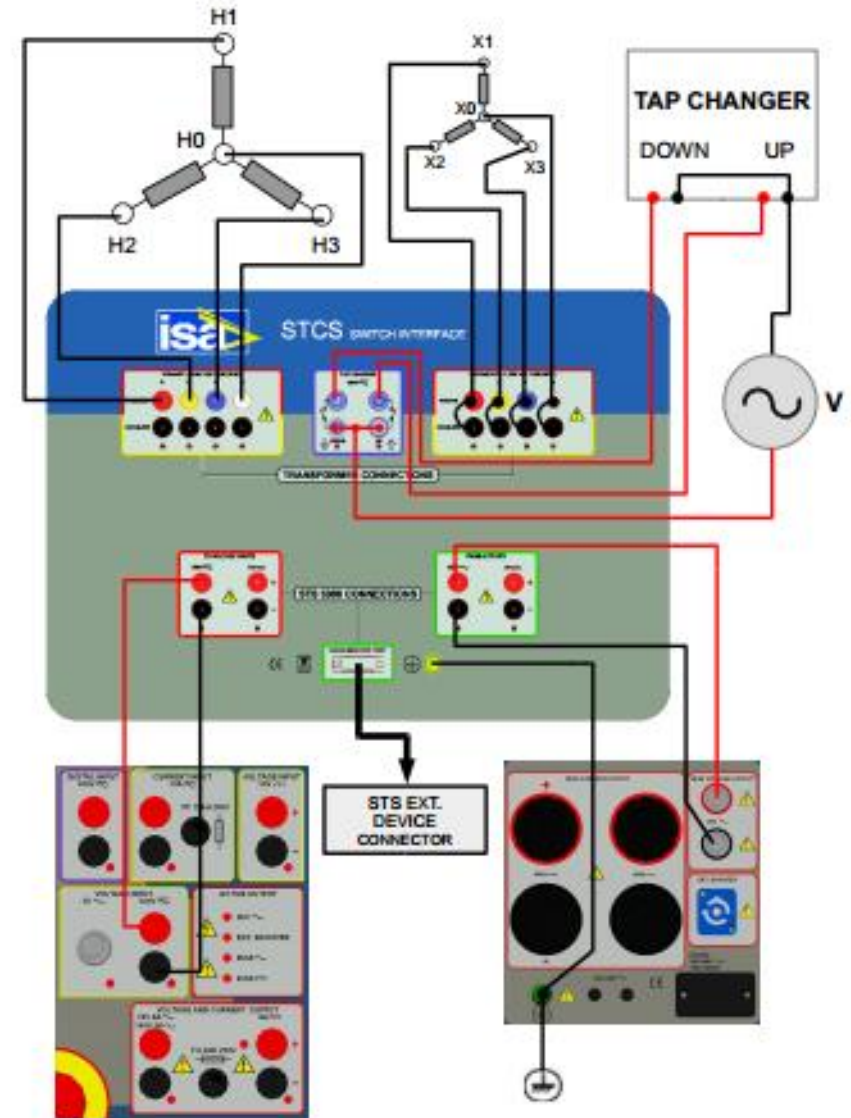
Koeficijent Transformacije

Postoje i alternativna rješenja gdje jednom spojimo sve kabele te vršimo ispitivanja bez promjena lokacije kabela.

Takvi dodaci (switchbox) najčešće imaju i izlaz za promjenu pozicije naponskog regulatora

Ovo su neka od rješenja

- Switchbox može biti ugrađen u Ispitni uređaj ili može biti zasebni dodatak



Koeficijent Transformacije

Rezultati ispitivanja na 400kV Transformatoru

Nominal values

	Tap #	Ratings	Vector Group	Phases
HV		400,000 kV	yn	3-phase
LV	1	143,100 kV	a 0	

Turn ratio: 2,795

Test values

STCS

Auto-tap: OLTC

Pulse time: 1,0 s

Auto-phase: ABC

current: 11

from: 1

to: 11

Test Voltage: 200,0 V

Test Frequency: 50,0 Hz

Results

Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ϕ I HV [°]	V LV [V]	ϕ V LV [°]	Ratio	Err %
200,0	201,7	2,136m	69,5	74,722	-31,0	2,6993	0,21
200,0	201,7	1,554m	69,4	74,633	-31,0	2,7023	0,32
200,0	201,7	2,006m	68,8	74,555	-40,0	2,7051	0,43

Koeficijent Transformacije

Tap 1

		Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ϕ I HV [°]	V LV [V]	ϕ V LV [°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/>	A	200,0	201,7	2,136m	69,5	74,722	-31,0	2,6993	0,21	
<input checked="" type="checkbox"/>	B	200,0	201,7	1,554m	69,4	74,633	-31,0	2,7023	0,32	
<input checked="" type="checkbox"/>	C	200,0	201,7	2,006m	68,8	74,555	-40,0	2,7051	0,43	

Za one koji žele znati više – izmjerena struja je zapravo struja praznog hoda

Tap2

		Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ϕ I HV [°]	V LV [V]	ϕ V LV [°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/>	A	200,0	201,6	2,124m	68,6	73,445	-30,0	2,7455	74,64m	
<input checked="" type="checkbox"/>	B	200,0	201,6	1,544m	68,4	73,357	-30,0	2,7487	0,19	
<input checked="" type="checkbox"/>	C	200,0	201,6	2,024m	68,6	73,269	-31,0	2,7517	0,30	

Tap17

		Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ϕ I HV [°]	V LV [V]	ϕ V LV [°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/>	A	200,0	201,5	2,360m	68,5	61,077	-26,0	3,2995	0,22	
<input checked="" type="checkbox"/>	B	200,0	201,5	1,761m	68,8	60,989	-26,0	3,3043	0,37	
<input checked="" type="checkbox"/>	C	200,0	201,5	2,277m	68,2	60,892	-25,0	3,3094	0,52	



Ocjena rezultata – razlika izmjerene i nominalne vrijednosti mora biti manja od $< 0.5 \%$

Koeficijent Transformacije

Rezultati ispitivanja na 104 kV Transformatoru

Nominal values

Tap #	Ratings	Vector Group	Phases
HV	104,000 kV	D	3-phase
LV	22,900 kV	yn 1	
Turn ratio	7,866		

Test values

STCS

Auto-tap: OLTC current: 2L

Pulse time: 4,0 s from: 2R

Auto-phase: ABC to: 2L

Test Voltage: 200,0 V

Test Frequency: 60,0 Hz

Results

	Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ΦI HV[°]	V LV [V]	ΦV LV[°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/> A	200,0	199,9	0,854m	64,3	24,957	-78,0m	8,0113	0,60	
<input checked="" type="checkbox"/> B	200,0	200,0	1,154m	63,0	24,959	-95,0m	8,0140	0,63	
<input checked="" type="checkbox"/> C	200,0	200,0	1,099m	65,6	24,966	-97,0m	8,0116	0,60	

Koeficijent Transformacije

Tap 1

	Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ΦI HV[°]	V LV [V]	ΦV LV[°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/> A	200,0	199,9	0,854m	64,3	24,957	-78,0m	8,0113	0,60	
<input checked="" type="checkbox"/> B	200,0	200,0	1,154m	63,0	24,959	-95,0m	8,0140	0,63	
<input checked="" type="checkbox"/> C	200,0	200,0	1,099m	65,6	24,966	-97,0m	8,0116	0,60	

Tap2

	Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ΦI HV[°]	V LV [V]	ΦV LV[°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/> A	200,0	200,0	0,993m	71,9	25,117	-88,0m	7,9632	0,62	
<input checked="" type="checkbox"/> B	200,0	200,0	1,303m	69,3	25,107	-84,0m	7,9659	0,65	
<input checked="" type="checkbox"/> C	200,0	200,0	1,239m	69,5	25,111	-91,0m	7,9639	0,63	

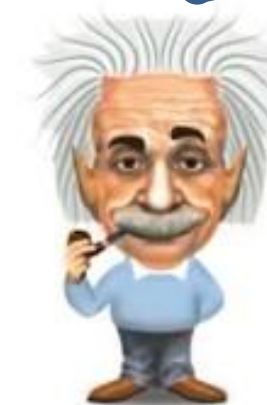
Tap 3

	Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ΦI HV[°]	V LV [V]	ΦV LV[°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/> A	200,0	200,0	0,884m	65,0	25,325	-0,1	7,8990	0,42	
<input checked="" type="checkbox"/> B	200,0	200,0	1,141m	62,1	25,318	-0,1	7,9010	0,44	
<input checked="" type="checkbox"/> C	200,0	200,0	1,049m	62,0	25,324	-77,0m	7,8981	0,41	

Tap 4

	Vn HV [V]	V HV [V]	I HV [A]	ΦI HV[°]	V LV [V]	ΦV LV[°]	Ratio	Err %	
<input checked="" type="checkbox"/> A	200,0	200,0	1,095m	70,1	25,486	-0,1	7,8486	0,39	
<input checked="" type="checkbox"/> B	200,0	199,9	1,394m	67,8	25,470	-87,0m	7,8504	0,41	
<input checked="" type="checkbox"/> C	200,0	200,0	1,334m	67,7	25,486	-0,1	7,8487	0,39	

Čak i ako vidimo pogrešku > 0,5%, to ne znači da automatski trebamo zamijeniti ET. To znači da moramo dodatno istražiti



Ocjena rezultata – razlika izmjerene i nominalne vrijednosti mora biti manja od < 0.5 %

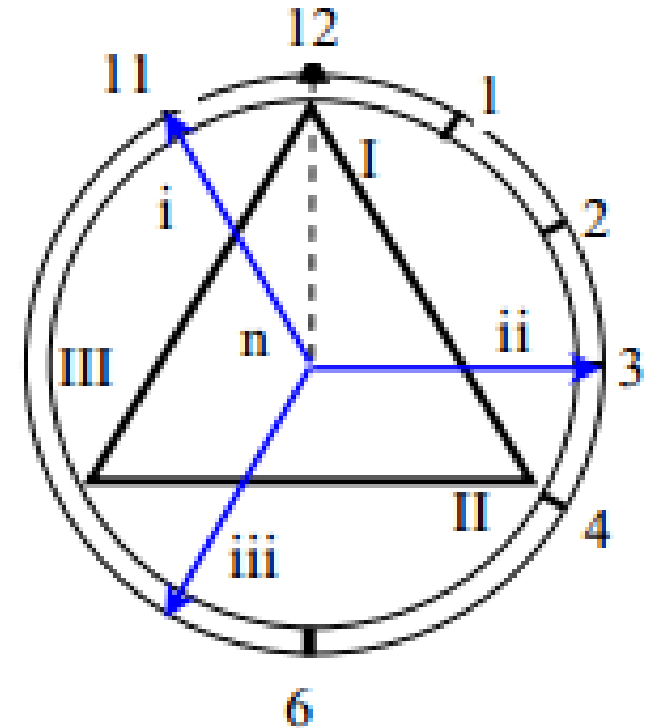
Ispitivanje Vektorske Grupe transformatora/grupe spoja/satnog broja

Spoj trofaznog transformatora

- Vektorska grupa transformatora je bitno svojstvo za uspješan paralelni rad transformatora.

Npr. : Vektorska grupa Dyn11

- “D” označava da je VN strana spojena u Trokut (Delta)
- “yn” označava da je NN strana spojena u Zvijezdu (y) sa uzemljenim zvjezdištem (n)
- “11” označava razliku u fazi između VN i NN strane, gdje se VN strana uzima kako referentna. Dobiveni broj je fazni kut u supnjevim podijeljen sa 30. Za 11 to je fazni pomak od 330°



Ispitivanje Vektorske Grupe transformatora/grupe spoja/satnog broja

Potrebno je izvršiti dva ispitivanja kako bi se provjerilo je li vektorska grupa ispravna (identična onoj na natpisnoj pločici).

U oba ispitivanja moramo kratko spojiti faze B i C na primarnoj strani i generirati napon između faza A i B također na primarnoj strani.

Prvo Ispitivanje:

Mjerimo na sekundarnoj strani između faza A i B

The screenshot displays a software interface for transformer testing, organized into several colored sections:

- Nominal values (Blue):** Includes a checkbox for "Turn Ratio" and a checkbox for "STCS Present".
- Test values (Red):** Includes a dropdown for "Output Range" set to "AC 500V", a text input for "Test Voltage" set to "200,0 V", and a text input for "Test Frequency" set to "50,0 Hz".
- Measures (Yellow):** Includes checkboxes for "HV-N" and "LV-N". It features two circuit diagrams showing a three-phase system (A, B, C) with a short circuit between B and C. Below the diagrams are two test configurations: "Test 1" and "Test 2", each with checkboxes and input fields for "VRS1", "Vrs1", "VRS2", "Vrt2", and "Φ". All values are currently set to "0,0 V" or "0,0 °".
- Results (Green):** Includes a "Connection:" field (currently empty) and a "Phase Displacement:" field showing a value of "0".

Ispitivanje Vektorske Grupe transformatora/grupe spoja/satnog broja

Drugo Ispitivanje:

Mjerimo na sekundarnoj strani između faza A i C

Rezultat se sam automatski pojavljuje

Dobivena vektorska grupa mora biti ista kao nominalna vektorska grupa.

The screenshot displays a software interface for transformer testing, organized into several colored sections:

- Nominal values (Blue):** Includes a checked checkbox for "Turn Ratio" with a value of 8,000.
- STCS (Grey):** Includes a checked checkbox for "Present".
- Test values (Red):** Includes a dropdown for "Output Range" set to "AC 500V", a text input for "Test Voltage" at 200,0 V, and a text input for "Test Frequency" at 50,0 Hz.
- Measures (Yellow):** Includes checkboxes for "HV-N" (unchecked) and "LV-N" (checked). It features two circuit diagrams: the left one shows a transformer with terminals A, B, and C, and a meter connected between A and C; the right one shows a similar setup with an additional terminal N. Below the diagrams are two test results, each with a green checkmark:
 - Test 1:** VRS1: 201,2 V, Vrs1: 50,2 V, Φ : 2,0 m°
 - Test 2:** VRS2: 201,2 V, Vrt2: 25,1 V, Φ : 11,0 m°
- Results (Green):** Shows "Connection: Dyn" and "Phase Displacement: 1".

Ispitivanje otpora namota

Ispitivanje otpora namota

Mjerenja otpora namota u transformatorima od temeljne je važnosti za sljedeće svrhe :

- Proračuni komponente I^2R gubitaka vodiča.
- Proračun temperature namota na kraju ciklusa ispitivanja temperature.
- Kao mjerilo za procjenu moguće štete
- Posljednji test koji treba izvršiti (zbog magnetizacije jezgre ista se treba demagnetizirati prije nego što se izvrši ispitivanje praznog hoda i SFRA).
Nerijetko vremenski najdulje ispitivanje
- Radi se na licu mjesta kako bi se provjerile abnormalnosti zbog
 - slomljene žice vodiča,
 - visoki kontakti otpor u regulatorima napona,
 - labave veze.

Ispitivanje otpora namota

- Transformatorski namot sadrži induktivitet i otpor,
- Izvor istosmjerne struje mora biti izuzetno stabilan.

$$V_{dc} = I \cdot R + L \frac{di}{dt}$$

- I = DC struja kroz namot transformatora
- R = otpot transformatorskog namota
- L = induktanca transformatorskog namota
- di/dt = promjena struje u vremenu

- Ne smije se dopustiti da struja namota trenutno skoči s jedne vrijednosti na drugu.
- Pažnja: ako se naglo otvori krug u kojem kroz zavojnicu teče struja, zbog induktiviteta zavojnice, generirati će se visoki napon koji može dovesti do električnog luka
- Činjenica da koristimo istosmjernu struju znači da mjerimo otpor, a ne impedanciju

Ispitivanje otpora namota

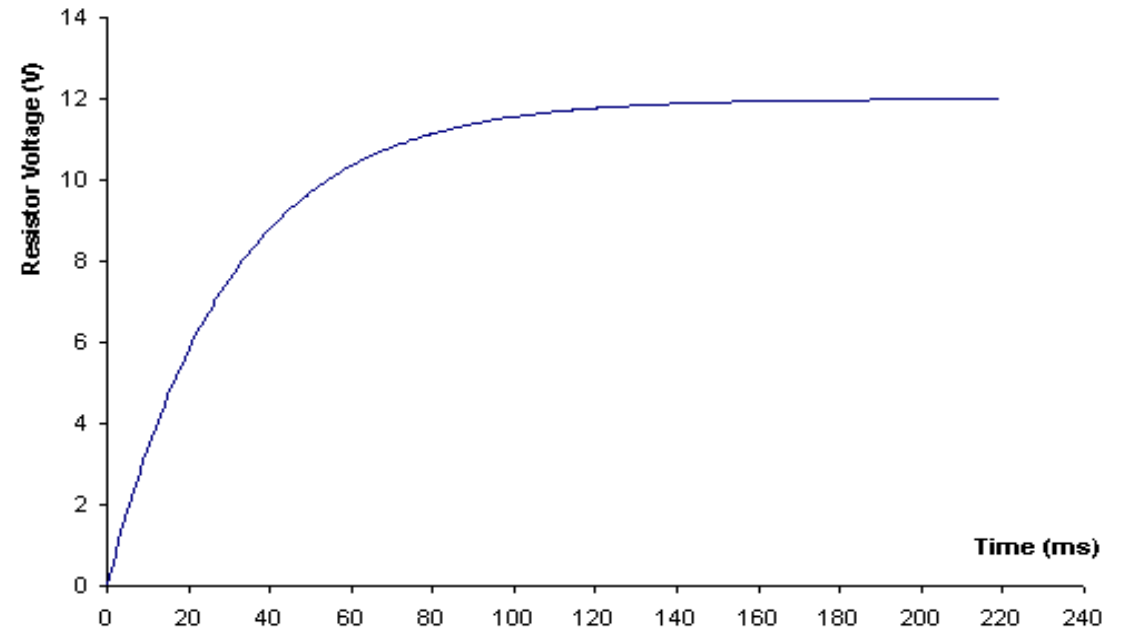
Procedura

- Za namot spojen u zvijezdu, mjerimo otpor između faze i zvjezdišta (A-N, B-N, C-N). Na primaru i sekundaru
- Za autotransformatore spojene u zvijezdu, otpor VN strane mjeri se između VN i NN terminala, zatim između NN terminala i zvjezdišta
- Ako postoji naponski regulator, otpor će se mjeriti na svakoj poziciji regulatora bez pražnjenja transformatora
- Za namote spojene u trokut, otpor mjerimo između faza (A-B, B-C, C-A). Na primaru i sekundaru
- Bitno je i koristiti temperaturnu kompenzaciju („preračunavanje“ izmjerene vrijednosti na temperaturu na kojoj je izvršeno prvo mjerenje otpora (obično oko 70°C)

Ispitivanje otpora namota

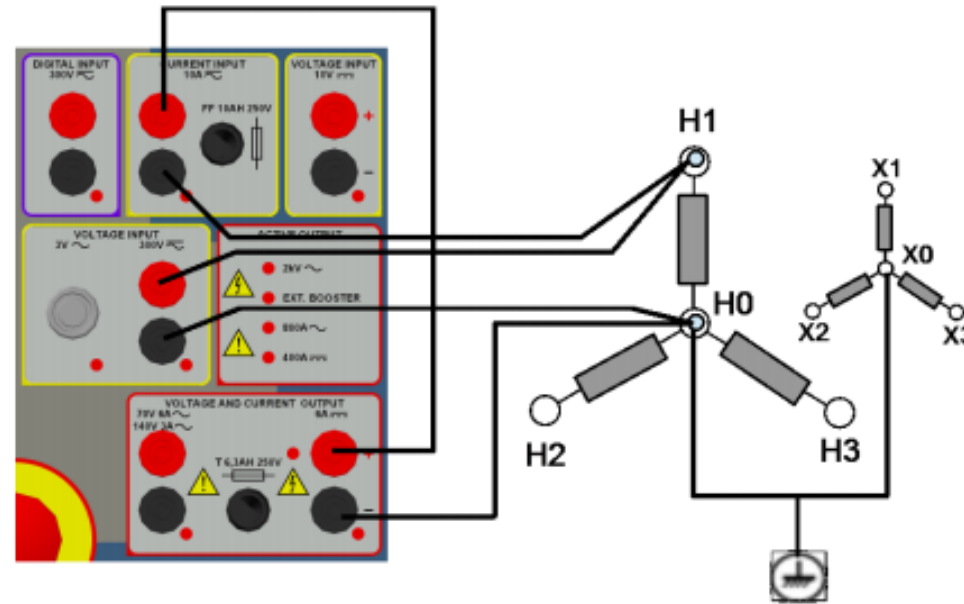
Nužno je ispuniti ove zahtjeve kako bi kvalitetno ispitali otpor namota :

- Stabilan izvor istosmjerne struje
- Voltmetar
- Algoritam za stabilno očitavanje otpora (mjeriti kada di/dt padne na 0)
- Pražnjenje nakon mjerenja
- Bilo bi dobro da ispitna struja nije manja od 1% nazivne struje i ne veća od 10%. Struja veća od 10% bi mogla zagrijati vodiče na iznos koji bi uticao na mjerenje. Struja puno manja od 1% bi mogla učiniti mjerenje nestabilnim
- Može potrajati vrijeme (nekoliko minuta) da se jezgra transformatora u početku napuni – tako da **di/dt** promjena struje postane 0



Ispitivanje otpora namota

Shema spajanja za ispitivanje otpora namota

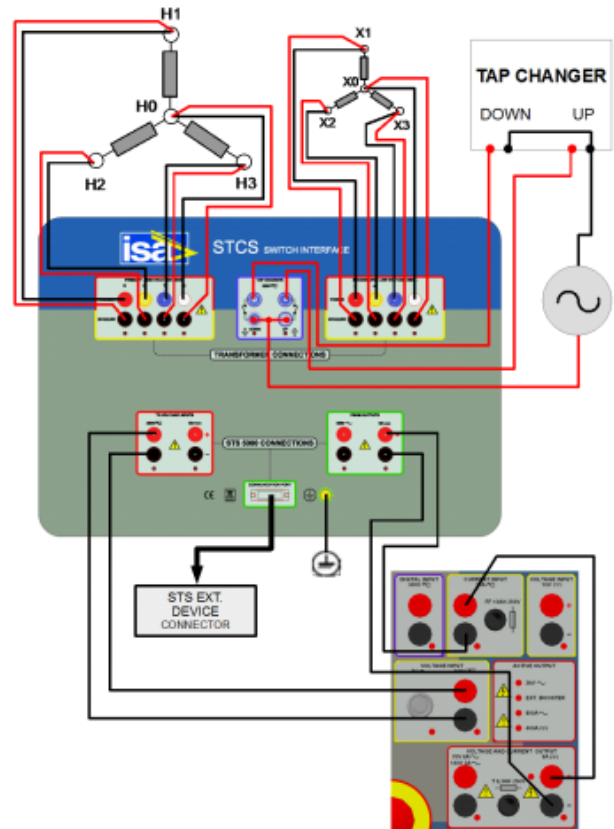


Na multifunkcionalnim uređajima spajamo na namot strujni DC izvor te mjerimo struju koju on generira te na istom tom namotu mjerimo pad napona čime dobivamo otpor namota R kada di/dt padne na nulu – prednost uređaju sa „pure DC” generacijom

Ispitivanje otpora namota

Otpor namota sa Switch Box-om : (iliti – 3faznim izvorom DC struje)

- Automatsko ispitivanje otpora namota na 3-faznom transformatoru.
- Mjerenje se obavlja i na primarnoj i na sekundarnoj strani Tx.
- Automatsko upravljanje naponskim regulatorom transformatora za ispitivanje transformatora na svim pozicijama NR.
- Jako skraćuje vrijeme mjerenja (i do 70 %) jer je svaka faza samo jednom energizirana i de-energizirana – dakle 3 puta sve zajedno



Rješenje s integriranim Switch-boxom

Ispitivanje otpora namota

Evaluacija rezultata – rezultat mora biti unutar 2% referentne vrijednosti (3% u nekim slučajevima)

Ako referentne vrijednosti nisu dostupne – Uspoređuju se faze – opet - 2 % - 3% razlike između faza je maksimalna tolerancija

Primjer 1 – Otpor primarne strane – obično veći otpor ako govorimo o Step Down Transformatoru (36,7 Ω)

Phase	I test [A]	I DC [A]	V DC [V]	Time [s]	R meas [Ω]	R comp [Ω]	R nom [Ω]	Error
✓ A	0,900	0,899	32,979	322,6	36,6642	38,8256	36,0000	2
□ A	0,900							
✓ B	0,900	0,899	33,056	274,3	36,7542	38,9208	36,0000	2
□ B	0,900							
✓ C	0,900	0,898	33,164	277,6	36,9229	39,0996	36,0000	3
□ C	0,900							

Ispitivanje otpora namota

Primjer 2 – Otpor sekundarne strane – obično manji otpor ako govorimo o Step Down

Transformatoru (0,63 Ω) jer niži napon na trafo znači veću struju a za veću struju želimo manji otpor kako bismo smanjili gubitke.

Uočite R_{meas} i R_{comp} stupce – temperaturna (kompenzacija)

Također pogledajte razliku u vremenu potrebnom za izvršenje mjerenja (Faza A 118 s vs. 22 s)

Nominal values

3-phase
Tap number: 2L
Nominal resistance: 0,600 Ω

Measure

10V
300V

Compensation

Temp. compensation:
Fahrenheit [°F]:
Celsius [°C]:
Material: Cu
Ambient t.: 25,0 °C
Reference t.: 40,0 °C

Test values

Output Range: 6A
Test current: 5,000 A
Min R: 1,000 mΩ
Max R: 7,000 Ω

Results

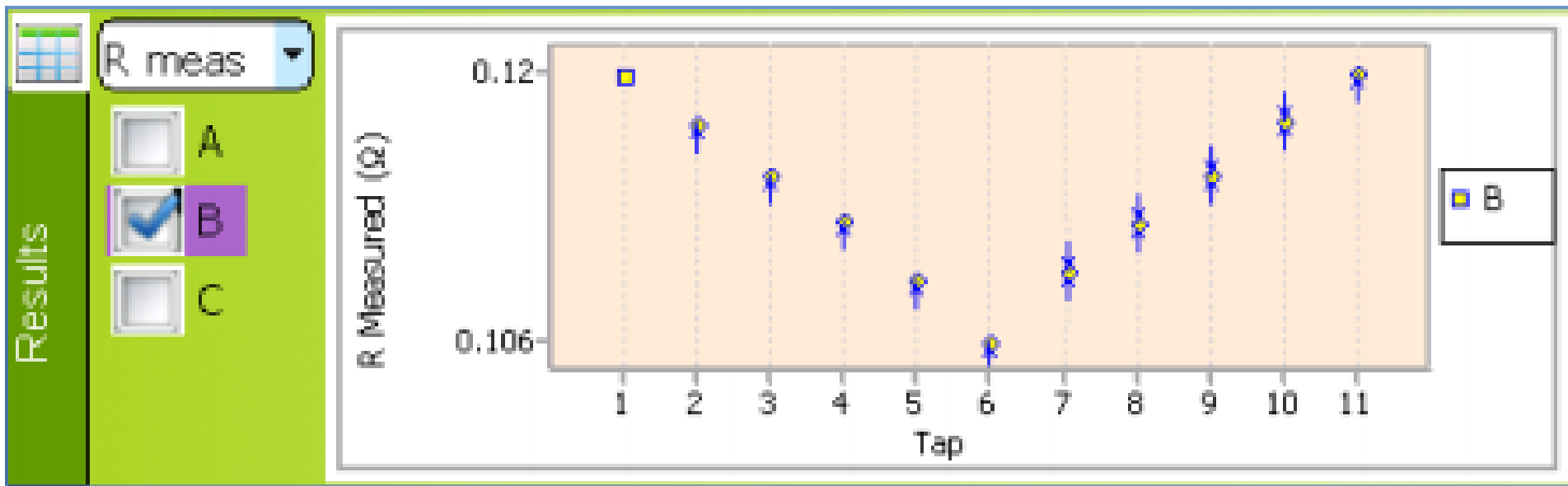
STCS present:
Auto-tap: None
Auto-phase: ABC

Data results

	Phase	I test [A]	I DC [A]	V DC [V]	Time [s]	R meas [Ω]	R comp [Ω]	R nom [Ω]	Error
✓	A	5,000	4,971	3,194	118,5	0,6430	0,6809	0,6000	
✓	A	5,000	4,981	3,205	22,0	0,6432	0,6812	0,6000	
✓	B	5,000	4,992	3,140	116,9	0,6289	0,6660	0,6000	
✓	B	5,000	5,002	3,145	23,8	0,6288	0,6658	0,6000	
✓	C	5,000	4,992	3,181	125,1	0,6374	0,6750	0,6000	
✓	C	5,000	5,015	3,198	24,9	0,6378	0,6754	0,6000	

Ispitivanje otpora namota

Grafički prikaz otpora namota na svakoj poziciji naponskog regulatora

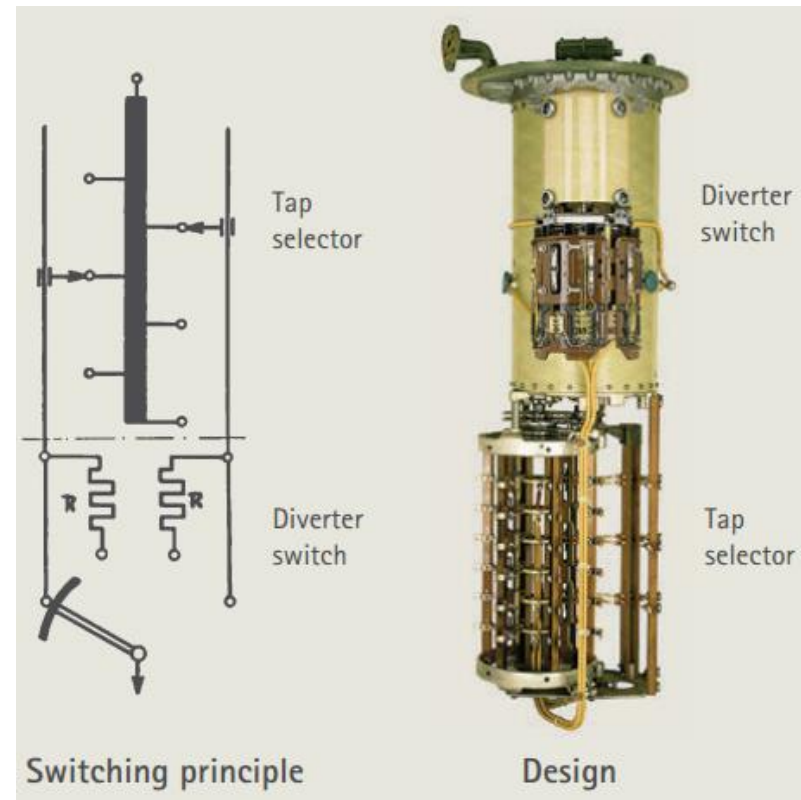


Dinamički otpor naponskog regulatora *(Ripple & Slope)*

Dinamički otpor naponskog regulatora

Naponski regulator se sastoji od:

- Diverter Switch
- Selector Switch

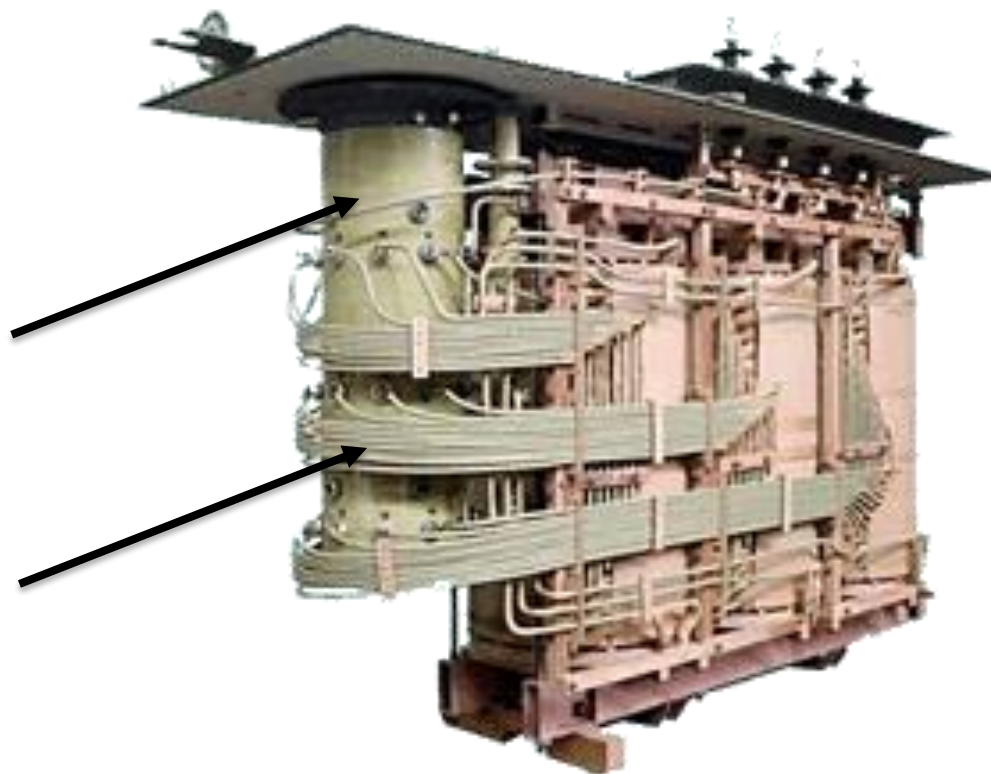


Dinamički otpor naponskog regulatora

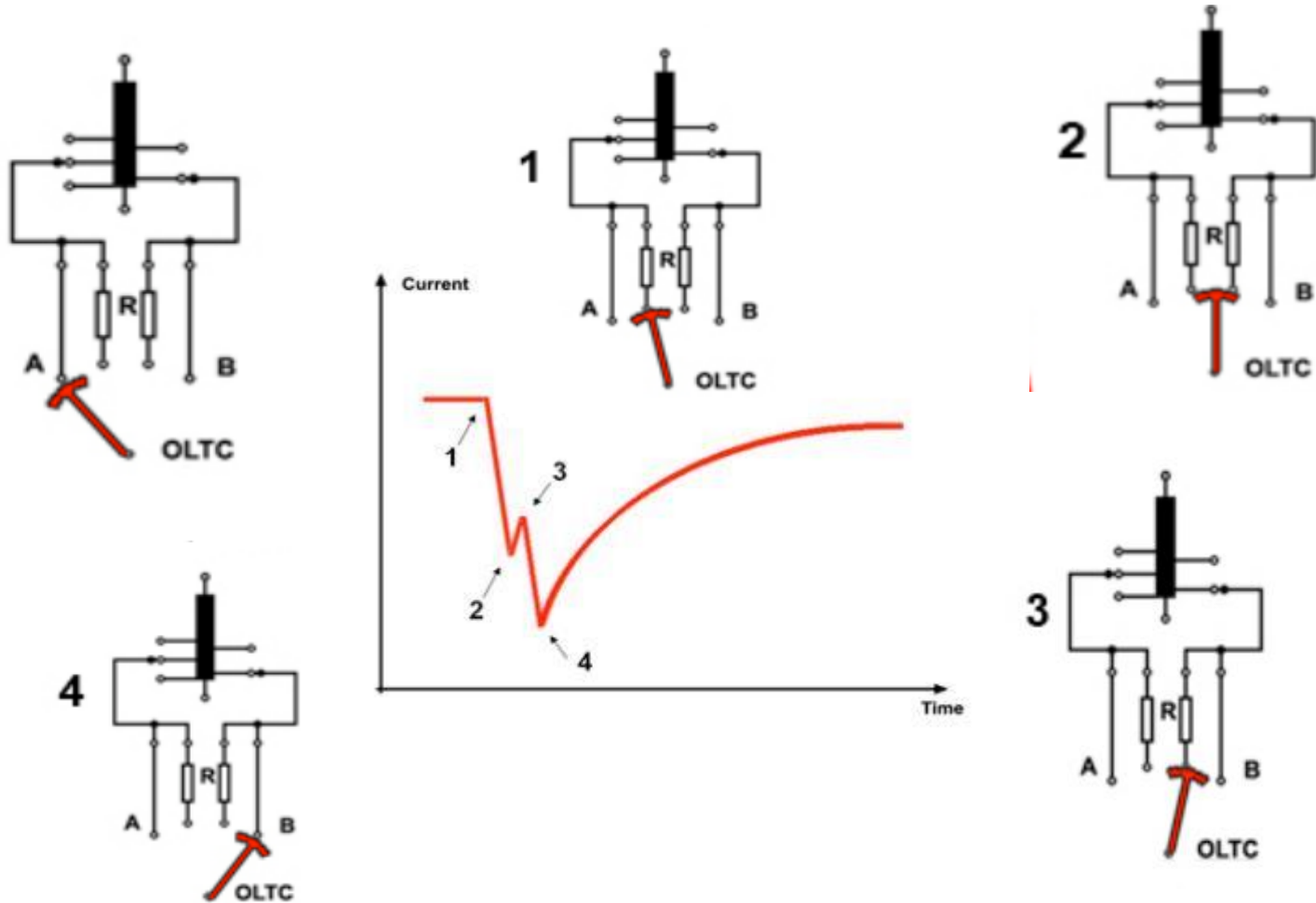
Napnski Regulator unutar
Transformatorskog Tanka

Komora NR

Namot sa
otcjepima

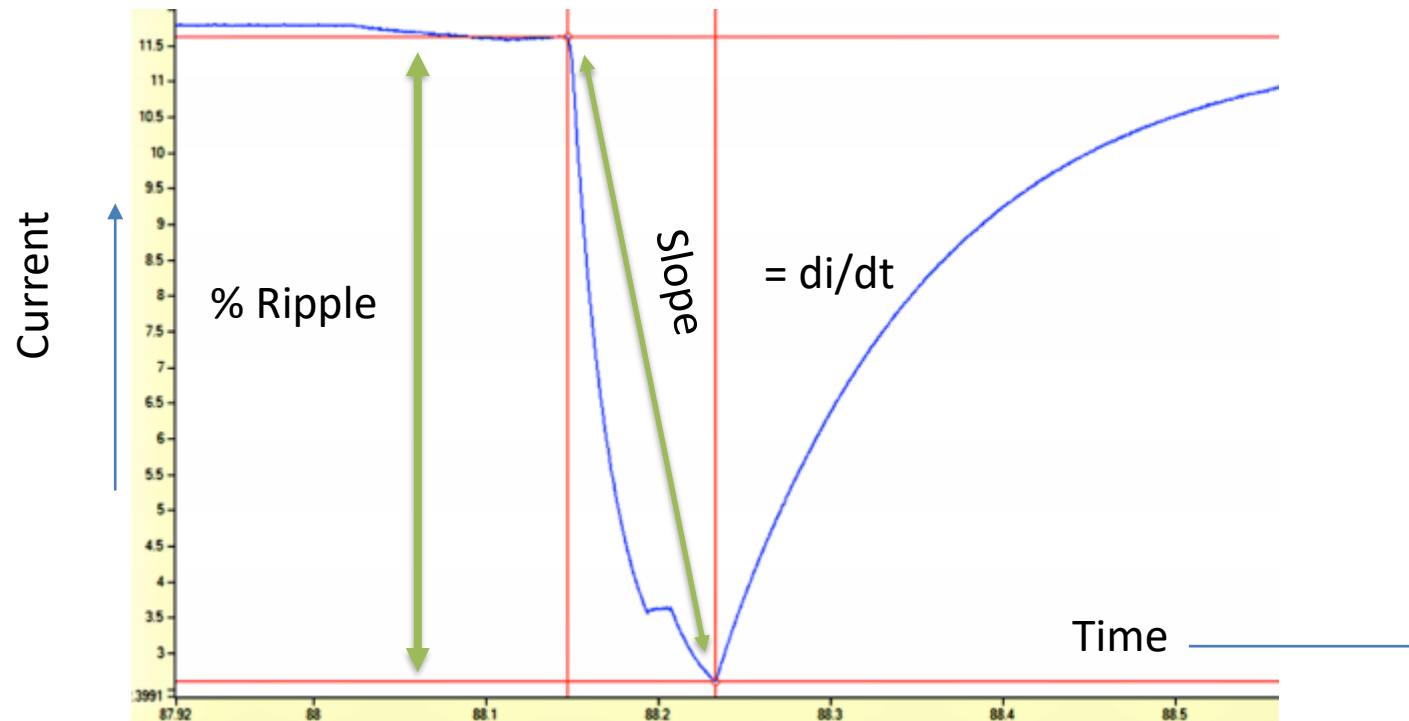


Kretanje Preusmjerivača



Dinamički otpor naponskog regulatora

Tijek struje s vremenom s promjenom vremena.



Dinamički otpor naponskog regulatora

Statički otpor Pruža vrijednosti:

Svi unutrašnji kontakti NR

+

Otpor namota

ASvi interni kontakti sadrže::

- diverter switch contacts
- tap selector switch
- Internal Contacts

Dinamički otpor naponskog regulatora

Statički otpor sa Ripple i Slope Provides daje vrijednosti:

Svi unutranji kontakti NR
+
Otpor namota
+
Informacije o kretanju Diverter Switcha

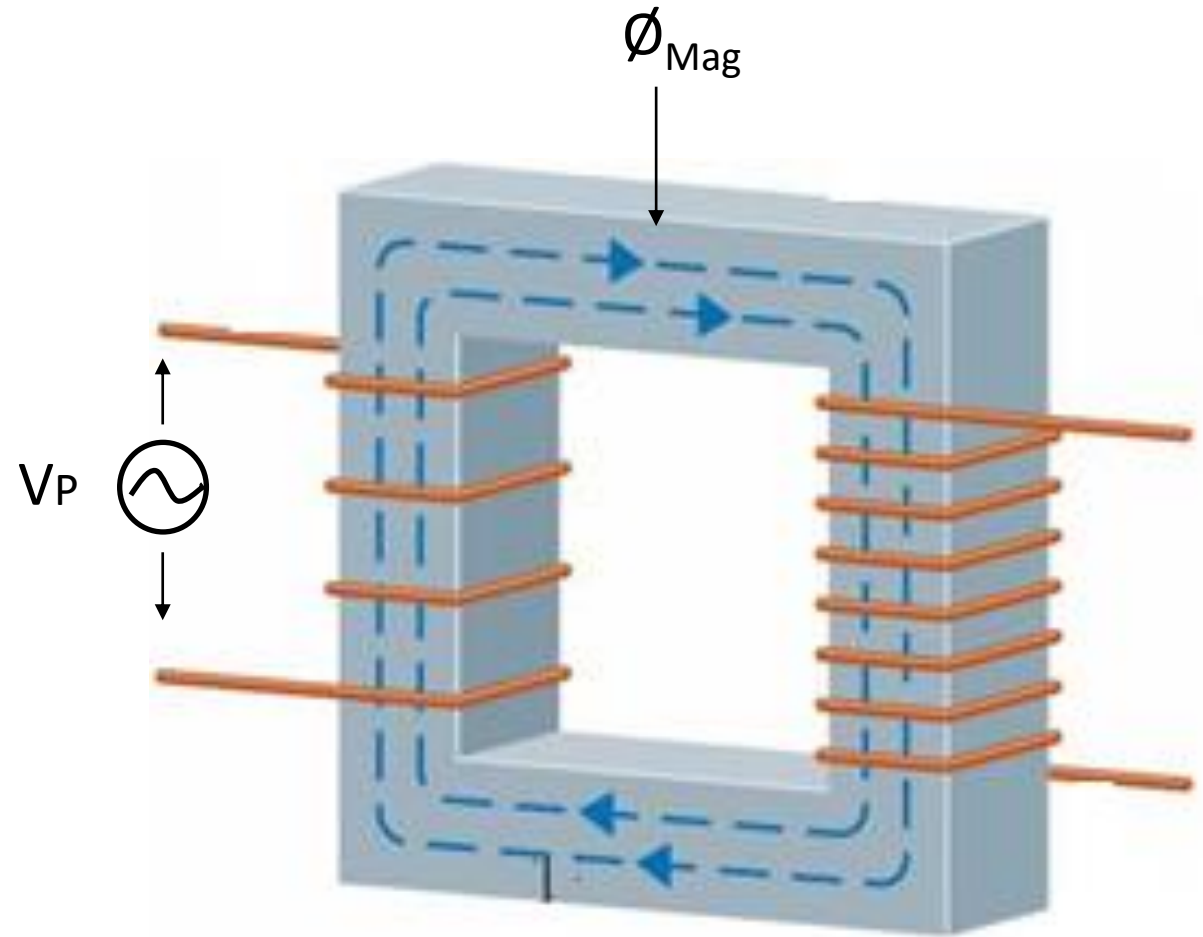
Napomena: Test se uvijek provodi i za kretanje prema gore i za pomicanje položaja slavine prema dolje.

Test/Ispitivanje struje praznog hoda
(Struja uzbude)

Struja praznog hoda

Struja praznog hoda nam pokazuje:

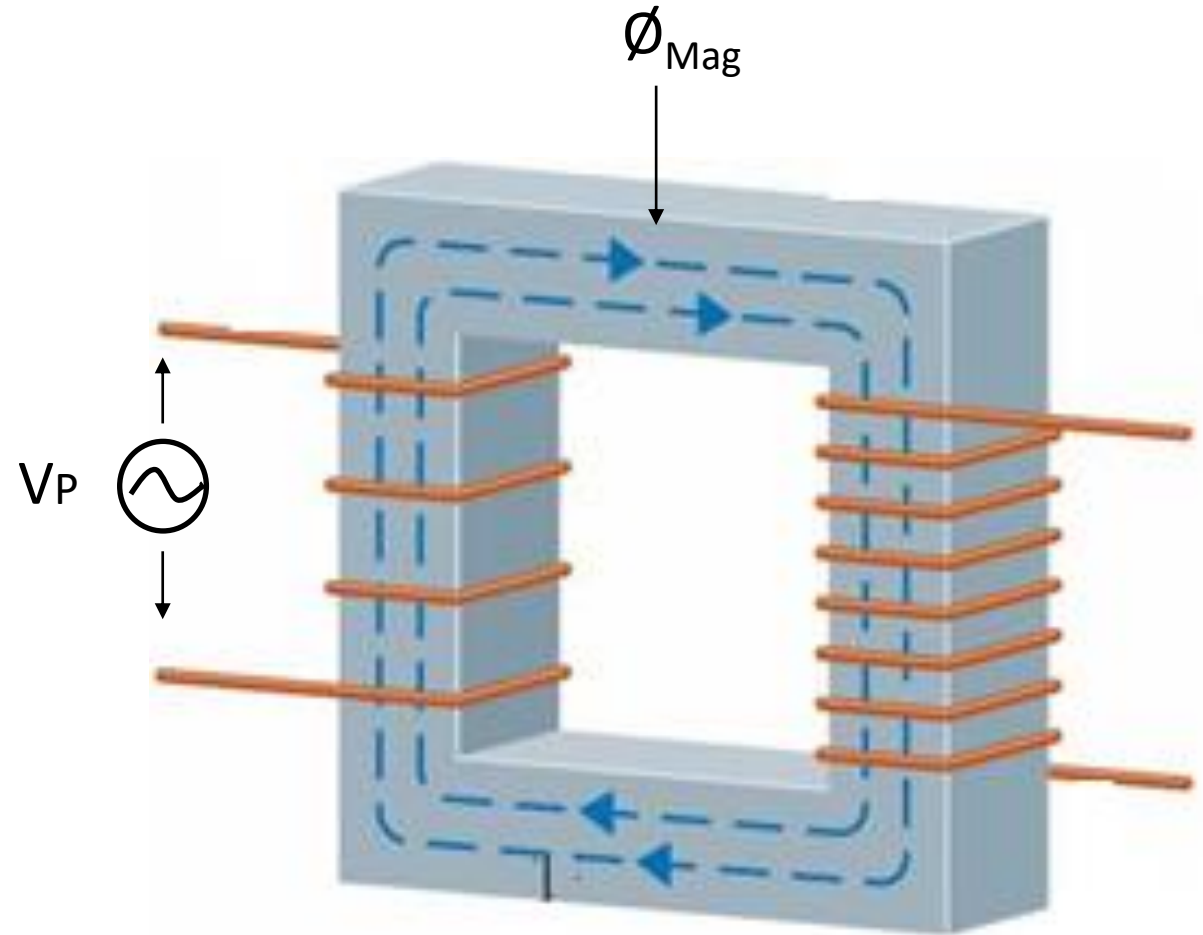
- Uzemljenja jezgre kojih ne bi trebalo biti
- Greške namota: kratki spojevi, otvoreni krugovi
- Probleme sa Naponskim Regulatorom
- Defekte pri proizvodnji
- Određuje gubitke u jezgri (vrtložne struja i histereza)
- Moglo bi se reći da svi potencijalni kvarovi koje bi mogli detektirati ispitivanjem koeficijenta transformacije, možemo naći i koristeći ispitivanje struje praznog hoda



Struja praznog hoda

Izvođenje ispitivanja:

- Primijenjen napon na primarnoj strani s otvorenim krugom sekundarne strane (u nekim zemljama obrnuto – Rus, Can, Viet)
- Struja koja se mjeri je struja potrebna za magnetiziranje jezgre magnetskim tokom Φ_{mag} .
- Ovaj magnetski tok inducira napon V_2 na sekundaru
- Potrebna struja je struja uzbude.



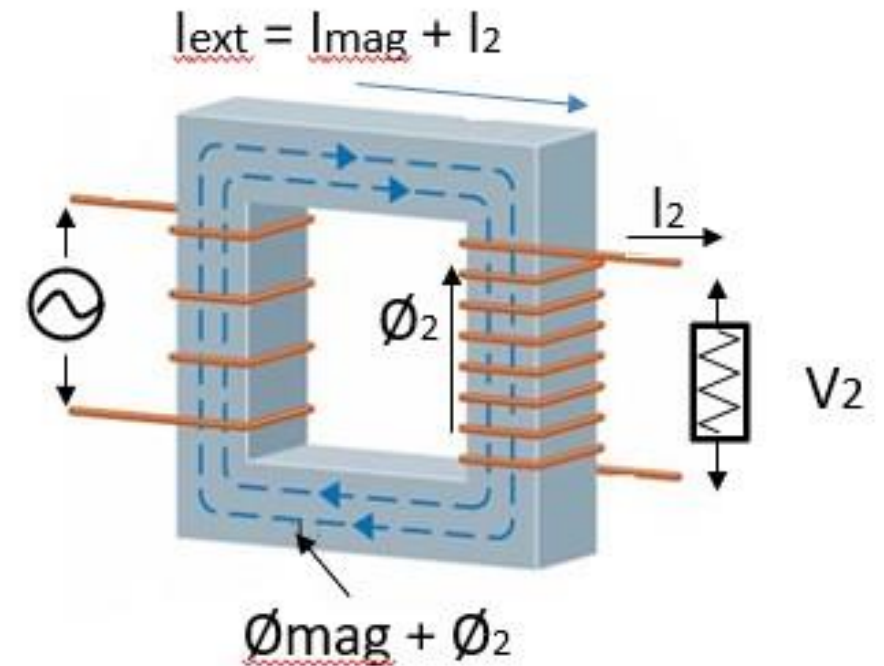
Struja praznog hoda

Značenje ispitivanja struje praznog hoda:

- Kada je opterećenje postavljeno na sekundarnom namotu, teći će struja

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

- Struja I_2 će zauzvrat stvoriti suprotni magnetski tok Φ_2
- Uzimajući u obzir da je napon V_2 konstantan, generator napona V_1 će osigurati veću struju I_1 za održavanje magnetizirane jezgre jednakom suprotnom toku $I_1 = I_{\text{excitation}} = I_{\text{mag}} + I_2$

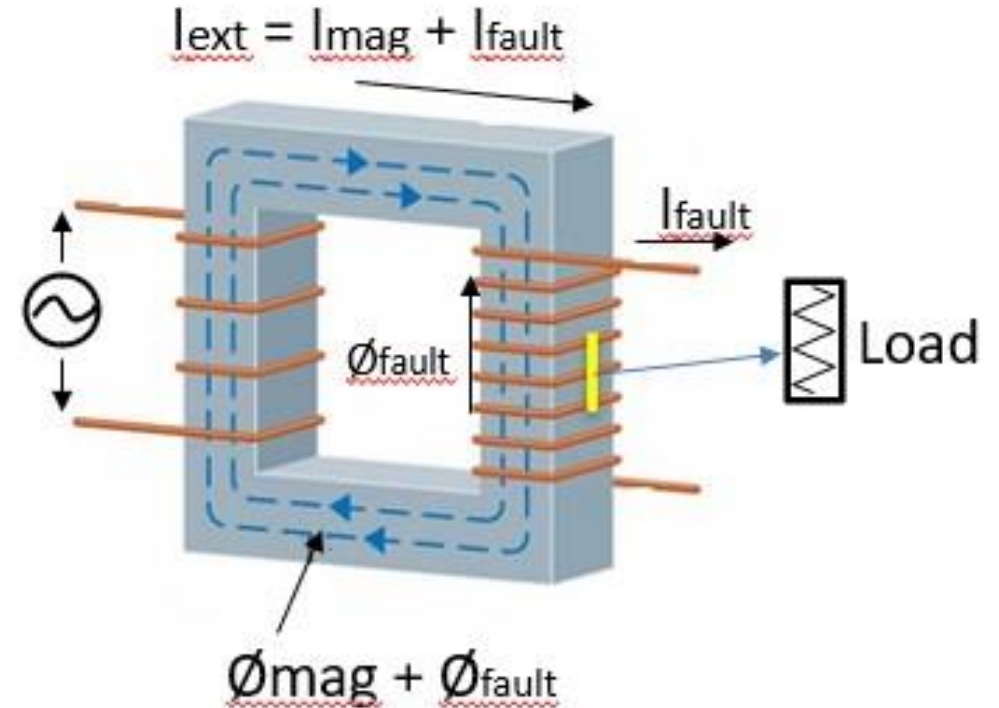


Struja praznog hoda

Značenje ispitivanja struje praznog hoda:

Kratki spoj namota:

- Svaki kratki spoj namota na sekundarnoj strani će se ponašati kao teret na sekundaru što će voditi da se poveća struja na sekundaru.
- Struja uzbude će se povećati zbog suprotnog toka stvorenog kvarom Φ_{fault} .
- ✓ Svaki kratki spoj na sekundaru će rezultirati povećanjem struje praznog hoda, poznate još kao struja uzbude.



Struja praznog hoda

Kako izvoditi ispitivanje:

- Svaka faza mora biti ispitana istim naponom
- Ispitivanje se mora izvesti s najvećim mogućim naponom
- Ispitni napon ne smije prijeći nazivni napon
- Usporedite s prethodnim rezultatima.



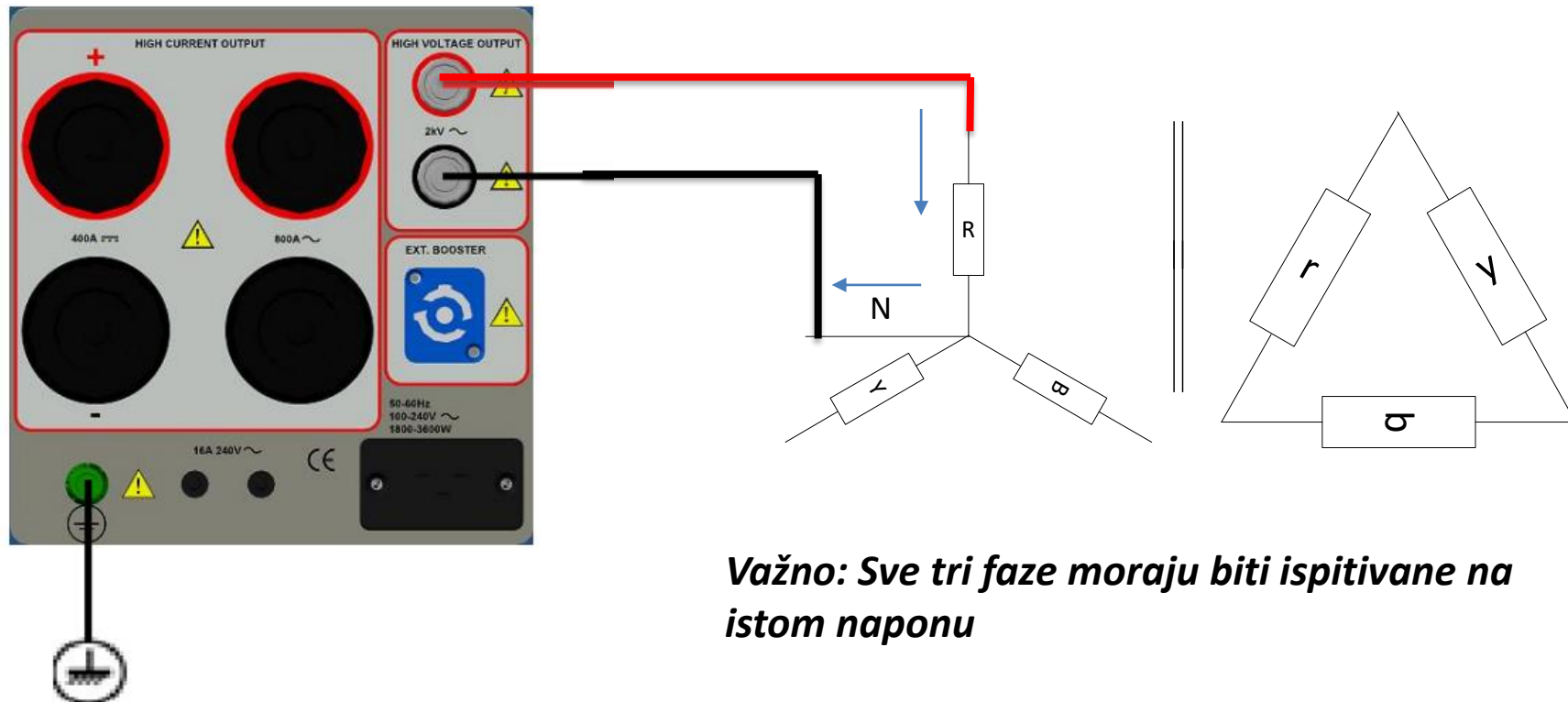
Do 12kV @ 300mA



Do 2kV @ 1.5A

Struja praznog hoda

Ispitivanje izvedeno sa naponskim izvorom do 2 kV



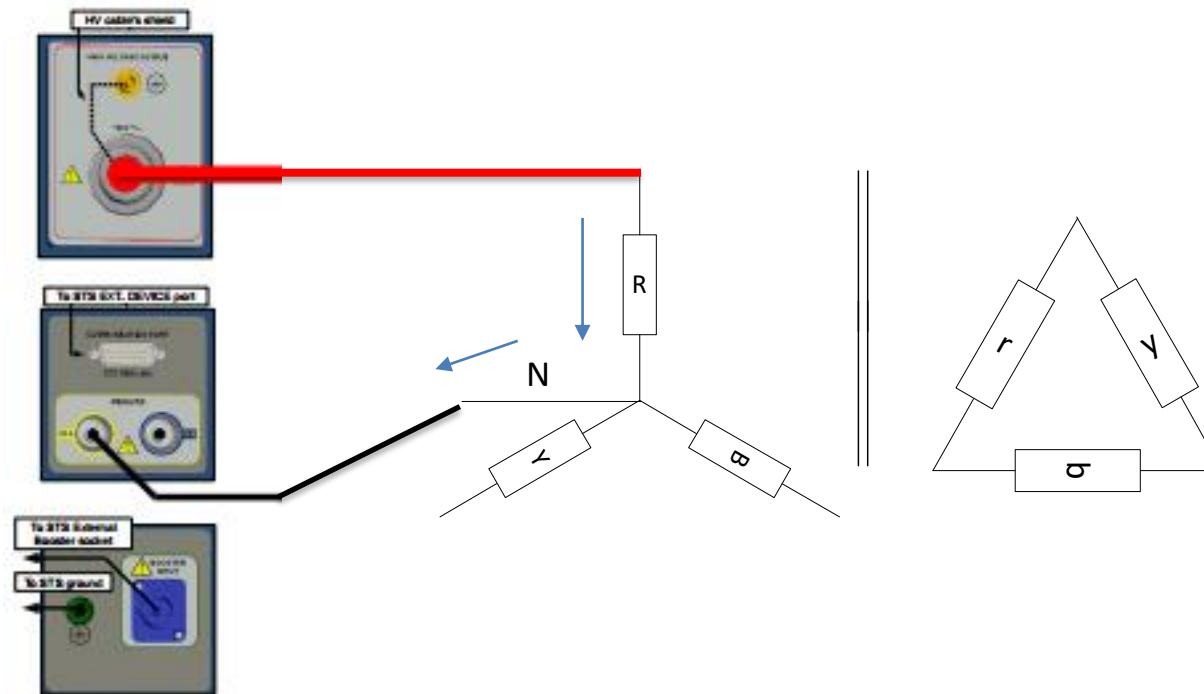
Važno: Sve tri faze moraju biti ispitivane na istom naponu

Često uređaj može preračunati na vrijednost od 10 kV

Struja praznog hoda

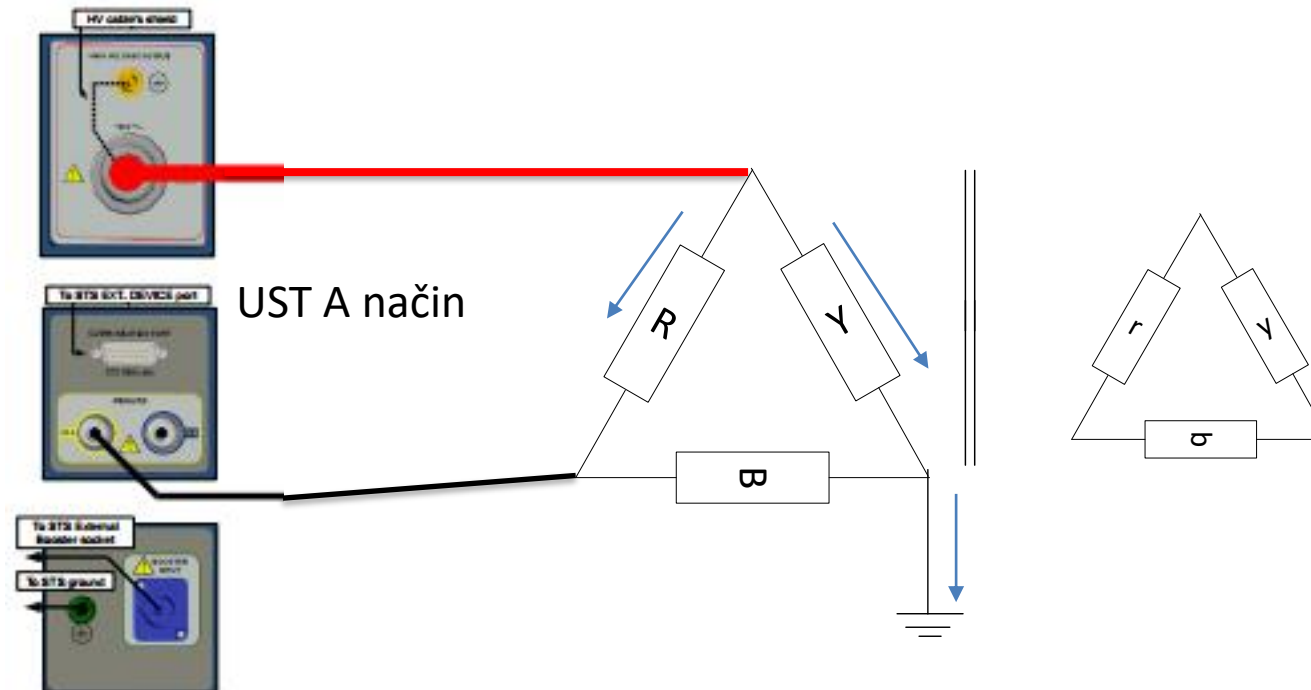
Ispitivanje izvođeno sa dodatkom za tangens delta koji generira napon do 12 kV na namotu spojenom u Zvijezdu:

UST A način



Struja praznog hoda

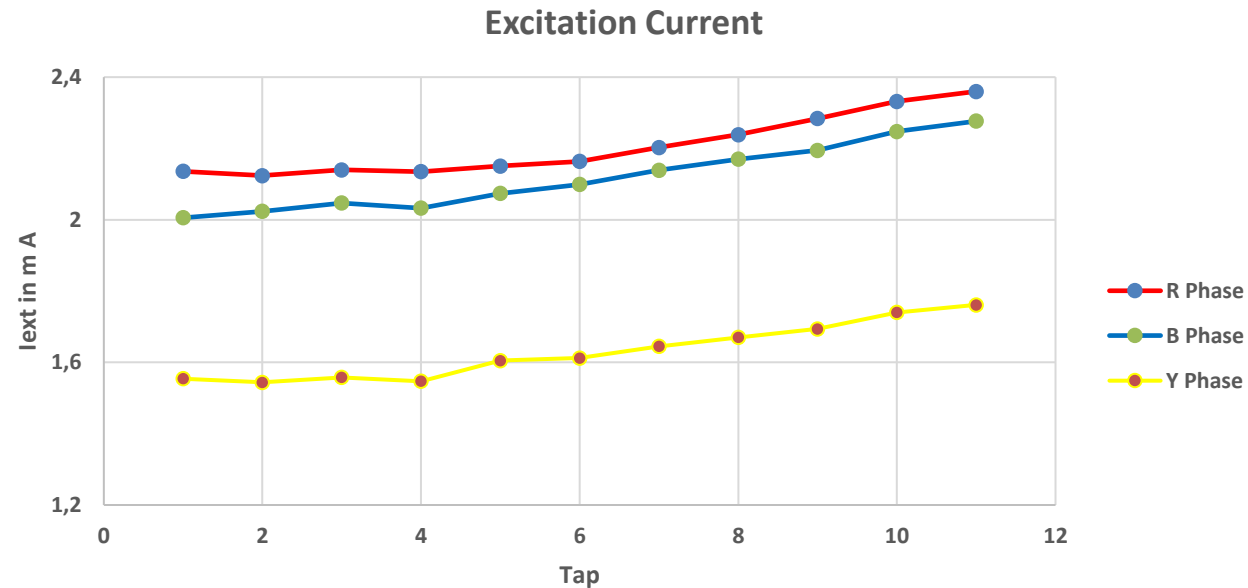
Ispitivanje izvođeno sa dodatkom za tangens delta koji generira napon do 12 kV na namotu spojenom u Trokut:



Struja praznog hoda

Primjer:

- 400 kV / 132 kV Transformator
- Usporedba između faza
- Pokazuje dva slična visoka očitavanja i jedno nisko očitavanje, uobičajeno je za trofazni transformator (to je česti uzorak jer centralna faza ima manji rasipni induktivitet)



Struja praznog hoda

Analiza rezultata ispitivanja

- Usporedba faza: dva slična visoka očitavanja i jedno nisko očitavanje je česti uzorak (iako postoje iznimke).
- Kada je NR prisutan, razmotrite uzorak unutar faze.

U ovom testu ne predlaže se usporedba rezultata s onima dobivenim u tvornici jer su oni u tvornici napravljeni s 3 ph izvorom i obično mnogo višim naponom



Pokus kratkog spoja (Rasipna rektanca)

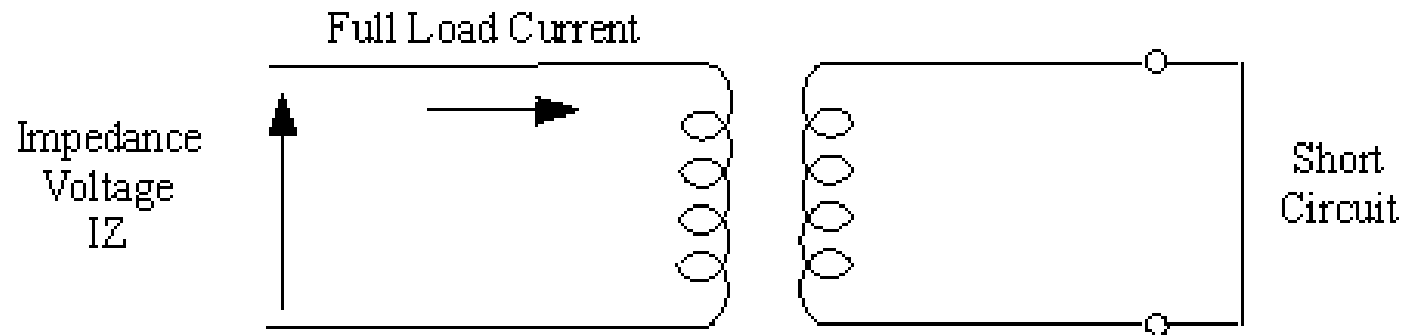
Pokus kratkog spoja

" To je postotak nazivnog napona primarne strane potrebnog za cirkulaciju struje punog opterećenja u uvjetima kratkog spoja na drugoj strani sekundarne."

(Ili)

Postotak impedancije transformatora je pad napona pri punom opterećenju zbog otpora namota i rasipne reaktancije izražen kao postotak nazivnog napona.

$$Z\% = \frac{\text{Pad napona na impdanciji}}{\text{Nazivni napon}} \times 100$$



Pokus kratkog spoja

Zašto izvodimo pokus kratkog spoja:

- To određuje maksimalnu vrijednost struje kvara koja će teći u uvjetima kvara
- Može nam pokazati moguće pomicanje namota uzrokovano jakom strujom kvara koja je prošla kroz transformator
- Također može pokazati moguću deformaciju namota uzrokovanu tijekom transporta.

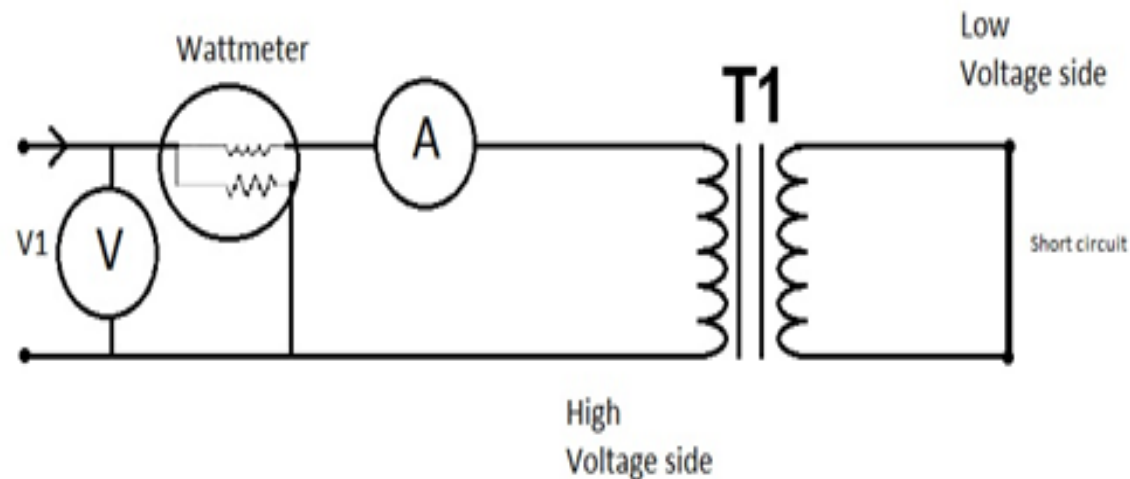
Ako bismo uspoređivali Transformer s automobilom, automobil treba "izgubiti" nešto snage da pomakne vlastitu masu. Isto ovdje, Trafo mora izgubiti dio snage da prevlada vlastiti omski otpor bakrenih namota



Pokus kratkog spoja

Kako izvesti ispitivanje:

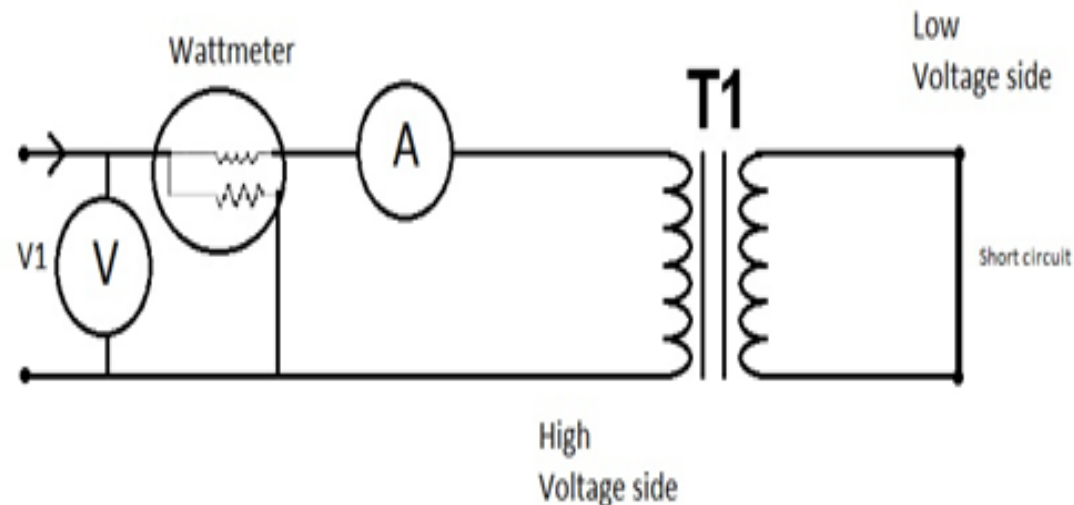
- Ispitivanje se provodi dajući napon na visokonaponskoj strani transformatora.
- Niskonaponska (NN) strana ili sekundar je kratko spojen **debelim kabelima** (u nekim zemljama je obrnuto).
- Budući da je primijenjeni napon vrlo nizak (npr. 100 V) u usporedbi s nazivnim naponom, gubici jezgre se zanemaruju



Pokus kratkog spoja

Kako izvesti ispitivanje:

- Na primarnoj strani Tx pomalo podižemo napon dok ne postignemo nominalnu struju na sekundaru.
- To napravimo za sve tri faze
- Rezultat se uspoređuje sa vrijednosti na natpisnoj pločici – **Z%** (npr. 7.8 %, 10 %).
- Maksimalna dopuštena granica pogreške je 3% od vrijednosti na natpisnoj pločici



Pokus kratkog spoja

Ispitivanje 3-faznog transformatora

Trofazni transformator može se testirati korištenjem jednofaznog izvora napajanja pomoću jedne od ovih dviju metoda:

- Metoda 3-faznog ekvivalenta (često se koristi kod proizvođača)
- Fazna metoda
(ako je na primaru namot spojen u Zvijezdu sa zvjezdištem kojemu se može pristupiti)
- U oba slučaja izvršit ćemo 3 mjerenja nakon čega nam ispitni uređaj automatski pokazuje rezultat – u modernim ispitnim uređajima nije potrebno dizati napon na primaru do iznosa nominalne struje na sekundaru

Pokus kratkog spoja

Ispitivanje 3 – faznog transformatora – Metoda 3-f ekvivalenta

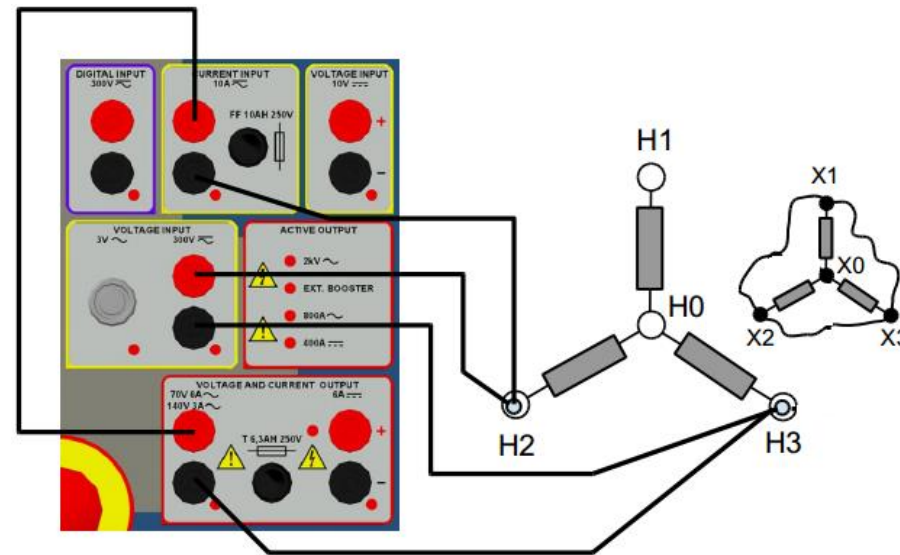
Izvesti ispitivanje za:

H1-H2

H2-H3

H3-H1

Formula izračuna za % Zk bit će:



3-phase equivalent:

$$Zk \% meas = \frac{(Zk_{AB} + Zk_{BC} + Zk_{CA})[\Omega]}{60} \cdot \frac{P nominal [kVA]}{V_{LL} nominal [kV]}$$

Pokus kratkog spoja

Ispitivanje 3 – faznog transformatora – Fazna metoda

Izvesti ispitivanje za:

H1-H0

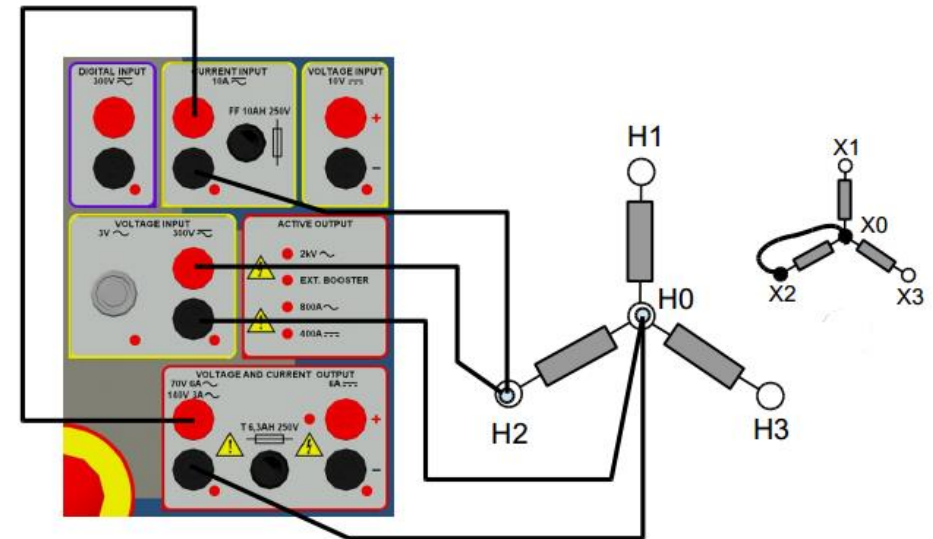
H2-H0

H3-H0

Formula izračuna za % Zk bit će :

Per-phase:

$$Z_k \% meas = \frac{Z_k [\Omega]}{10} \cdot \frac{P nominal [kVA]}{V_{LL} nominal [kV]}$$



Pokus kratkog spoja

Primjer:

Data results		Graphical representation						
Per-phase C		3-phase equivalent A-B	3-phase equivalent B-C	3-phase equivalent C-A				
#		f [Hz]	V [V]	I _{max} [A]	V _{meas} [V]	φ _V [°]	I _{meas} [V]	Loss [W]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	15,0	56,000	1,000	28,686	83,8	1,003	3,105
2	<input checked="" type="checkbox"/>	30,0	100,000	1,000	59,332	86,5	1,043	3,777
3	<input checked="" type="checkbox"/>	50,0	100,000	1,000	94,655	86,6	1,001	5,604
4	<input checked="" type="checkbox"/>	75,0	100,000	1,000	120,471	87,6	0,852	4,210
5	<input checked="" type="checkbox"/>	135,0	100,000	1,000	99,929	87,6	0,395	1,638
6	<input checked="" type="checkbox"/>	200,0	100,000	1,000	99,946	87,5	0,268	1,185
7	<input checked="" type="checkbox"/>	300,0	100,000	1,000	115,581	87,3	0,208	1,139

#	R _k [Ω]	R _k [Ω] calc	L _k [mH]
1	3,447	3,673	0,302
2	3,792	4,129	0,301
3	4,431	6,653	0,301
4	5,282	6,895	0,300
5	6,580	12,457	0,298
6	87,5	0,268	1,185
7	87,3	0,208	1,139

#	Z _k % meas	Z _k % nom	Dev Z _k %	X _k % meas	X _k % Nom	Dev X _k %
1	17,112	16,430	4,150	17,112	16,4	4,150

Pokus kratkog spoja

Measures

Data results Graphical representation

Per-phase A Per-phase B Per-phase C 3-phase equivalent A-B 3-phase equivalent B-C 3-phase equivalent C-A

#	f [Hz]	V [V]	IMax [A]	Vmeas[V]	Φ V [°]	Imeas[A]	Loss [W]	Zk [Ω] Meas	Xk [Ω]
1	50,0	100,000	1,000	10,996	84,2	1,000	1,116	11,002	10,945

Measures

Data results Graphical representation

Per-phase A Per-phase B Per-phase C 3-phase equivalent A-B 3-phase equivalent B-C 3-phase equivalent C-A

#	f [Hz]	V [V]	IMax [A]	Vmeas[V]	Φ V [°]	Imeas[A]	Loss [W]	Zk [Ω] Meas	Xk [Ω]
1	50,0	100,000	1,000	10,969	84,0	0,999	1,152	10,984	10,923

Measures

Data results Graphical representation

Per-phase A Per-phase B Per-phase C 3-phase equivalent A-B 3-phase equivalent B-C 3-phase equivalent C-A

#	f [Hz]	V [V]	IMax [A]	Vmeas[V]	Φ V [°]	Imeas[A]	Loss [W]	Zk [Ω] Meas	Xk [Ω]
1	50,0	100,000	1,000	11,082	83,8	1,000	1,192	11,079	11,015

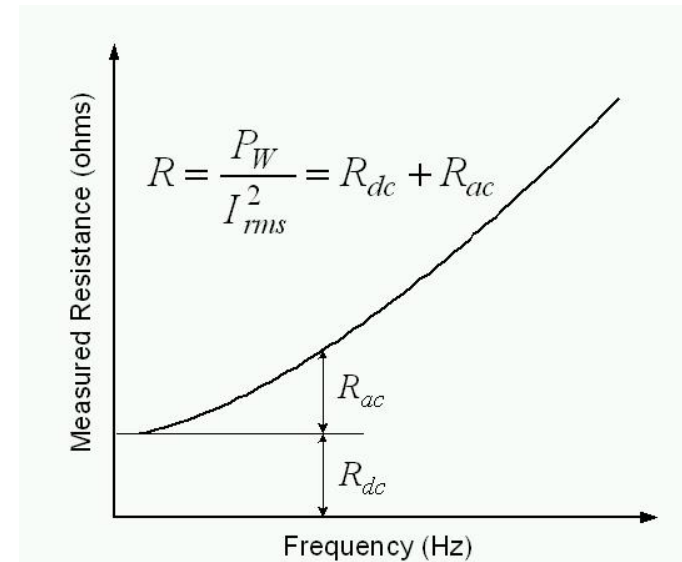
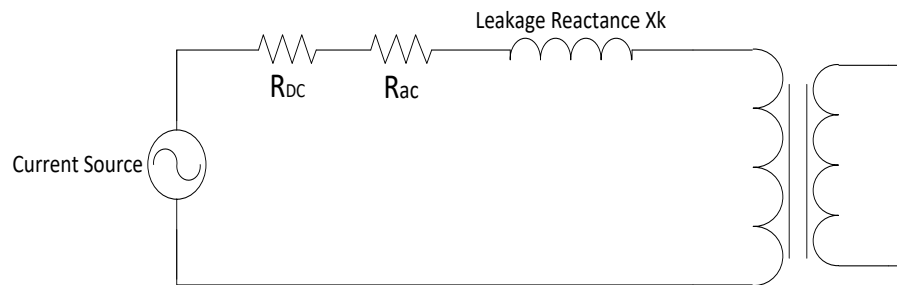
#	Zk % meas	Zk % nom	Dev Zk %	Xk % meas	Xk % Nom	Dev Xk %
1	8,282	5,000	65,639	8,282	5,0	65,639

Frekvencijski odziv rasipnih gubitaka

Frequency Response of Stray Losses (FRSL)

Frekvencijski odziv rasipnih tokova(FRSL)

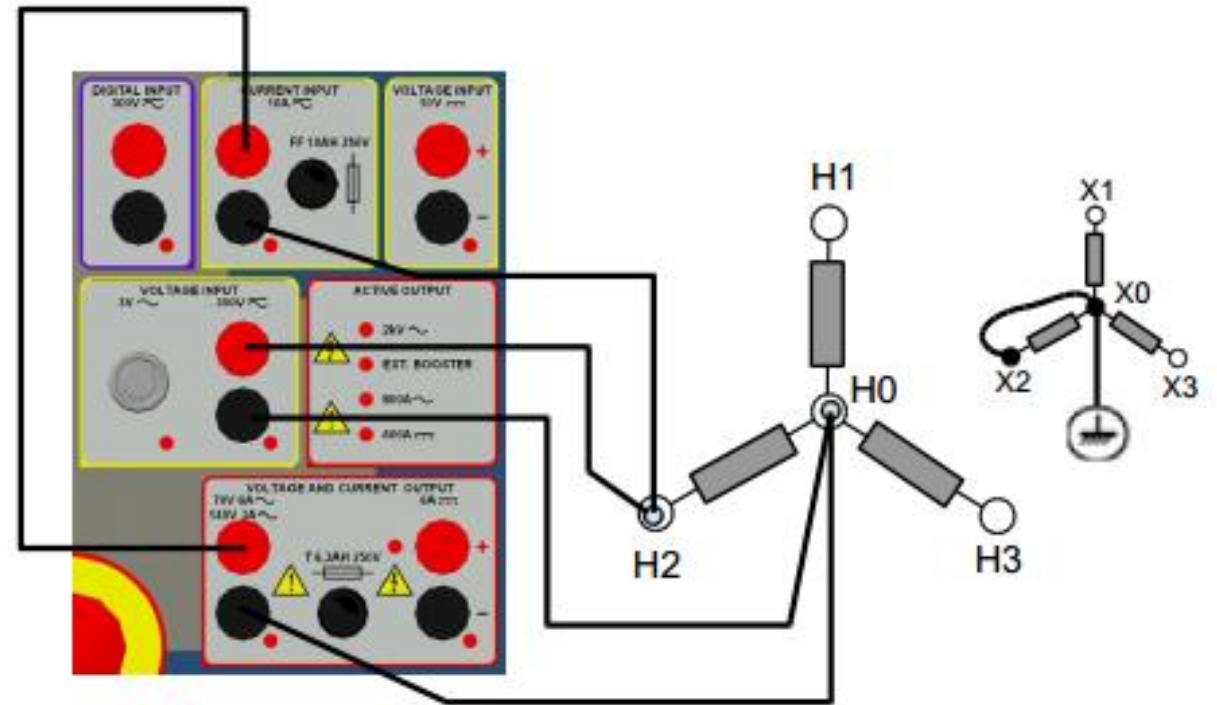
- FRSL je zapravo pokus kratkog spoja, ali pri promjenjivim frekvencijama npr. 15Hz to 500Hz.
- To je jedina električna metoda koja nam govori o kratkim spojevima između paralelnih niti i lokalnom pregrijavanju zbog prevelikih gubitaka vrtložnih struja.



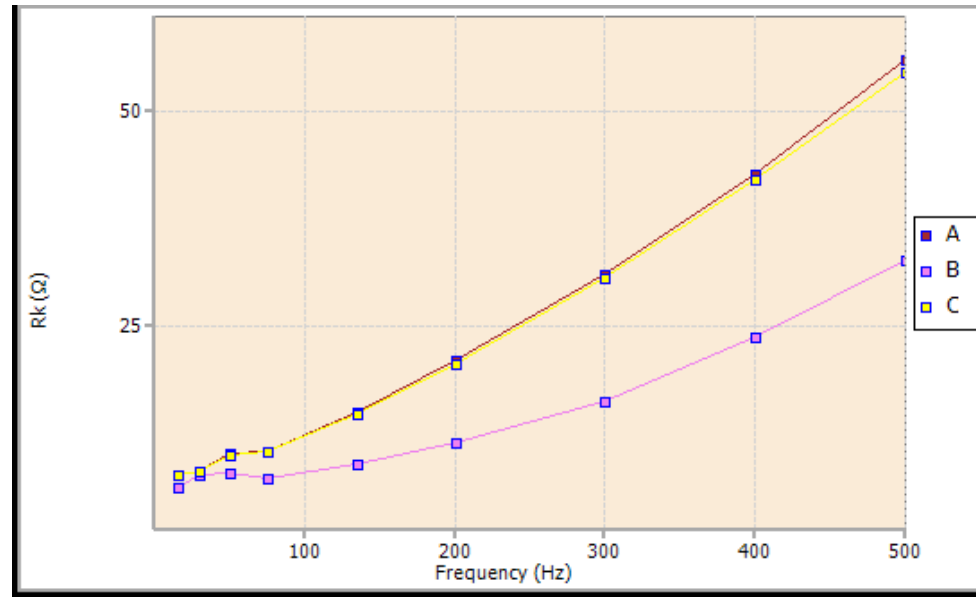
Frekvencijski odziv rasipnih tokova(FRSL)

Kako izvesti ispitivanje :

- Ispitivanje je slično pokusu kratkog spoja, ali ispitivanje se provodi na promjenjivoj frekvenciji.
- Rezultati se tumače uspoređivanjem faza



Frekvencijski odziv rasipnih tokova(FRSL)



- Usporedba faza pokazala je da postoji problem s transformatorom.
- Povećanje gubitka vrtložne struje koje se vidi u impedancama faze A i faze C s frekvencijom, ukazuje na neko lokalno zagrijavanje
- Ovo ispitivanje daje više informacija od pokusa kratkog spoja.

Mjerenje Tangensa delta i Kapaciteta

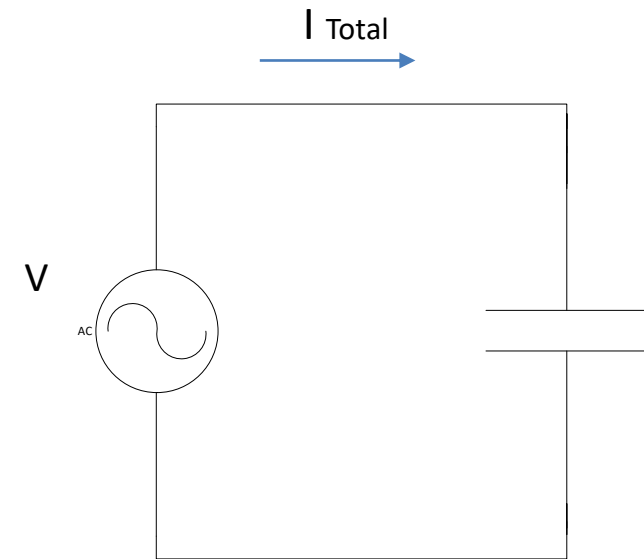
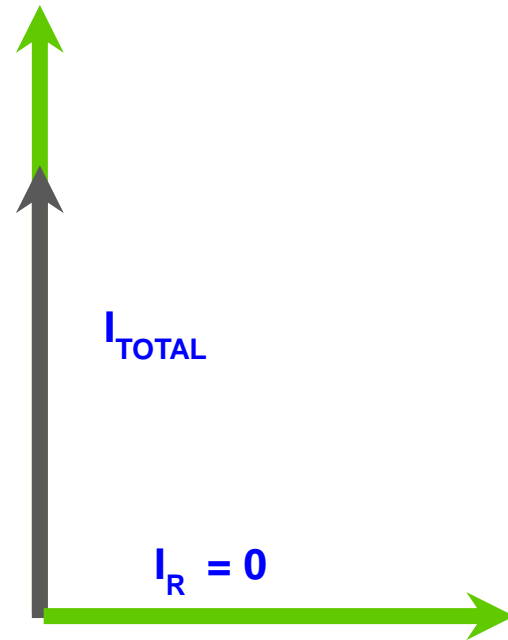
Tangens delta i kapacitet

- Najčešća ispitna metoda za procjenu stanja izolacije transformatora
- Ispitivanje se provodi izmjeničnim naponom
- Ispitivanje se provodi kako bi ustanovili da li nas Tx ima:
 - Mehaničkih deformacija
 - Stanje izolacije (potencijalna degradacija)
- Često možemo naći slične Tx kako bi usporedili rezultate
- Ispitivanje se uvijek provodi između dva različita potencijala (VN – NN, ili NN – tank ili VN – tank).

Tangens delta i kapacitet

Idealna Izolacija

I (kapacitivna)

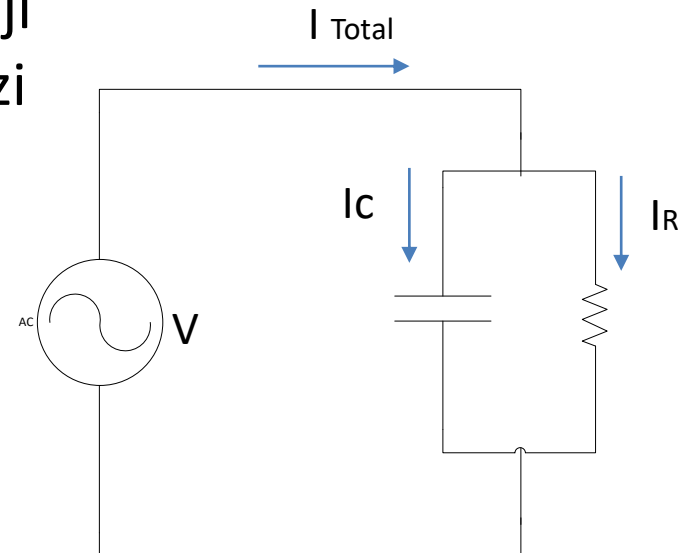


V (koji mi generiramo)

Stvarna Izolacija

U stvarnom izolacijskom sustavu postoji također struja gubitka I_R koja teče u fazi s naponom.

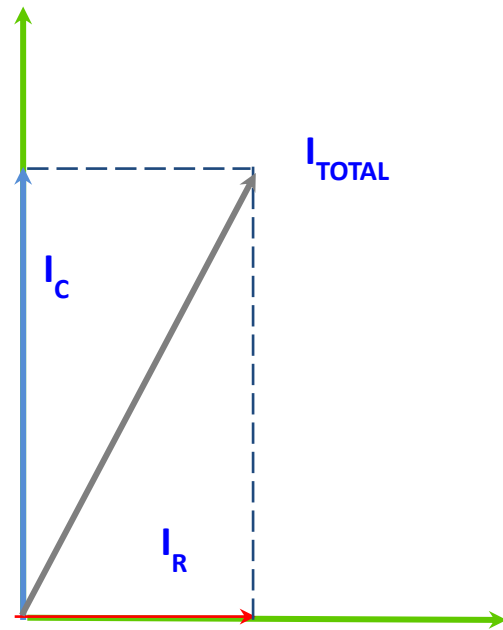
$$I_{\text{Total}} = I_C + I_R$$



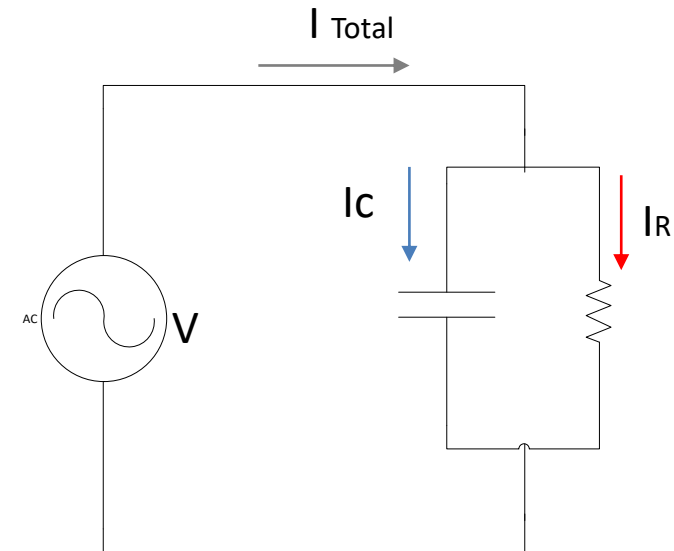
Tangens delta i kapacitet

Stvarna Izolacija

I (kapacitivna)



V (koji mi generiramo)

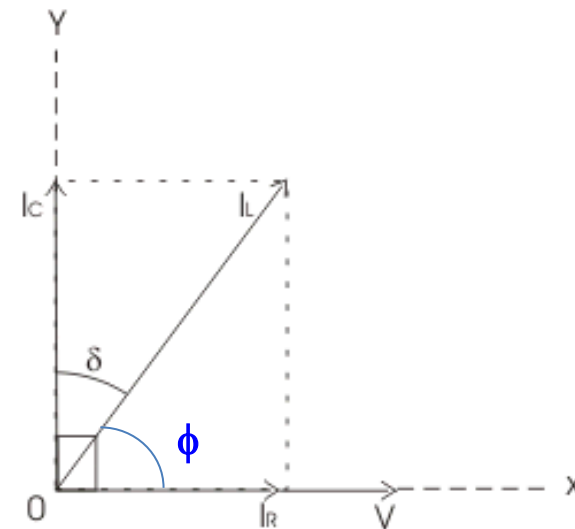


Tangens delta i kapacitet

Tan Delta je omjer struje (otporničke) u fazi sa naponom koji mi generiramo I_R i kapacitivne struje pomaknute za 90 stupnjeva.

$$\mathbf{\tan \delta = \frac{I_R}{I_C}}$$

$$\mathit{Tan \delta = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega RC}}$$



Tan Delta se također naziva faktor disipacije

Tangens delta i kapacitet

Koji ispitni napon i frekvenciju koristiti ?

- **Prema standardu**
- **ispitni napon ne bi trebao**
- **biti viši od 12 kV ili**
- **nazivni napon ET**

- **Dakle, čak i ako je nazivni**
- **Napon veći od 12 kV**
- **(132 kV ili 220 kV ili 400 kV)**
- **nema potrebe**
- **generirati više od 12 kV**

**To je zato što na 12 kV
svi su procesi polarizacije u
izolaciji gotovi te kada bi
čak napravili test s višim
naponom, rezultat bi bio isti**

**Ispitna frekvencija —
Nominalna ili jako blizu istoj**

Tangens delta i kapacitet

Interpretacija rezultata – dozvoljene vrijednosti

Kako procijeniti rezultate za energetske transformatore (u-grubo):

TRANSFORMER	CONDITION OF INSULATION		
	Good	May be acceptable	Should be investigated
New	DF < 0.5%	-	-
Service-aged	DF < 0.5%	0.5% < DF < 1%	DF > 1%

All values measured at 20°C

Tangens delta i kapacitet

Dozvoljene vrijednosti – detaljniji pregled

NO.	KONFIGURACIJA	NAPONSKA RAZINA	KAPACITET (nF)	TAN DELTA [%]
1.	HV – LV	400 – 200 kV	4 – 5	0.2 – 0.5
	HV – TANK		13 – 15	0.7 – 0.9
	LV - TANK		23 – 24	0.4 – 0.8
2.	HV – LV	66/11 kV	5 – 6	0.3 – 0.6
	HV – TANK		2.9 – 3.5	0.5 – 1
	LV - TANK		6 – 10	0.4 – 1
3.	HV – LV	132/11 kV	5 – 7	0.3 – 0.6
	HV – TANK		10 – 12	0.6 – 0.8
	LV - TANK		19 – 22	0.5 – 0.8
4.	HV – LV	11/11 kV	8 – 10	1.5 – 1.8
	HV – TANK		11 – 13	1.5 – 2
	LV - TANK		15 – 17	1.5 – 2

Izvor: „Diagnostic Testing for HV Insulation for condition monitoring by Rajani Menon, S.S. Kolambekar and N.J. Buch

Tangens delta i kapacitet

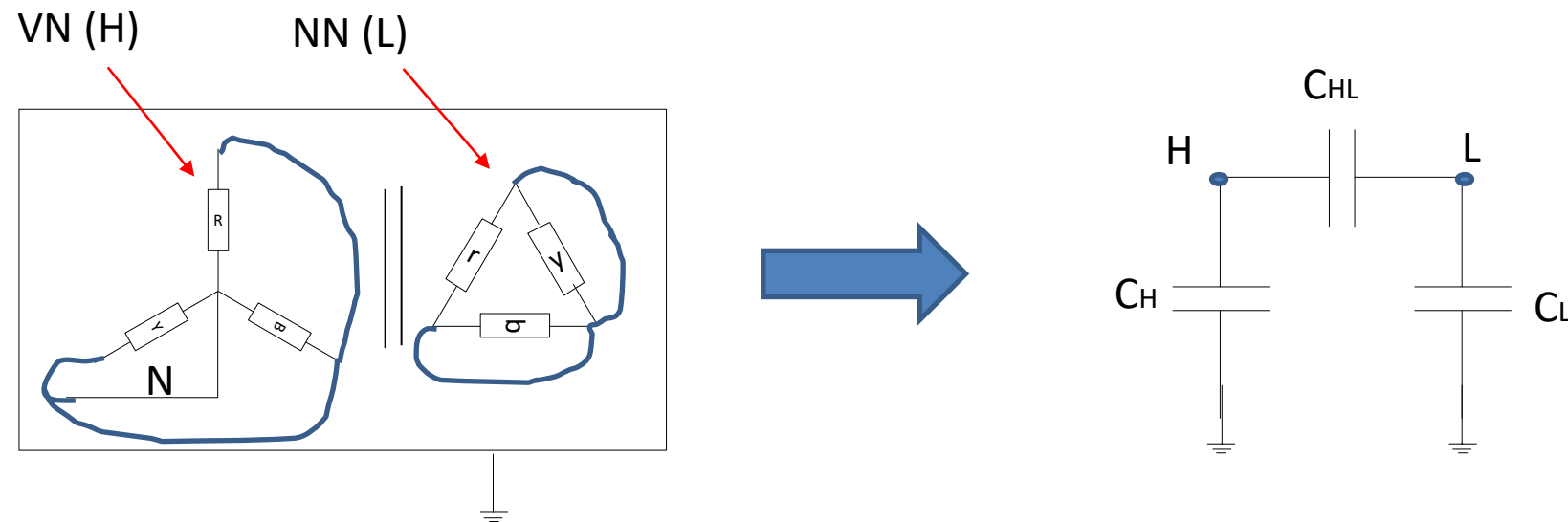
Kako procijeniti rezultate :

1. Usporedba s prethodnim vrijednostima (ili kada je Tx bio nov) – promjena ne bi trebala prelaziti 0,1 % godišnje
2. Usporedba s dopuštenim vrijednostima – Provjera tablice
3. Usporedba faza (ulazni provodnici)
4. Usporedba s istim tipom Tx koja radi u sličnim uvjetima i iste dobi

Tangens delta i kapacitet

Trofazni i dvonamotni transformator

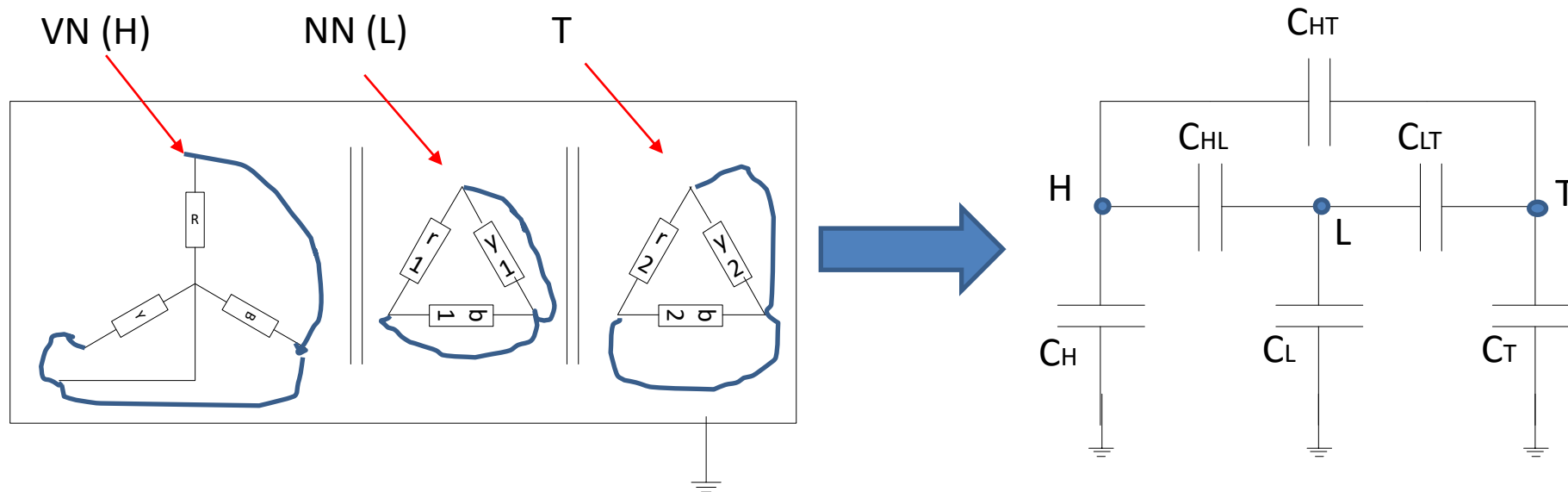
- Sve faze iste strane Tx moraju biti kratko spojene



Tangens delta i kapacitet

Trofazni i tronamotni transformator

- Sve faze iste strane Tx moraju biti kratko spojene.



Tangens delta i kapacitet

Primjer ispitnih rezultata



Test settings Temperature comp.

Nominal values

Cn 0,2000 nF Single GST
 T_{0n} 50,000 μ <- V -> V 2000,0 V
 k 0,7640 <- f -> f 50,0 Hz

Data results Graphical representation

Tests

#	Type	Capacitance	Sweep	Mode	V [V]
1	HV Winding	CH	None	GST	2000,0
2	HV Winding	CH	Voltage	GST	4000,0

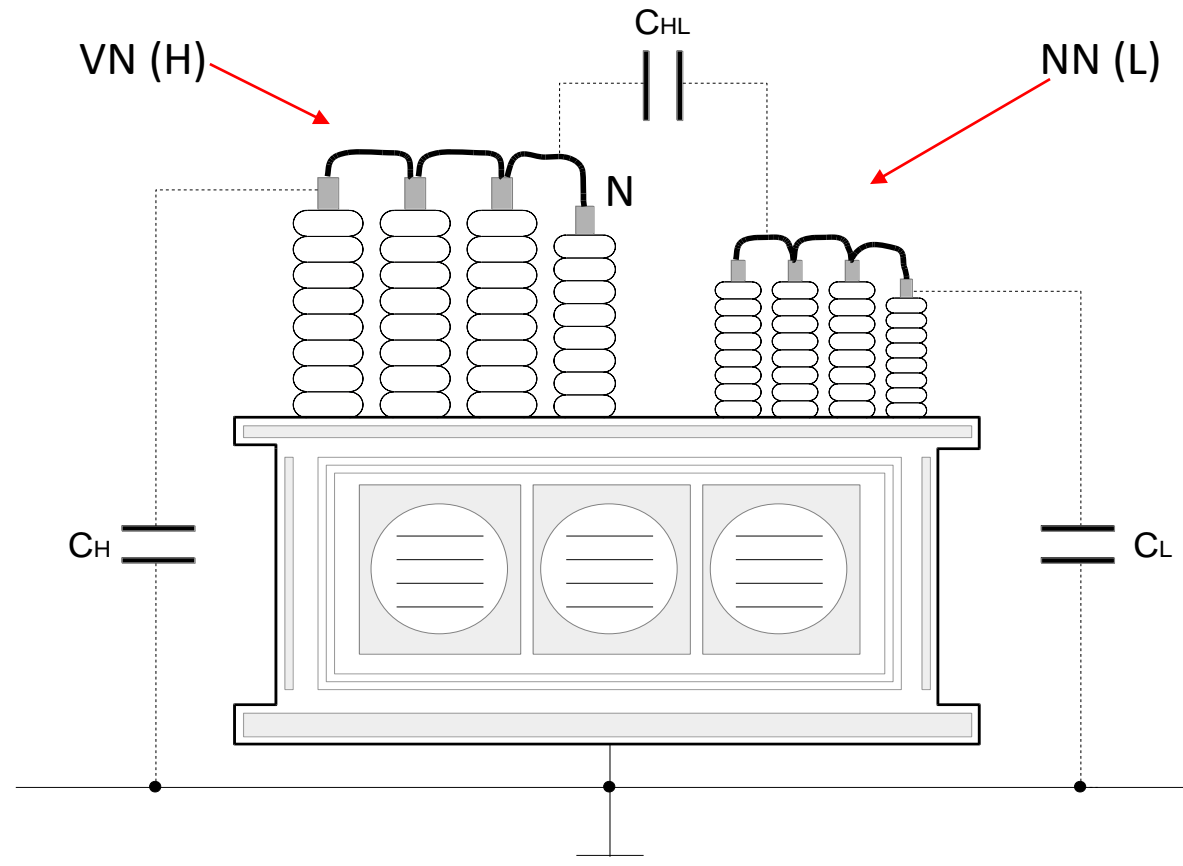
Results

#	V [V]	f [Hz]	Vout [V]	Iout [A]	Cp [F]
1	2000,0	55,0	1987,3	12,932m	18,8297n
2	4000,0	55,0	4007,9	26,089m	18,8347n
3	6000,0	55,0	6010,3	39,123m	18,8346n
4	8000,0	55,0	8010,3	52,161m	18,8417n
5	10.0k	55.0	9997.8	65.077m	18.8397n



Tangens delta i kapacitet

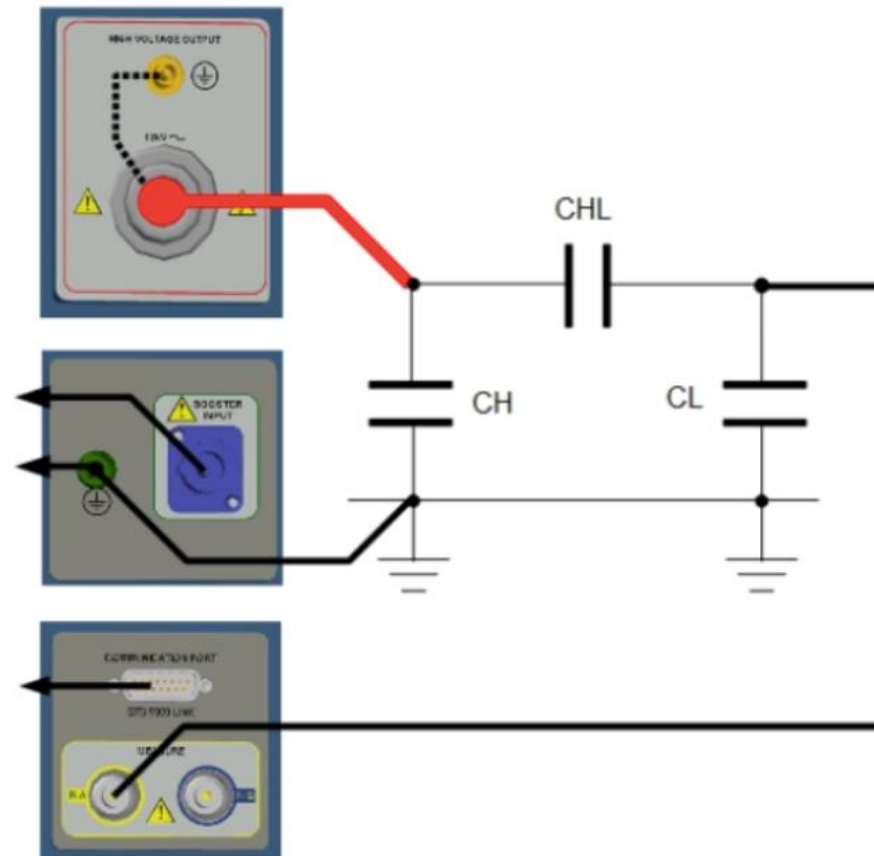
- Sve faze iste strane Tx moraju biti kratko spojene



Tangens delta i kapacitet

Spajanje ispitnog uređaja sa ET

- Spojite VN generaciju na VN stranu ET, a mjerni kabel (ulaz A) na NN stranu ET-a
- Ova shema spajanja se koristi za mjerenje C_{HL} i C_H



Tangens delta i kapacitet

Konkretan primjer kako u Ispitnom uređaju postaviti vrijednosti:

Ovdje upisujete ne koji je namot spojena generacija ispitnog uređaja

Ovdje birate koji kapacitet/tan delta namjeravate mjeriti

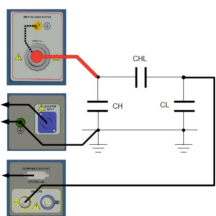
Test settings Temperature comp.

Nominal values

<input checked="" type="checkbox"/>	Cn	0,2000 nF	<input checked="" type="radio"/> Single	UST-A
<input checked="" type="checkbox"/>	Tδn	0,500 m	<input type="radio"/> <-V->	2000,0 V
<input type="checkbox"/>	k	0,4100	<input type="radio"/> <-f->	50,0 Hz

Export Excel

Stisnuvši ovaj Gumb, dobiti ćete shemu spajanja koju Trebate izvesti



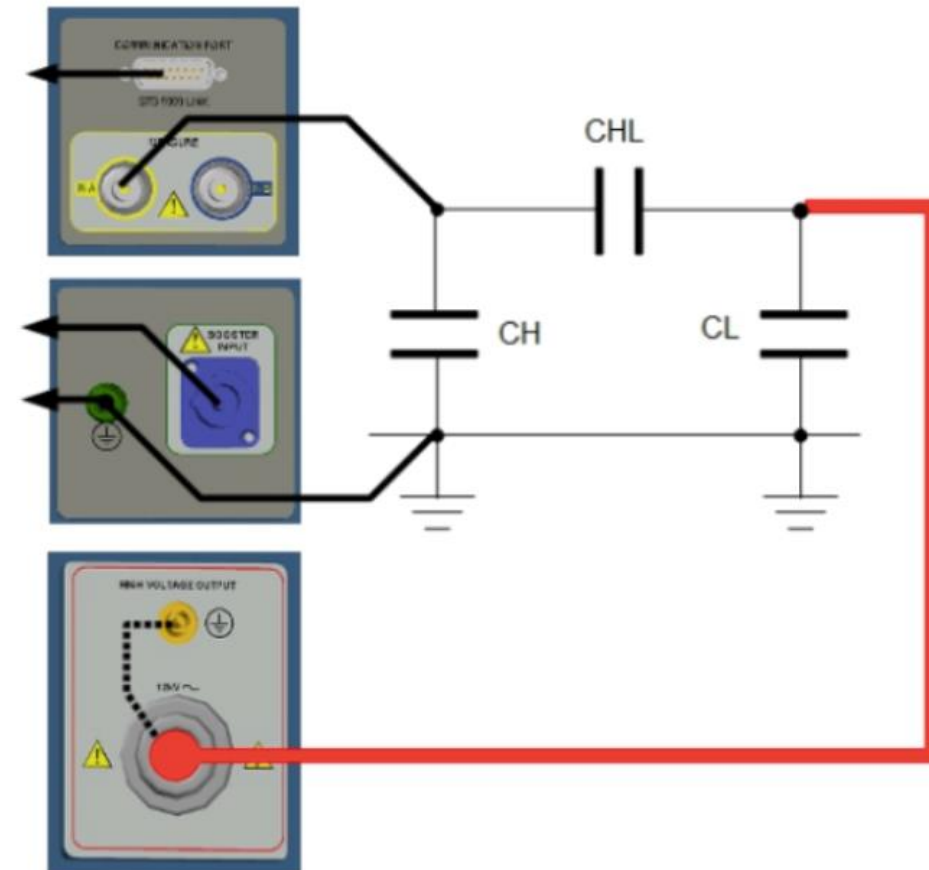
Ispitni uređaj automatski određuje mjernu metodu ovisno o tome gdje generirate i koju vrijednost mjerite

Tangens delta i kapacitet

- Povežite VN generaciju na NN stranu PT, a mjerenje (ulaz A) na VN stranu

- Ovu shemu koristimo za mjerenje C_L

Savjet: C_{HL} se može mjeriti s VN generacijom na obje strane VN ili na NN namotu. Dakle, može se izmjeriti C_{HL} s obje strane i tako demonstrirati ispravna mjerenja.



Tangens delta i kapacitet

- Ispitna utičnica se nalazi na dnu ulaznog provodnika
- Često morate odvrnuti zaštitni vijak, a ponekad biti kreativni kada spajate generacijsku ili mjernu stezaljku



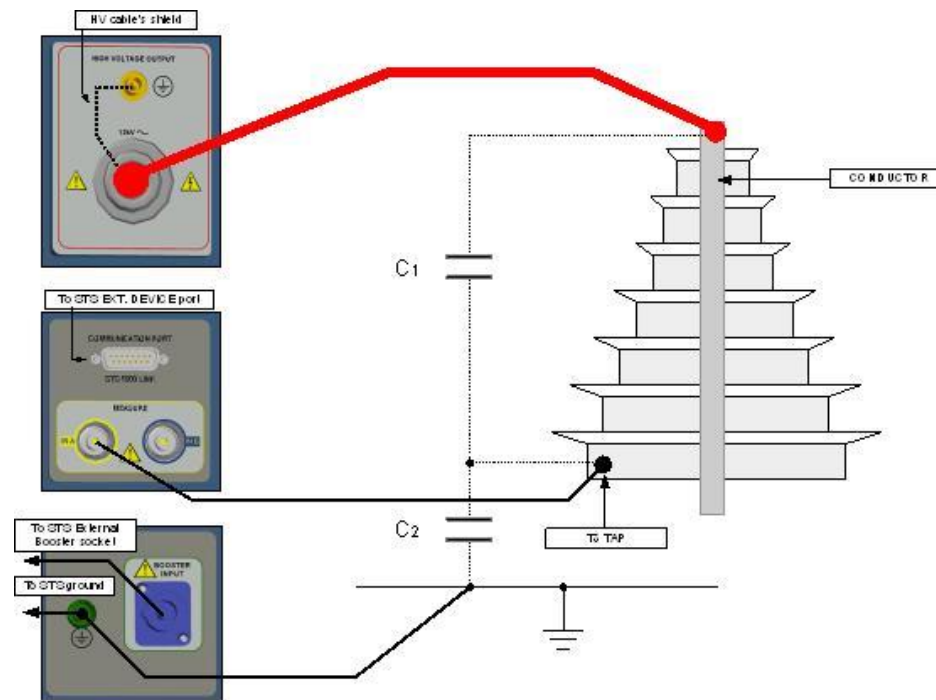
Često ćete na natpisnoj pločici naći nominalne vrijednosti C1 i C2

Ako ispitna utičnica nije prisutna, još uvijek možemo koristiti Hot Collar za mjerenje Tan Delta

U tom slučaju Hot Collar se veže na 3. rebro odispod a pritom se treba dobro očistiti ulazni provodnik

Tangens delta i kapacitet

Kako mjeriti tan delta na
uvodnom provodniku



Ova se shema koristi za
mjerenje C1.

Kada ste izmjerili C1, samo
promijenite položaj VN
generacije i mjerenja – ali
prije nego što se približite ET,
pritisnite Emergency button.,
kako bi bili sigurni da ispitni
uređaj ni slučajno neće početi
generirati

Tangens delta i kapacitet

How to evaluate the results

Kada završite sa mjerenjem imati ćete ove rezultate

C_H i $\tan \delta$ (C_H)

C_L i $\tan \delta$ (C_L)

C_{HL} i $\tan \delta$ (C_{HL})

Za provodne izolatore:

$C1, \tan \delta$ (VN Faza A)

$C2, \tan \delta$ (VN Faza A)

$C1, \tan \delta$ (VN Faza B)

$C2, \tan \delta$ (VN Faza B)

$C1, \tan \delta$ (VN Faza C)

$C2, \tan \delta$ (VN Faza C)

Ponekad također mjerimo rezultate CH + CHL i CL + CHL
što se također radi uglavnom radi provjere.

I ako NN strana također ima ispitne utičnice
Na provodnim izolatorima

$C1, \tan \delta$ (NN Faza A)

$C2, \tan \delta$ (NN Faza A)

$C1, \tan \delta$ (NN Faza B)

$C2, \tan \delta$ (NN Faza B)

$C1, \tan \delta$ (NN Faza C)

$C2, \tan \delta$ (NN Faza C)

Sve vrijednosti $Tan \delta$ trebaju biti manje od 1 %
Također ako imate prethodne vrijednosti $Tan \delta$
i C, promjena ne bi trebala biti prevelika

Ako tomu nije tako trebalo bi provesti ispitivanje
Na promjenjivim naponima i/ili frekvencijama

Tangens delta i kapacitet

Imajmo na umu da kada mjerimo $Tan \delta$, mjerimo vrijednosti složene izolacije (više od jednog izolacijskog materijala)

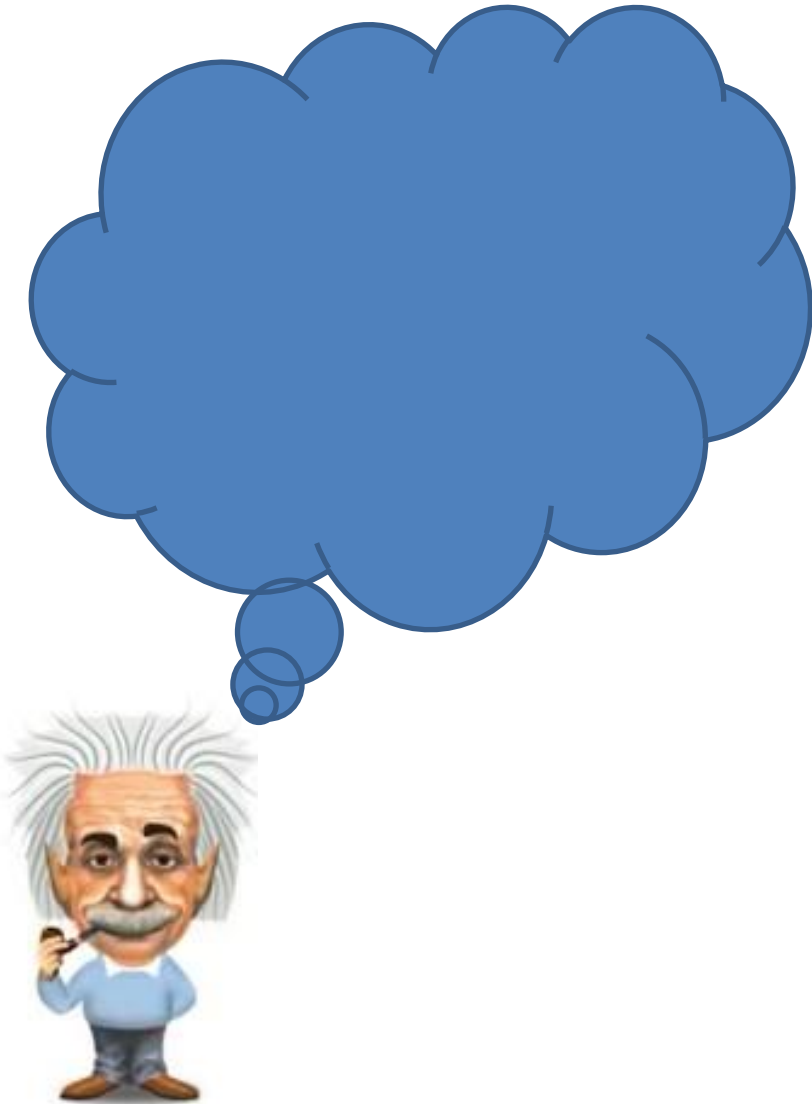
Znat ćemo stanje cijele izolacije –
ne samo stanje ulja, ili samo stanje papira ili samo
stanje šperploče

Što je velika prednost u odnosu –
na primjer ispitivanje dielektričnog stanja ulja.

Jer ako samo testiramo ulje, znat ćemo u kakvom je stanju ulje.
Znat ćemo je li vodljivo ili ne i koliko je vodljivo.

Ali ako dobijemo dobre rezultate za ulje, a papir je pun vode
molekule – nedostaje nam cjelokupna slika.

I trebamo imati na umu da je celuloza puno više
higroskopna od ulja i obično sadrži 90% svih
molekule vode koje se nalaze u transformatoru.



Tangens delta i kapacitet

Temperaturna kompenzacija

$$\text{Tan } \delta (20^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{Tan } \delta (\text{trenutn temperatura})}{K}$$

Kako se povećava temperatura, povećava se i
Tan δ

Temperatura koju trebamo znati je
temperatura ulja u Tx

Ako pogledamo tablicu uvidjeti ćemo da ako se izmjeri TD od 3 % na temp. od 70°C, to je kao da smo izmjerili 1% na temperaturi od 20 °C

°C	Korekcijski faktor
10	0.8
15	0.9
20	1.0
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
60	2.42
70	3.00

Primjer 1 sa terena



Substation KAZAN
Bay TRAFO

File name TD102

Manufacturer : Model : 1 Serial Number : 1
Session date : 2.11.2018.
Operator : EVGENIJ Instrument : STS 5000 Instrument S/N : 97236

Results

Tangent Delta Test type HV Winding
Test date and time: 2.11.2018. 14:23

Ambient condition
Ambient temperature 25,0 °C
Oil temperature 60,0 °C
Humidity 70,0 %

Capacitance CH Mode GSTg-A+B
Test sequence 1
Nominal capacitance 0,2000 nF
Nominal Tδ 5,0000 m%

Sweep None
Results

	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9994,4	12,855m	50,0	4,0976n	0,2283	437,9366	0,2934	0,2938	-128,4669	128,4673	342,7883M

Capacitance CHL Mode UST-A
Test sequence 2
Nominal capacitance 0,2000 nF
Nominal Tδ 5,0000 m%

Sweep None
Results

	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9994,7	10,079m	50,0	3,2127n	0,2518	397,2302	0,2538	0,2541	-100,7282	100,7285	396,7296M

Signature : Approval :

File name : TD102 Serial Number : 1

Print Date : 29.3.2020. 22:55:21
Page 1 of 3

Tangens delta i kapacitet



Capacitance	CHT	Mode	UST-B								
Test sequence	3										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9994,1	10,034m	50,0	3,1983n	0,2467	408,7483	0,2455	0,2458	-100,2677	100,2680	410,0790M
Capacitance	CH+CHL+CHT	Mode	GST								
Test sequence	4										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9993,7	32,963m	50,0	10,5077n	0,2416	413,9152	0,7961	0,7975	-329,3857	329,3866	126,3398M
Tangent Delta Test type LV Winding											
Test date and time: 2.11.2018. 14:35											
Ambient condition											
Ambient temperature	25,0 °C										
Oil temperature	60,0 °C										
Humidity	70,0 %										
Capacitance	CL	Mode	GSTg-A+B								
Test sequence	1										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9999,1	9,432m	50,0	3,8947n	0,2488	401,9607	0,2347	0,2340	-94,3063	94,3066	428,9622M
Signature : _____ Approval : _____											
File name : TD102 Serial Number : 1 Print Date : 29.3.2020. 22:55:22 Page 2 of 3											

Capacitance	CHL	Mode	UST-A								
Test sequence	2										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9988,8	2,349m	50,0	0,7491f	0,4763	209,9676	0,1119	0,1121	-23,4655	23,4658	899,3750M
Capacitance	CLT	Mode	UST-B								
Test sequence	3										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9996,4	10,039m	50,0	3,1986n	0,2457	407,0017	0,2468	0,2471	-100,3630	100,3633	408,2867M
Capacitance	CL+CHL+CLT	Mode	GST								
Test sequence	4										
Nominal capacitance	0,2000 nF										
Nominal Tδ	5,0000 m%										
Sweep	None										
Results											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	Tδ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]
1	9995,2	21,817m	50,0	6,9522n	0,2738	365,2785	0,5975	0,5976	-218,0934	218,0942	168,5408M
Signature : _____ Approval : _____											
File name : TD102 Serial Number : 1 Print Date : 29.3.2020. 22:55:22 Page 3 of 3											

Tangens delta i kapacitet

PTs - Power Factor, Capacitance and Tan δ

+ Add to test plan - Remove from test plan

HV Winding CH+CHL+CHT Export Excel

Test settings Temperature comp.

Nominal values

Cn 0,2000 nF Single GST

T δ n 5,000 m% <- V -> V 10,0 kV

k 0,4100 <- f -> f 50,0 Hz

Data results Graphical representation

Tests

#	Type	Capacitance	Sweep	Mode	V [V]	f [Hz]	Cn	T δ n [%]
1	HV Winding	CH	None	GSTg-A+B	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
2	HV Winding	CHL	None	UST-A	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
3	HV Winding	CHT	None	UST-B	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
4	HV Winding	CH+CHL+CHT	None	GST	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n

Results

#	V [V]	f [Hz]	Vout [V]	Iout [A]	Cp [F]	T δ [%]	PF [%]	Rp [Ω]
1	10,0k	50,0	9994,4	12,855m	4,0976n	0,2283	0,2283	342,7383M

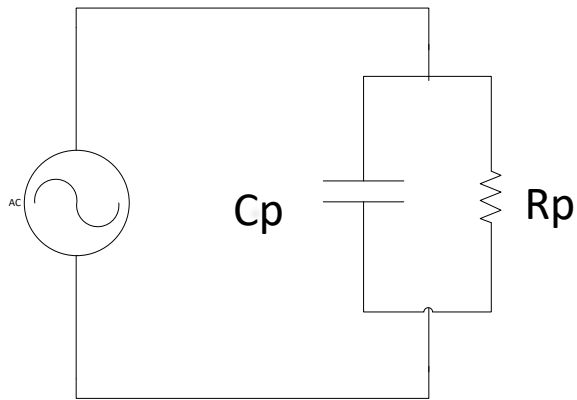
Vidimo i da su T δ i PF jednaki

Možemo uočiti i da je C_H 4.0976 nF

Vidimo da je T δ 0,2283%
Što je puno manje od 1 %

Tangens delta i kapacitet

$R_p[\Omega] = 342.7 \text{ M}\Omega$,
je otpor otpornika kojega
smo koristili u
ekvivalentnoj shemi (ispod)



$QF = (1/ T\delta)$ in absolute
Needs to be bigger than
100

$$R_s = T\delta \times 1/2\pi f C$$

PTs - Power Factor, Capacitance and Tan δ

Test settings Temperature comp.

Nominal values

C_n 0,2000 nF
 Single
 GST

$T\delta_n$ 5,000 m%
 <- V ->
 V 10,0 kV

k 0,4100
 <- f ->
 f 50,0 Hz

Data results Graphical representation

#	Type	Capacitance	Sweep	Mode	V [V]	f [Hz]	Cn	T δ n [%]
1	HV Winding	CH	None	GSTg-A+B	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
2	HV Winding	CHL	None	UST-A	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
3	HV Winding	CHT	None	UST-B	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n
4	HV Winding	CH+CHL+CHT	None	GST	10,0k	50,0	0,2000n	5,0000n

Results	Rp [Ω]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	[A]@10kV	Ls [H]	Rs [Ω]	Z [Ω]	Φ [°]
	342,7383M	437,9366	0,2934	0,2938	12,8623m	-2524,3552	1786,0423	782,3919k	-89,8692

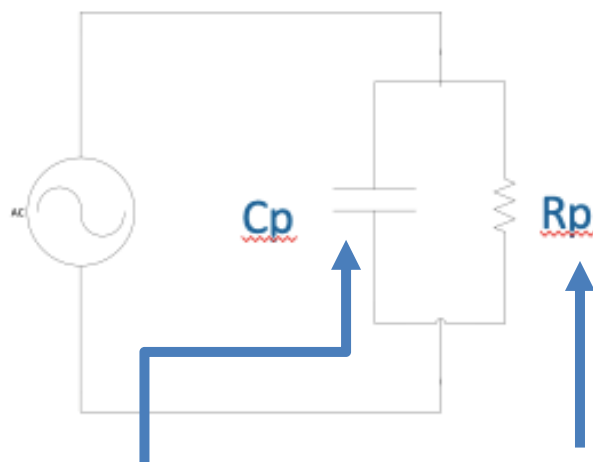
Pogledajte i iznos kuta
od $\Phi = 89.8692^\circ$

Da je kut između napona
koji generira uređaj i struje
koju mjerimo 90° $T\delta$ bi bio
0 što je idealno, ali ako je
 $\delta = 90 - 89.8692 = 0,1308^\circ$
 $T\delta$ je 0,2283%

Također da je kut δ 0.58° ,
 $T\delta$ bi bio 0.995,
Što je opasno blizu
Graničnoj vrijednosti od 1%

Tangens delta i kapacitet

Ponovimo jos jednom



U [V]	I [mA]	C [nF]	TD %	PF %	Rp [MΩ]	Rs [kΩ]	ϕ	QF	Z [kΩ]
9994.4	12.855	4.0975	0.228	0.228	342.738	1786.04	89.8692	437.937	782.392

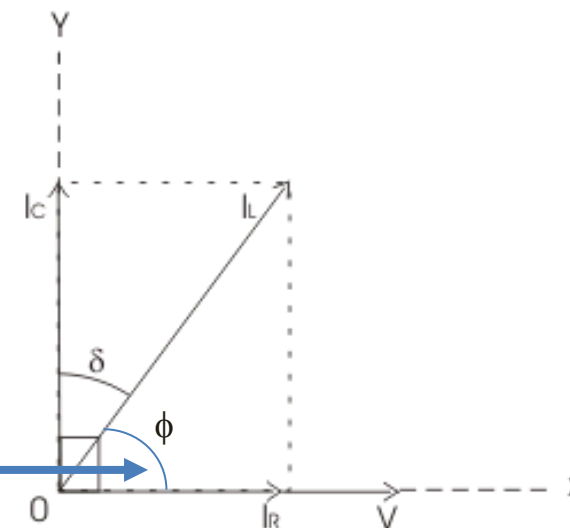
$$\delta = 90^\circ - \phi$$

$$\delta = 90^\circ - 89.8692^\circ = 0.1308^\circ$$

$$\tan 0.1308^\circ = 0.228\%$$

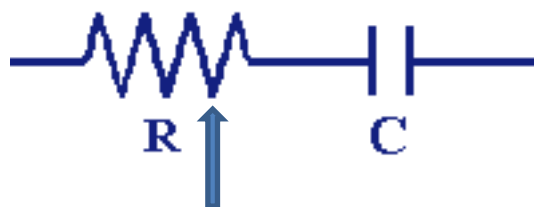
$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R_p C}$$

$$= \frac{1}{314 \cdot 342.738 \cdot 10^6 \cdot 4.0975 \cdot 10^{-9}} = 0.228\%$$



Tangens delta i kapacitet

Jos malo preračunavanja

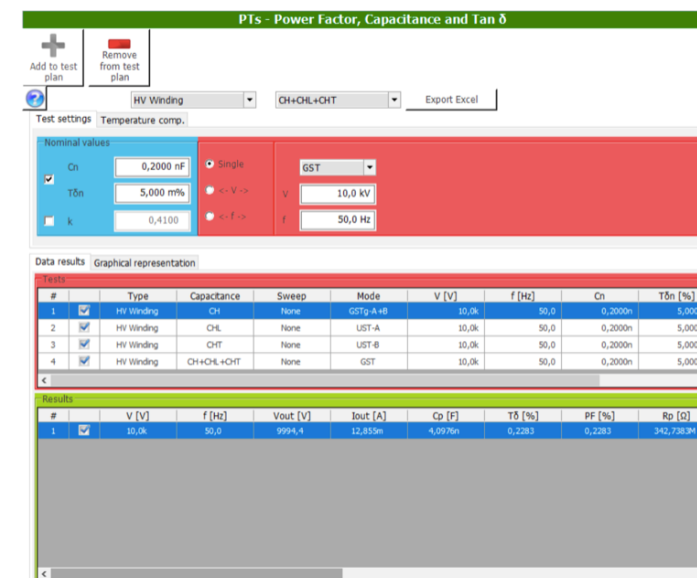


U [V]	I [mA]	C [nF]	TD %	PF %	Rp [MΩ]	Rs [Ω]	φ	QF	Z [kΩ]
9994.4	12.855	4.0975	0.228	0.228	342.738	1786.04	89.8692	437.937	782.392

$$\cos 89.8692^\circ (\text{PF}) = 0.228 \%$$

$$R_s = \frac{\tan \delta}{\omega C} = \frac{0.002283}{314 \cdot 4.0975 \cdot 10^{-9}} = 1775$$

$$QF = \frac{1}{\tan \delta} = 438.02$$



Example of results

Tangens delta i kapacitet

- Primjer 1

Capacitance	CH	Mode	GSTg-A+B									
Test sequence	1											
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal $T\delta$	5,0000 m%											
Sweep	None											
Results												
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	$T\delta$ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]	
1	9994,4	12,855m	50,0	4,0976n	0,2283	437,9366	0,2934	0,2938	-128,4669	128,4673	342,7383M	

Dobra vrijednost $T\delta$

Kapacitet između VN namota i tanka

Capacitance	CHL	Mode	UST-A									
Test sequence	2											
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal $T\delta$	5,0000 m%											
Sweep	None											
Results												
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	$T\delta$ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rp [Ω]	
1	9994,7	10,079m	50,0	3,2127n	0,2518	397,2302	0,2538	0,2541	-100,7282	100,7285	396,7296M	

Dobra vrijednost $T\delta$

Kapacitet između VN namota i NN namota

Tangens delta i kapacitet

- Primjer 1 – Visoka točnost mjerenja

Vrlo visoka točnost od 0,01 %


Capacitance	CHT	Mode	UST-B									
Test sequence	3	Kapacitet između tercijara i tanka										
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal $T\delta$	5,0000 m%											
Sweep	None	Dobra vrijednost $T\delta$										
Results												
	<u>Vout [V]</u>	<u>Iout [A]</u>	<u>Freq. [Hz]</u>	<u>Cp [F]</u>	<u>$T\delta$ [%]</u>	<u>QF</u>	<u>Loss [W]</u>	<u>[W]@10kV</u>	<u>QTest [VA]</u>	<u>STest [VA]</u>	<u>Rp [Ω]</u>	
1	9994,1	10,034m	50,0	3,1983n	0,2447	408,7483	0,2455	0,2459	-100,2677	100,2680	410,0790M	

Capacitance	CH+CHL+CHT	Mode	GST									
Test sequence	4	Suma kapaciteta										
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal $T\delta$	5,0000 m%											
Sweep	None	Dobra vrijednost $T\delta$										
Results												
	<u>Vout [V]</u>	<u>Iout [A]</u>	<u>Freq. [Hz]</u>	<u>Cp [F]</u>	<u>$T\delta$ [%]</u>	<u>QF</u>	<u>Loss [W]</u>	<u>[W]@10kV</u>	<u>QTest [VA]</u>	<u>STest [VA]</u>	<u>Rp [Ω]</u>	
1	9993,7	32,963m	50,0	10,5077n	0,2416	413,9132	0,7961	0,7973	-329,3857	329,3866	126,3308M	

Specimen	Capacitance
CH	4,0976 nF
CHL	3,2127 nF
CHT	3,1983 nF
CH+CHL+CHT mjereno	10,5077 nF
CH+CHL+CHT zbrojeno	10,5086 nF $\Delta = 1,1 pF$

Tangens delta i kapacitet

- Primjer 3 – Uvodni provodnici

		Substation	
		Bay	TR3
File name TD599			
<u>Manufacturer :</u>		<u>Model :</u>	<u>Serial Number :</u>
Session date : 13.6.2019.			
<u>Operator :</u>		<u>Instrument : STS 5000</u>	<u>Instrument S/N : 34600</u>
Results			
Tangent Delta		Test type	HV Bushing A
Test date and time: 13.6.2019. 10:38			
Ambient condition		Bushing	
Ambient temperature	25,0 °C	Bushing type	OIP
Oil temperature	60,0 °C		
Humidity	70,0 %		
Capacitance	C1 (HV-T ₀ tap)	Mode	UST-A
Test sequence	1		
Nominal capacitance	0,2000 nF		
Nominal T ₀	0,4000 %		
Sweep	None		
Results			
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]
	Cp [F]	T₀ [%]	QF
	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]
	STest [VA]	R₀ [Ω]	
1	1978,8	90,750μ	50,0
		0,1461n	2,7381
		36,6509	4,8922m
		0,1250	-0,1795
		0,1795	800,6399M



Tangens delta i kapacitet

- Primjer 3 – Uvodni provodnici

Capacitance	C1 (HV-T δ tap)	Mode	UST-A									
Test sequence	1											
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal T δ	0,4000 %											
Sweep	None											
Results												
	V _{out} [V]	I _{out} [A]	Freq. [Hz]	C _p [F]	T δ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	R _p [Ω]	
1	1978,8	90,750 μ	50,0	0,1461n	2,7381	36,6509	4,8922m	0,1250	-0,1795	0,1795	800,6399M	

Faza A



Loša vrijednost T δ

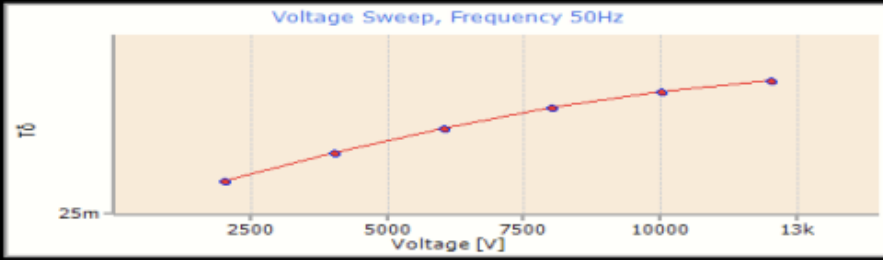
Potrebno dalje istražiti – T δ na promjenjivim frekvencijama

Tangens delta i kapacitet

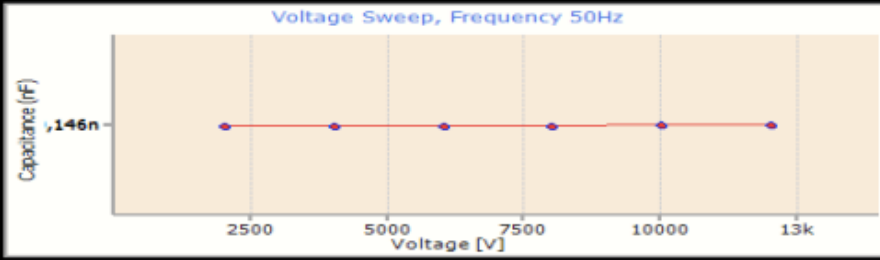
- Primjer 3 – Uvodni provodnici

Capacitance	C1 (HV-T δ tap)	Mode	UST-A									
Test sequence	2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> TD na različim naponskim razinama se rijetko mjeri na uvodnim provodnicima, ali ovdje smo to napravili da pokažemo stab. C </div>										
Nominal capacitance	0,2000 nF											
Nominal T δ	0,4000 %											
Sweep	Voltage											
Results	<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> Uočite kako se struja povećava sa naponom </div>											
	Vout [V]	Iout [A]	Freq. [Hz]	Cp [F]	T δ [%]	QF	Loss [W]	[W]@10kV	QTest [VA]	STest [VA]	Rd [Ω]	
1	1988,7	91,252μ	50,0	0,1461n	2,7668	36,2573	4,9963m	0,1263	-0,1814	0,1815	792,1309M	
2	4004,6	0,184m	50,0	0,1461n	2,9856	33,6110	21,8554m	0,1363	-0,7355	0,7358	734,0919M	
3	5993,3	0,275m	50,0	0,1461n	3,1862	31,4954	52,2514m	0,1455	-1,6479	1,6487	687,7711M	
4	8008,4	0,368m	50,0	0,1461n	3,3512	29,9434	98,1464m	0,1530	-2,9426	2,9442	653,7502M	
5	10,0k	0,459m	50,0	0,1462n	3,4755	28,8663	0,1589	0,1588	-4,5944	4,5972	630,1593M	
6	12,0k	0,551m	50,0	0,1462n	3,5712	28,0871	0,2350	0,1632	-6,6113	6,6155	613,0773M	

Voltage Sweep, Frequency 50Hz



Voltage Sweep, Frequency 50Hz



Faza A

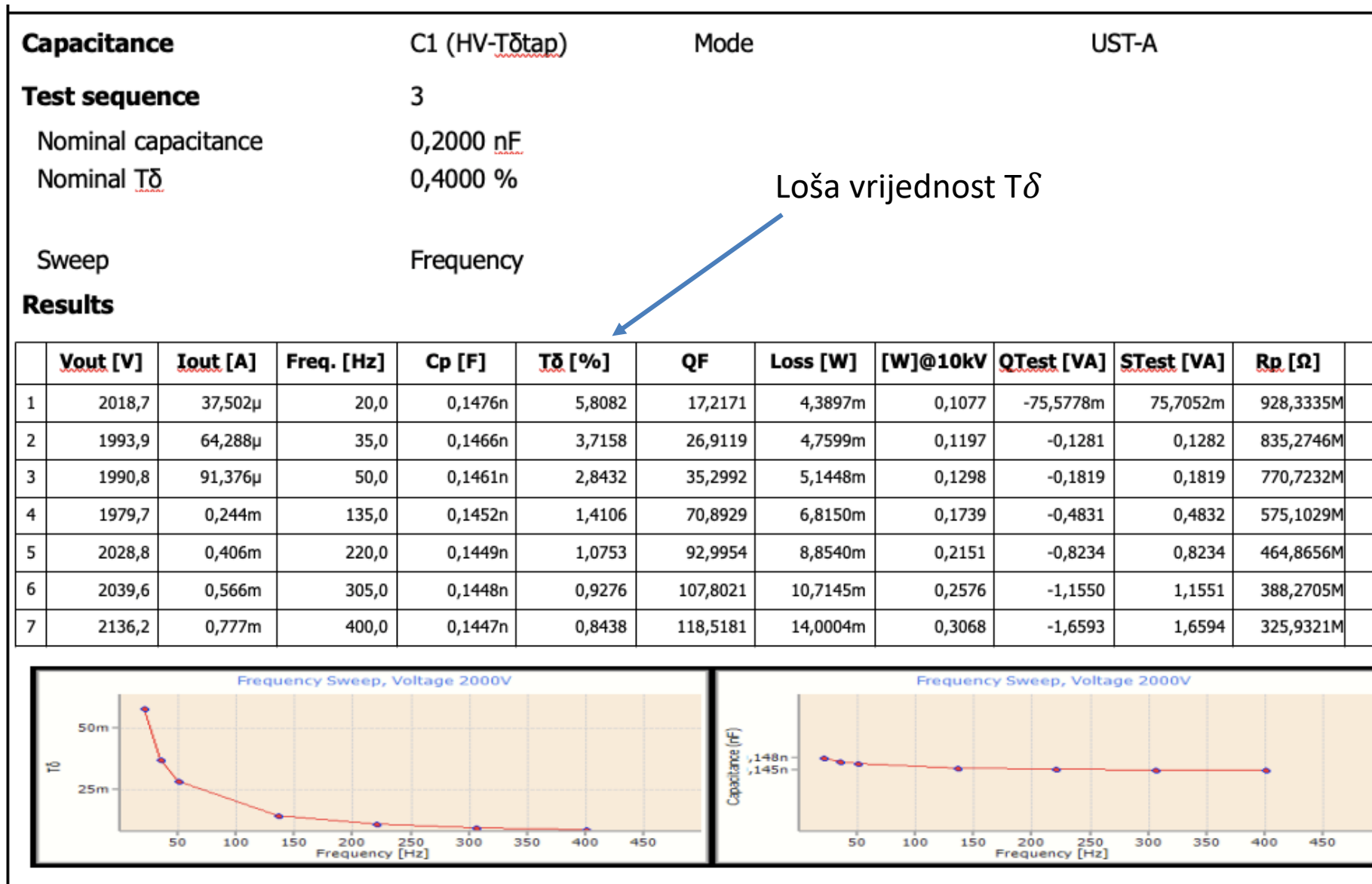
T δ na različitim naponskim razinama

Ista vrijednost Cp
Dokazuje da uređaj točno mjeri

T δ ostaje visok

Tangens delta i kapacitet

- Primjer 3 – Uvodni provodnici



T δ na različitim frekvencijama

Ista vrijednost Cp dokazuje da uređaj točno mjeri

T δ pokazuje taj zloslutni znak prvo je visok pa mu vrijednost Opada

Pokazuje da se uvodni provodnik mora mijenjati

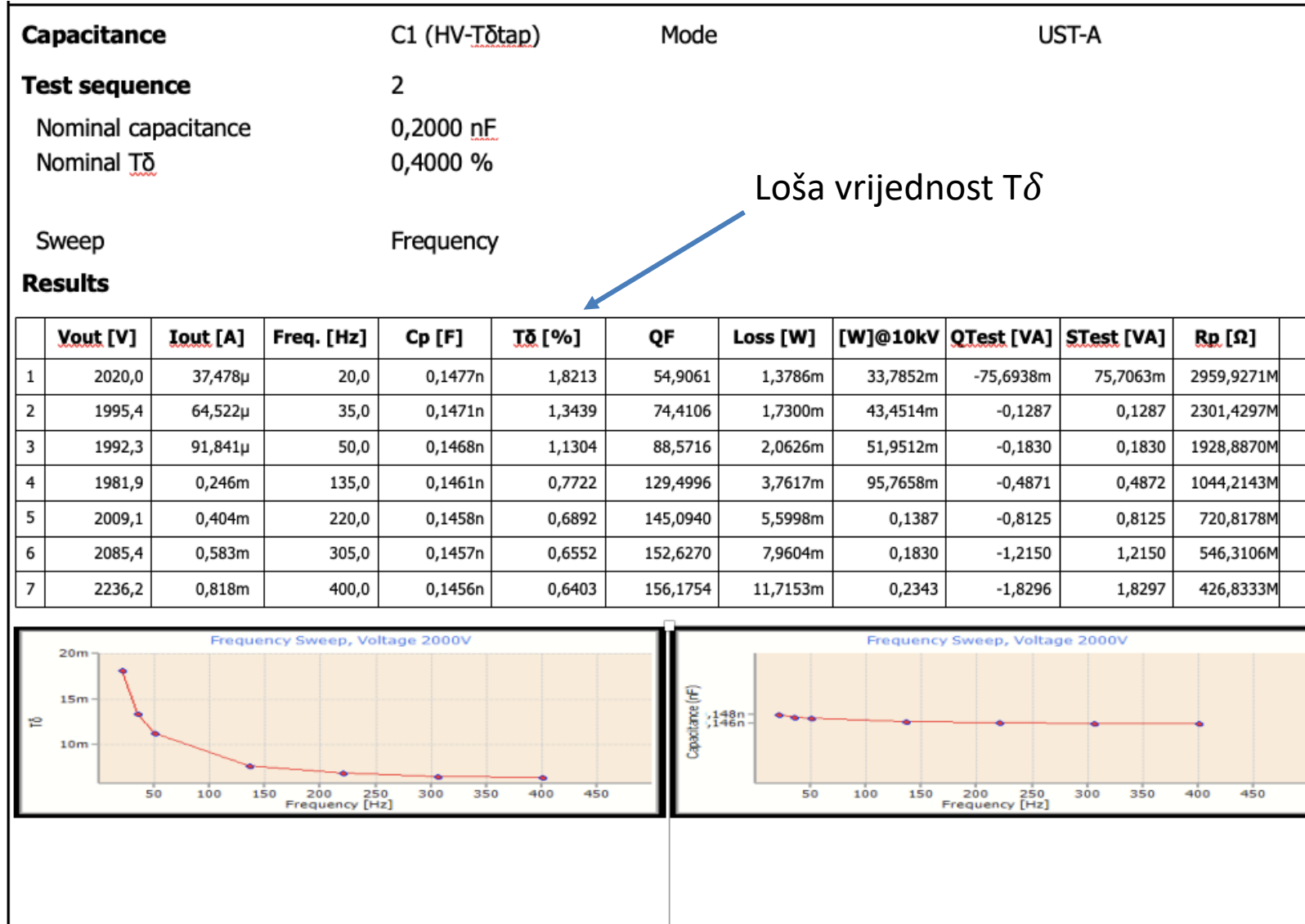
Loša vrijednost T δ

Faza A

Tangens delta i kapacitet

- Primjer 3 – Uvodni provodnici

$T\delta$ na različitim frekvencijama



Loša vrijednost T δ

Faza B

Ista vrijednost Cp dokazuje da uređaj točno mjeri

T δ je opet iznad dopuštene vrijednosti ali nije visok kao na Fazi A

Cp je kao na fazi A

Tangens delta i kapacitet

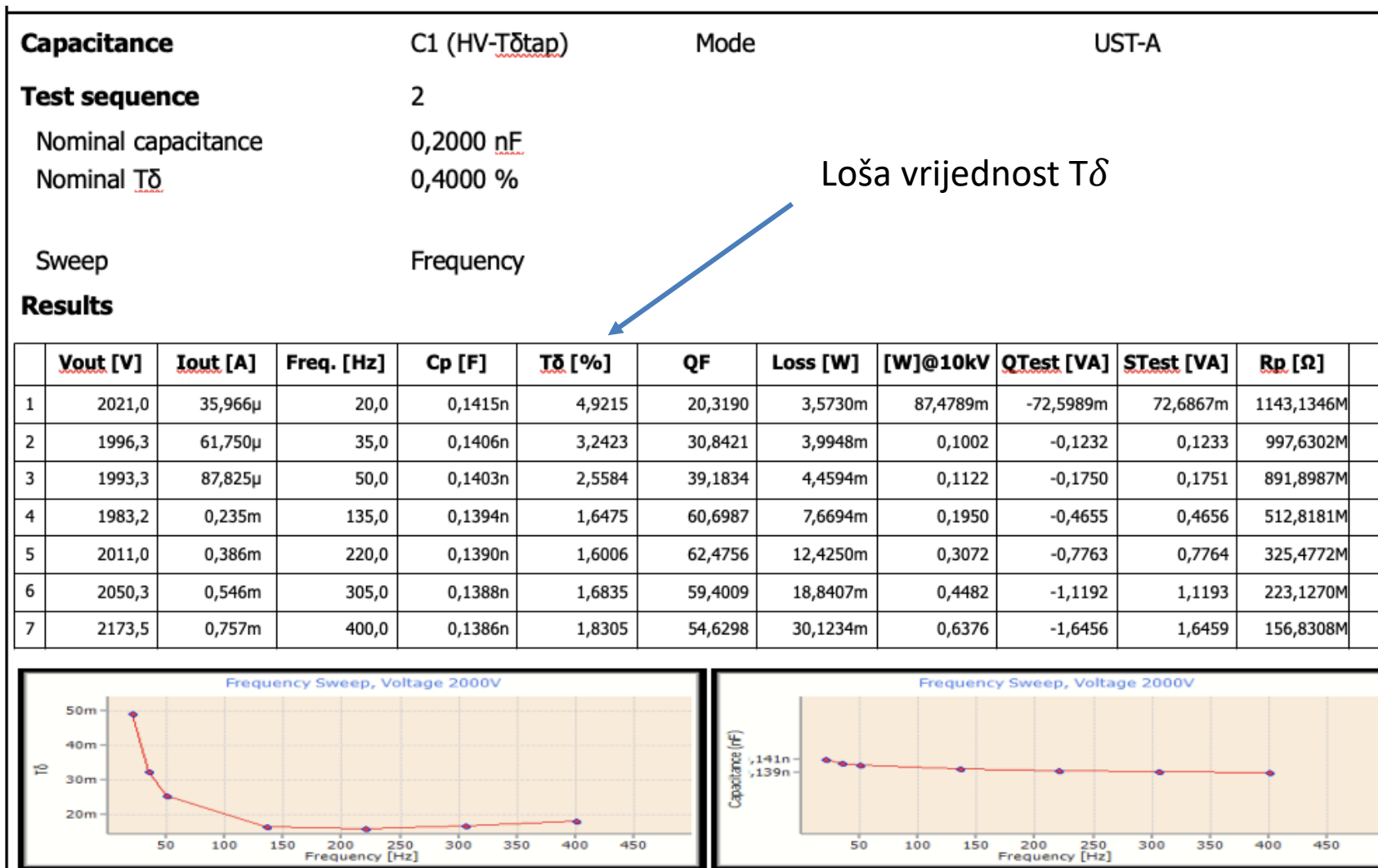
- Primjer 3 – Uvodni provodnici

$T\delta$ na različitim frekvencijama

Ista vrijednost C_p dokazuje da uređaj točno mjeri

$T\delta$ je opet iznad dopuštene vrijednosti ali nije visok kao na Fazi A

C_p ima sličnu vrijednost kao na Fazi A i B



Faza C

Tangens delta i kapacitet

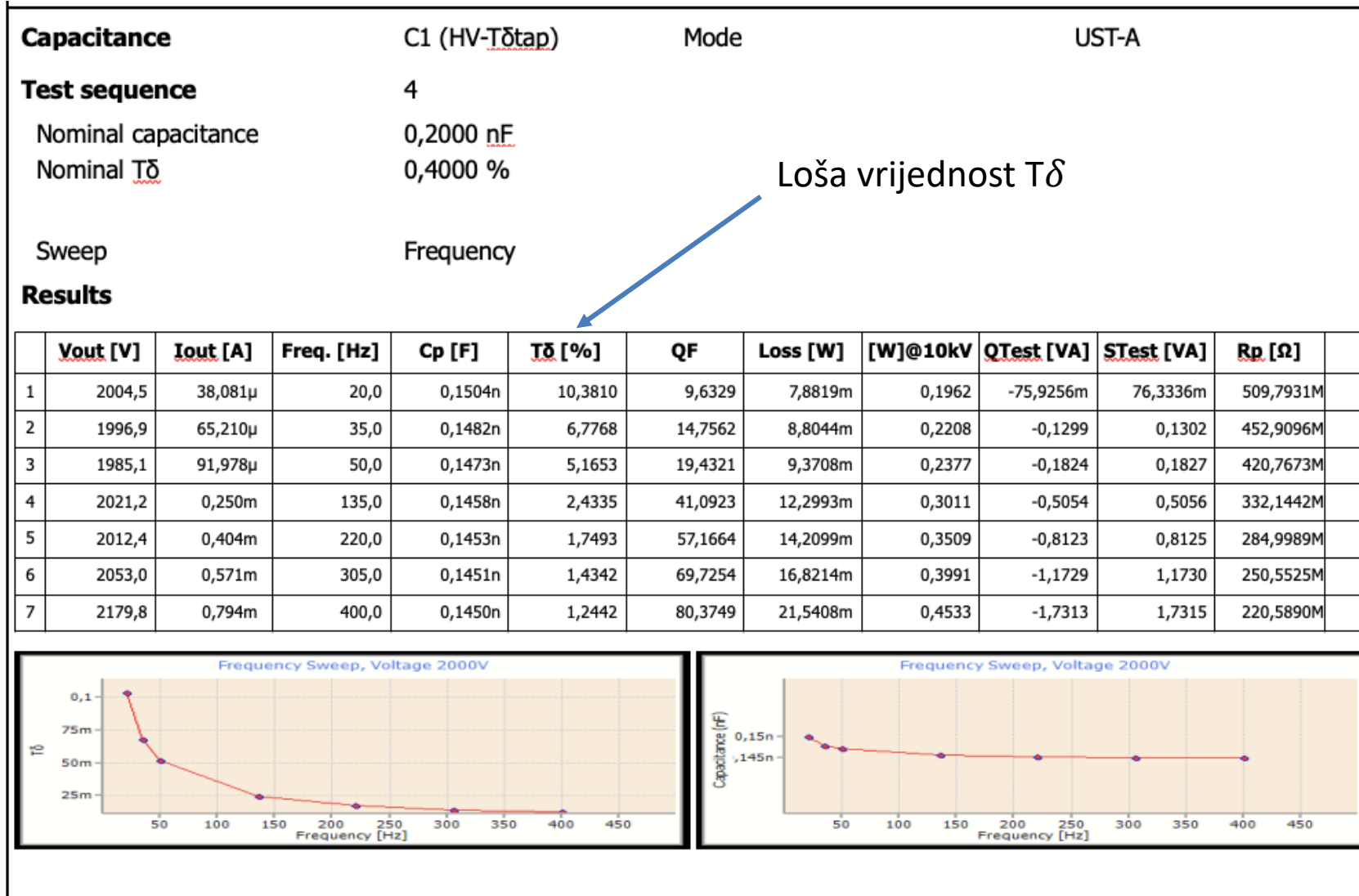
- Primjer 3 – Uvodni provodnici

$T\delta$ na različitim frekvencijama

Ista vrijednost C_p dokazuje da uređaj točno mjeri

$T\delta$ pokazuje najvišu vrijednost od svih faza

C_p ima sličnu vrijednost kao na Faza A, B, i C



Tangens delta i kapacitet

Kapacitet nam kazuje :

Da li je došlo do nekih deformacija namotu

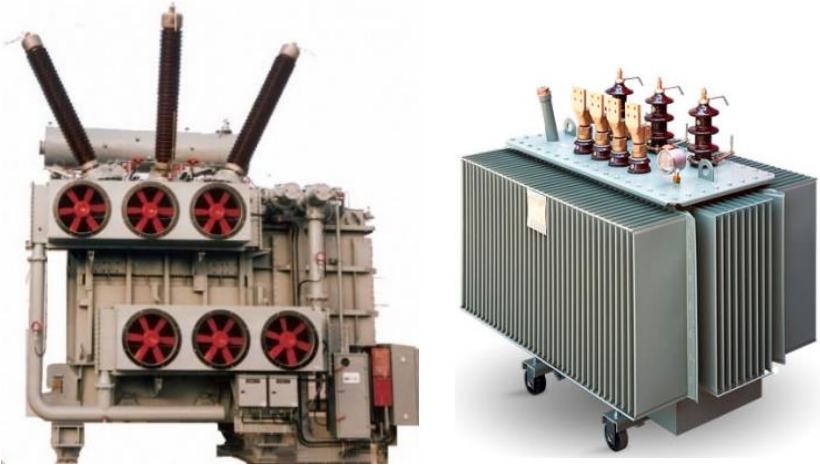
Tangens delta i kapacitet

Tan δ nam govori o:

Starenje izolacije, onečišćenju, i/ili povećanju vlage u izolaciji.

Sweep Frequency Response Analysis

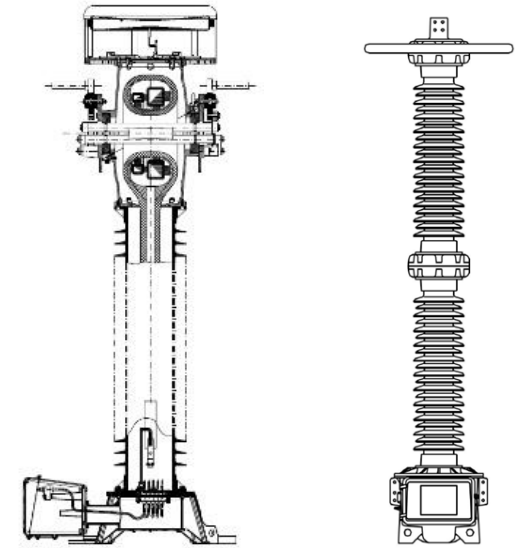
SFRA



Energetski Transformatori



Pasivni filteri



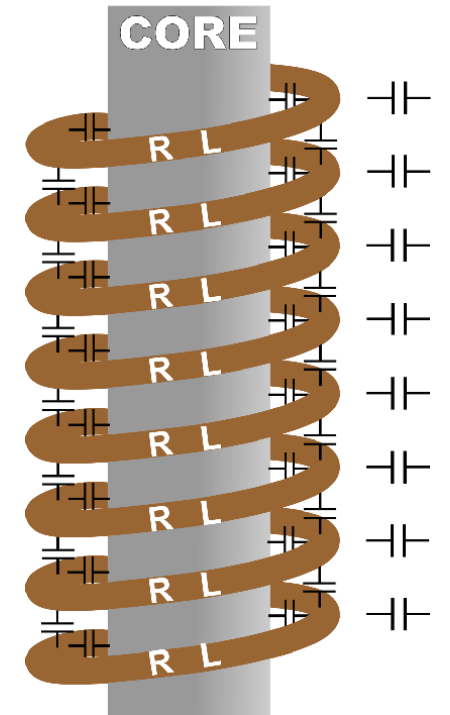
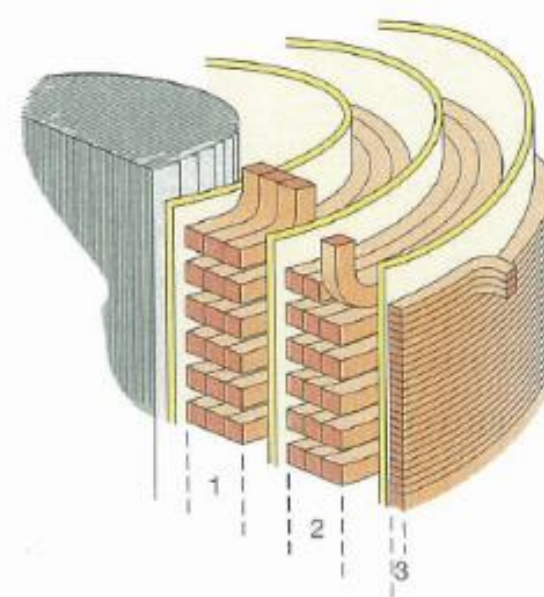
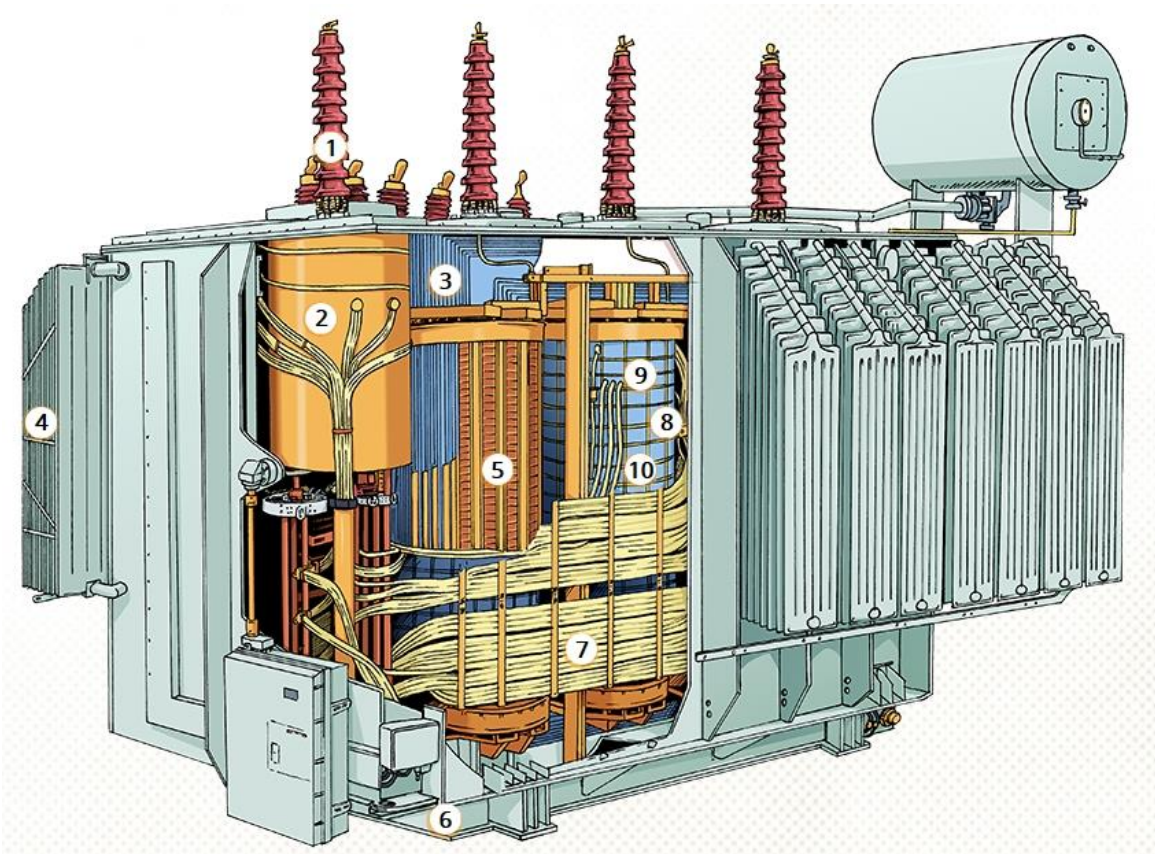
Mjerni transformatori



namoti, motori, generatori

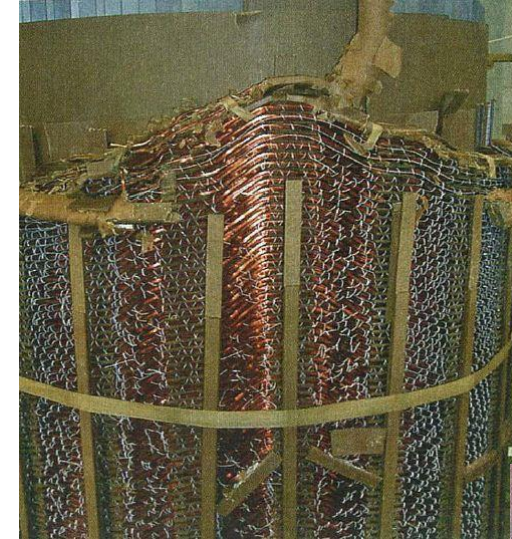
SFRA

Transformator je kombinacija R – otpora, L-indukcije i C-kapaciteta

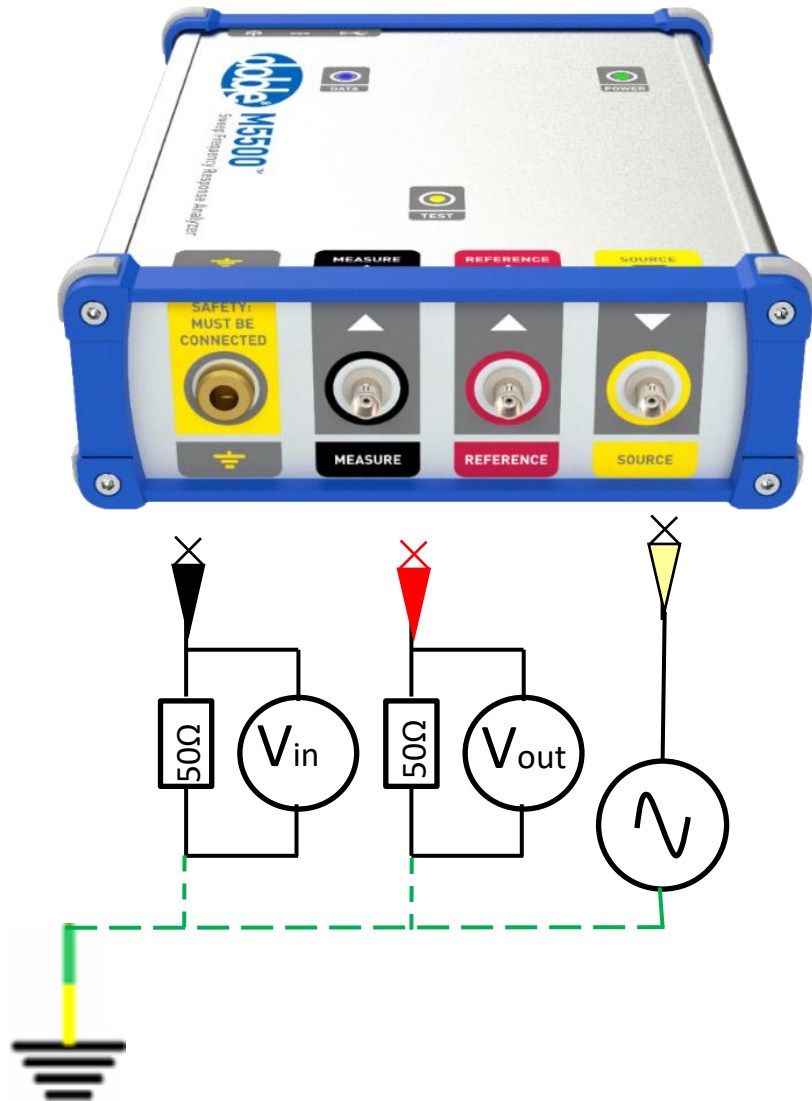


Transformer Housing

- Defekti koji se mogu otkriti – s ovim testom otkrit ćemo ako nešto geometrijski pomaknulo unutar transformatora kao efekt udara u transformator ili kao učinak vrlo visokih struja koje su prošle kroz Transformator prilikom nekog vanjskog kvara
- Aksialne deformacije namota
- Radijalne deformacije namota
- Parcijalne i loklizirane deformacije namota
- Kratki spoje između namota
- Puknuti namoti
- Problemi sa vezama (otpor, uzemljenje, ...)
- Problemi sa magnetskim krugom



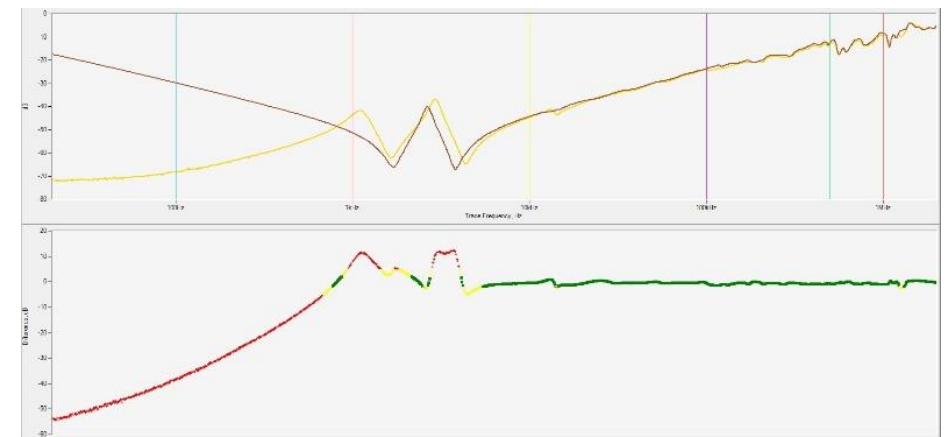
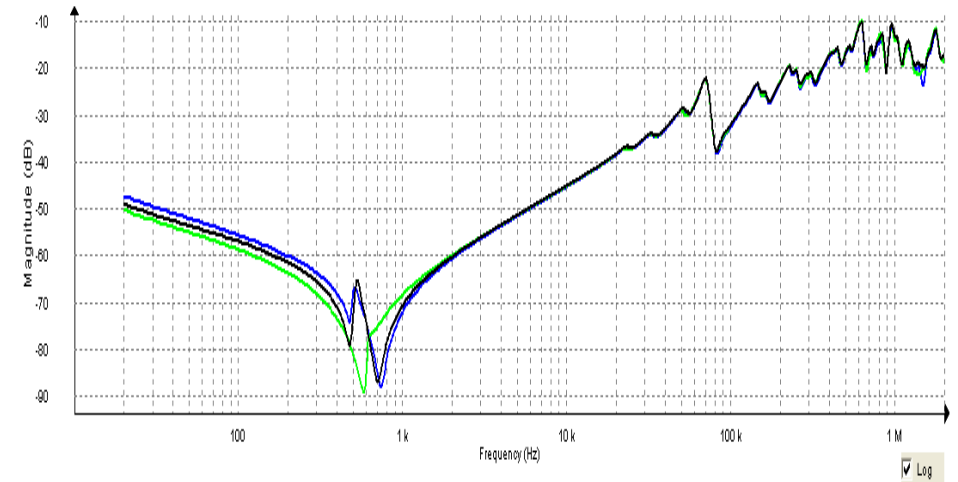
SFRA



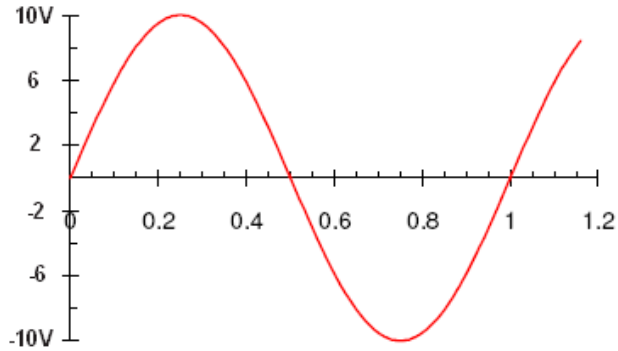
$$G(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

Ispitni uređaj generiram niski napon ($10 V_{pp}$) jednoj strani trafoa a mjerimo na drugoj

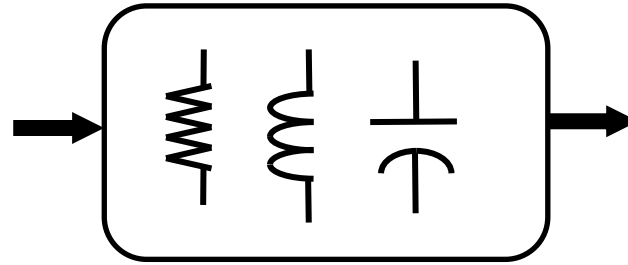
Pri tome se frekvencija generiranog napona mijenja od nekoliko Hz do nekoliko MHz kako bi se dobila prijenosna funkcija



SFRA

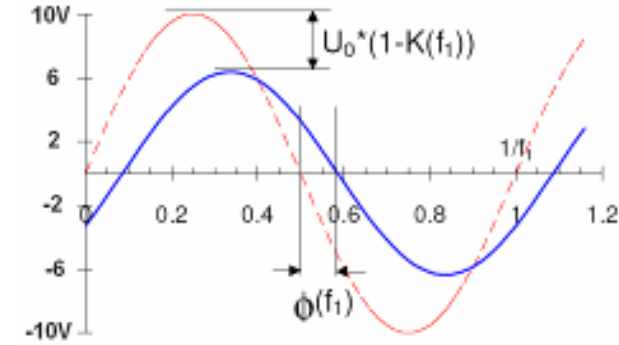


Sinusoidni napon sa promjenjivom frekvencijom



$$x = A \sin \omega t$$

$$y = B \sin(\omega t + \varphi)$$

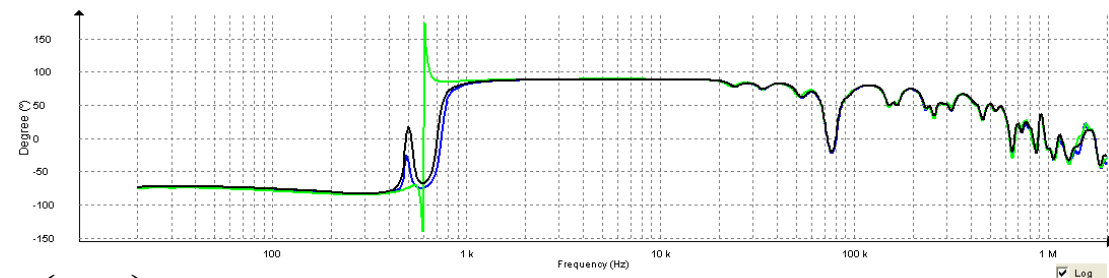
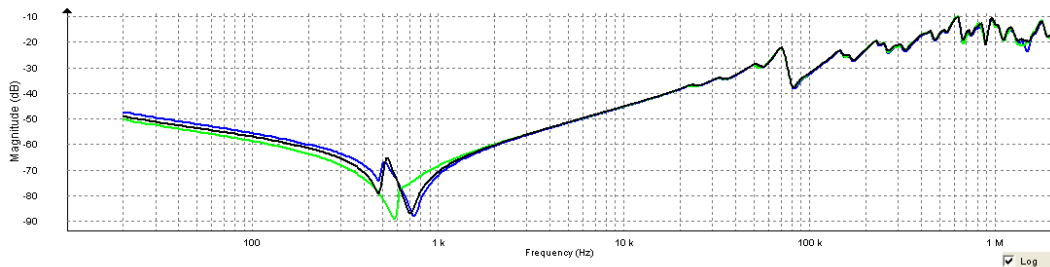


Mjereni napon

Daje nam „otisk prsta” transformatora

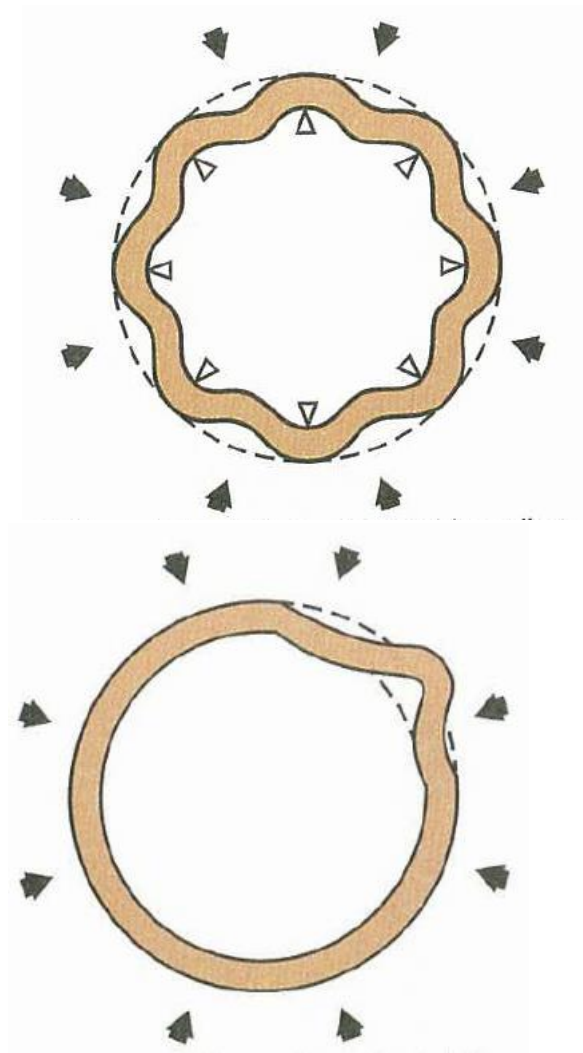
Pojaćanje u dB

Faza u °

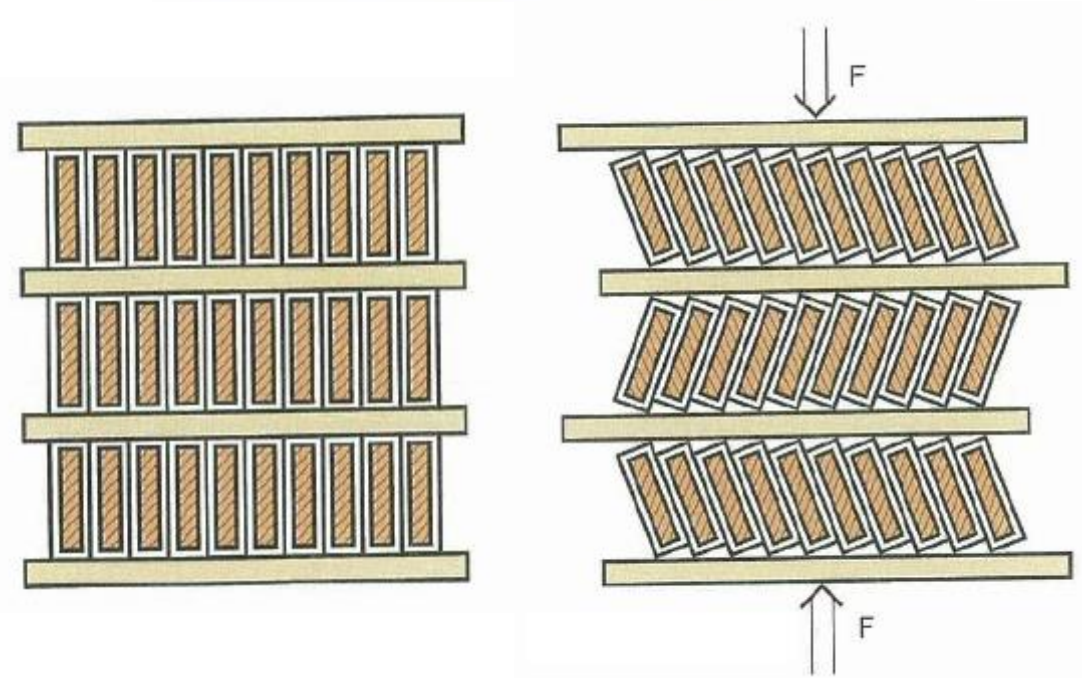
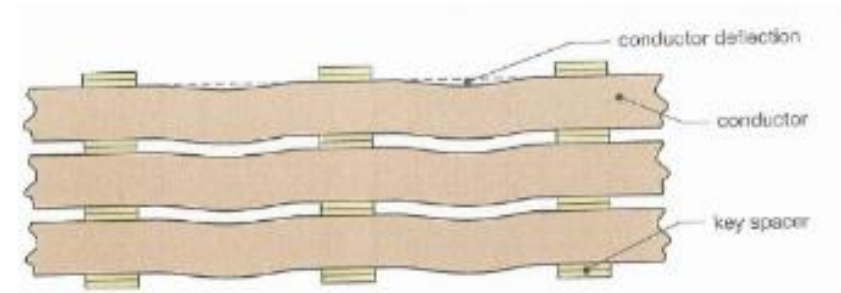


$$G(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$$

SFRA



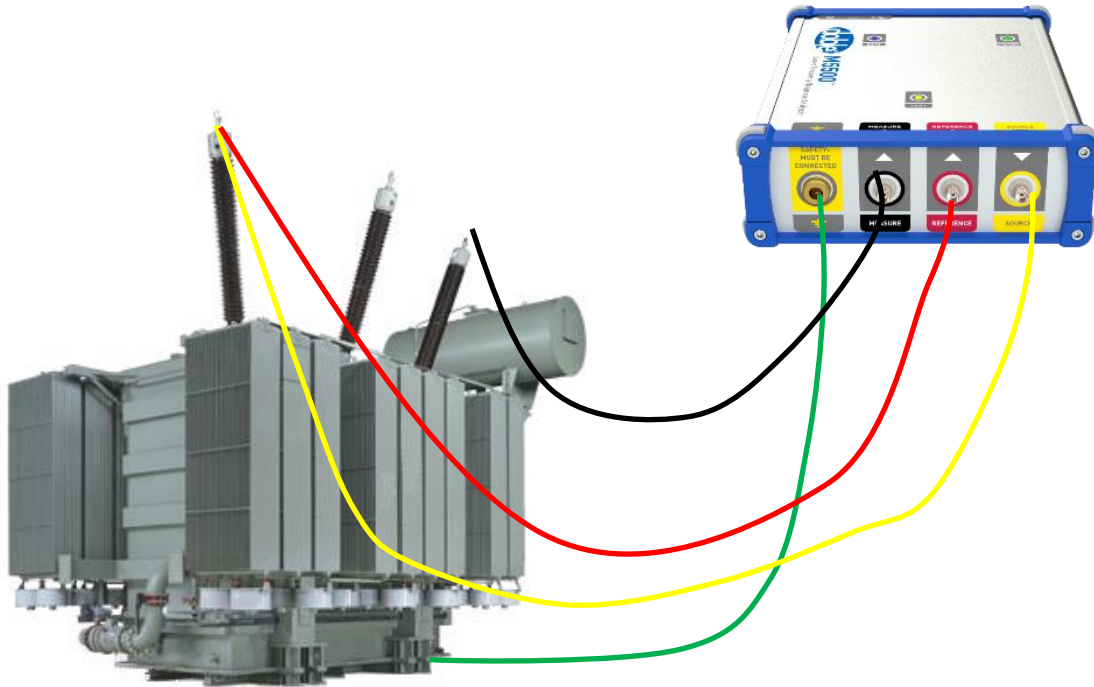
Radijalna deformacija namota



Aksijalna deformacija namota

SFRA

- IEC 60076-18
- IEEE PC57.149/D8
- DLT911 / 2004
- CIGRE WGA2.26 & 342

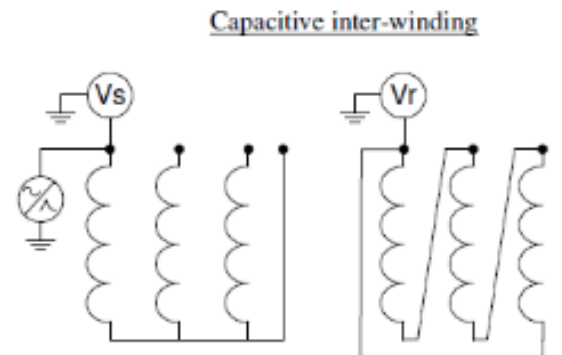
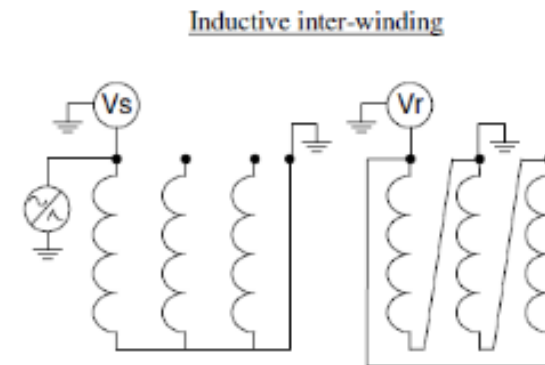
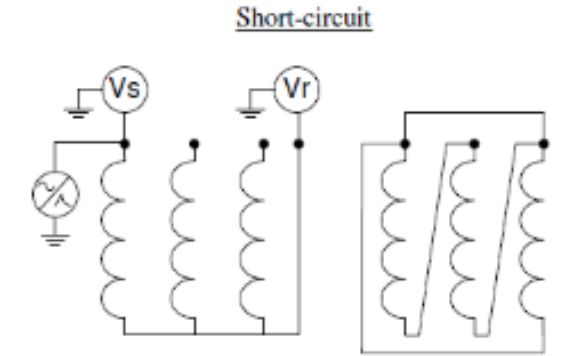
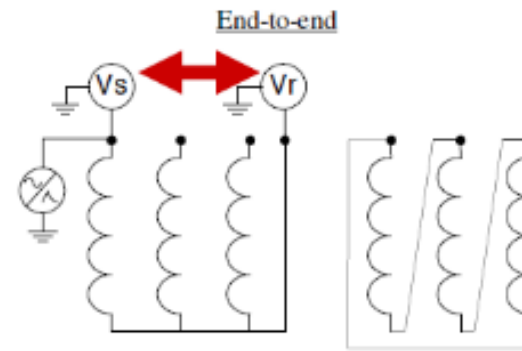


CIGRE

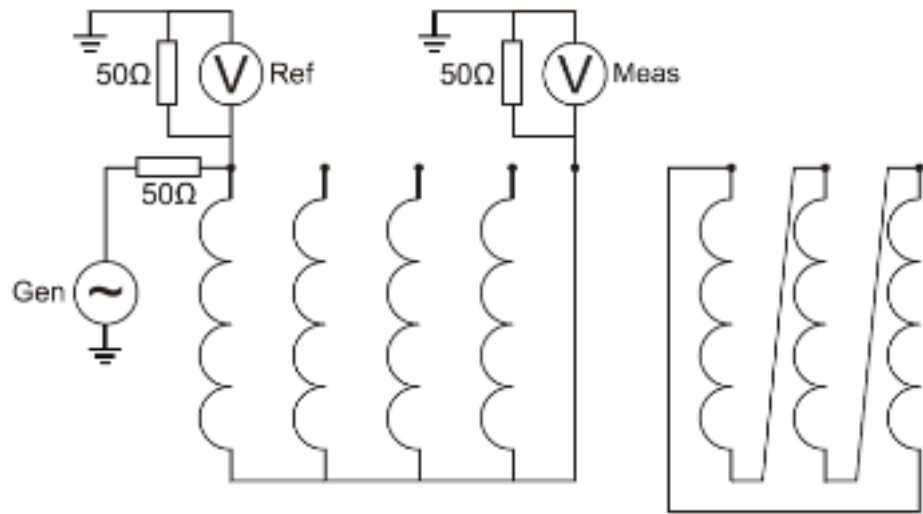
- 1) End-to-End Open
- 2) End-to-End Short-Circuit
- 3) Capacitive Inter-Winding (CIW)
- 4) Inductive Inter-Winding (IIW)

IEEE

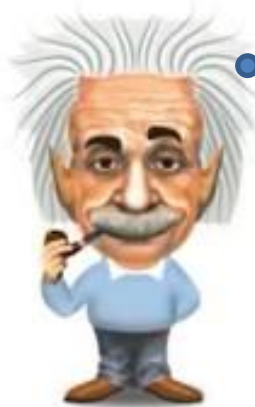
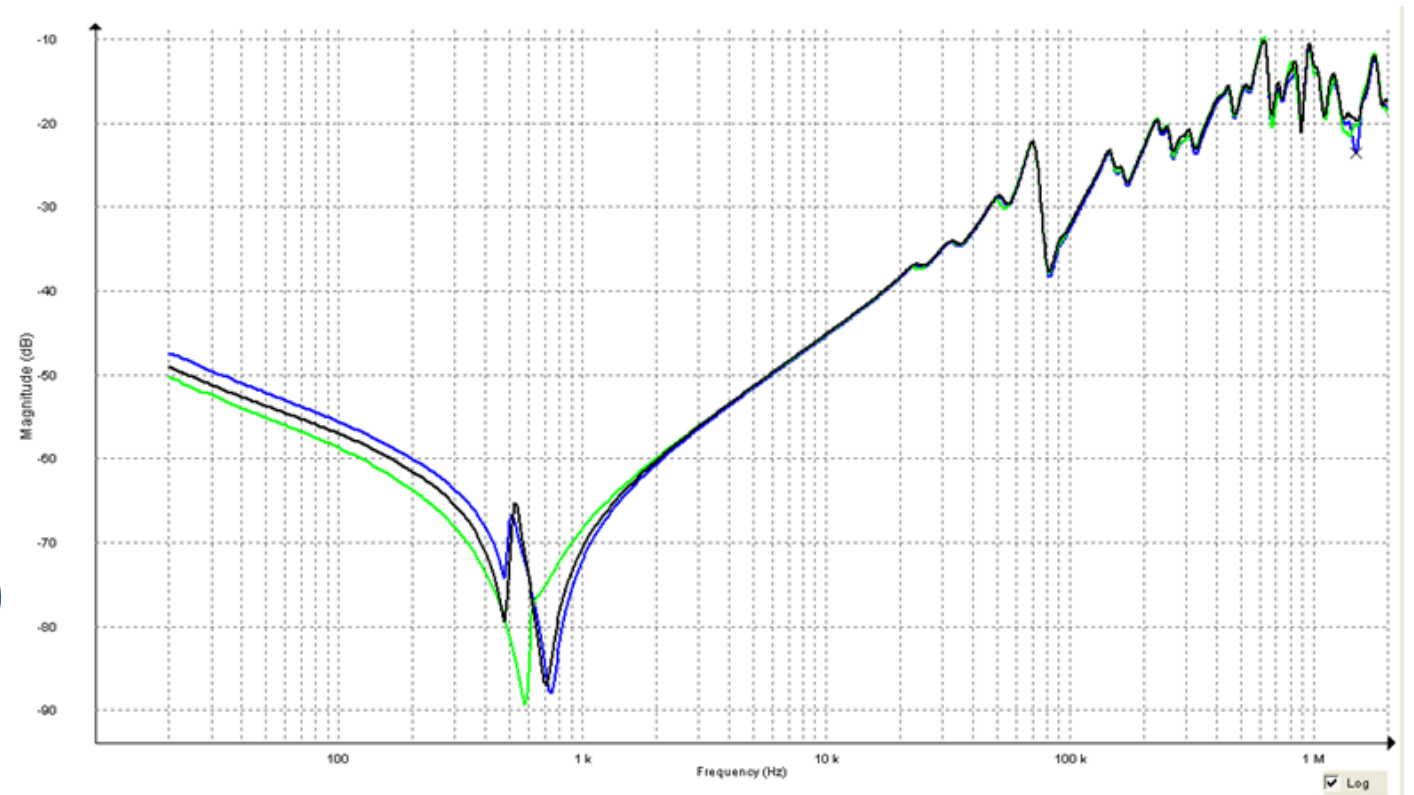
- Open Circuit Self Admittance (OC)
- Short Circuit Self Admittance (SC)
- Inter-Winding (IW)
- Transfer Admittance (TA)



- Generiramo na VN, NN otvoren



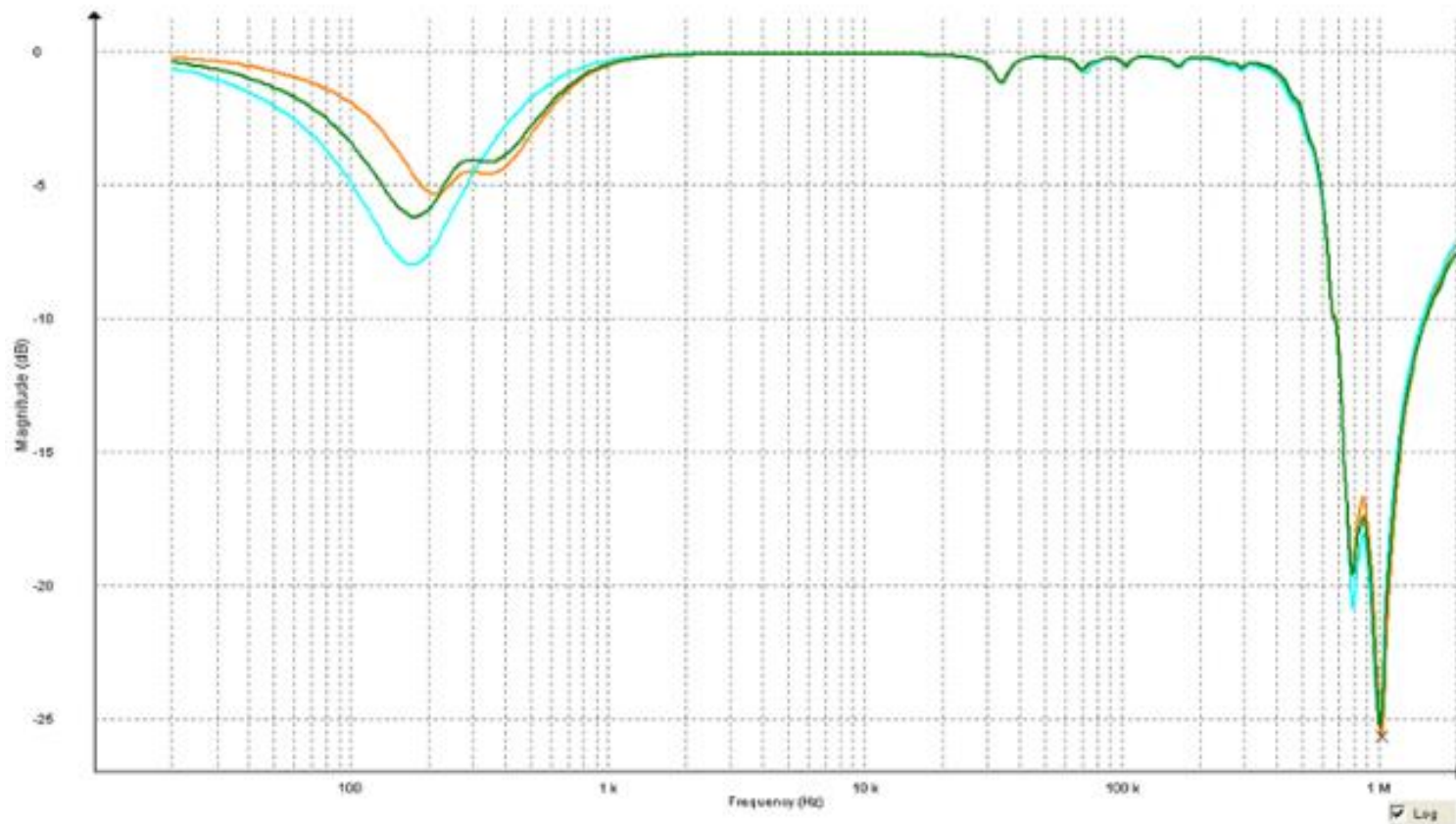
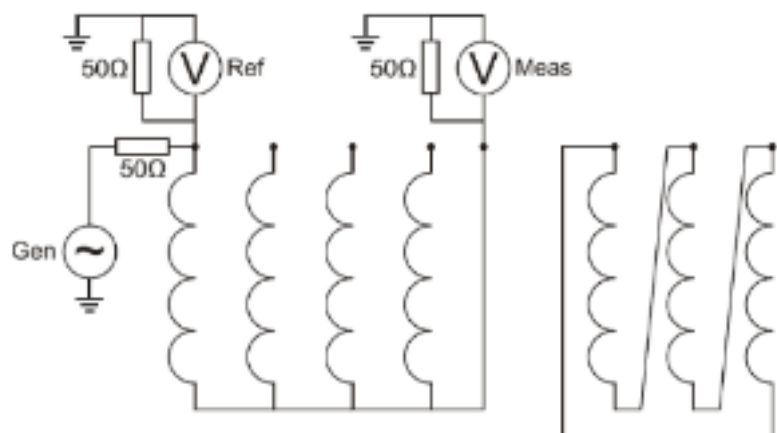
Na niske frekvencije utječe struja magnetizacije



Od iznimne je važnosti da se prije ovog ispitivanja transformator demagnetizira

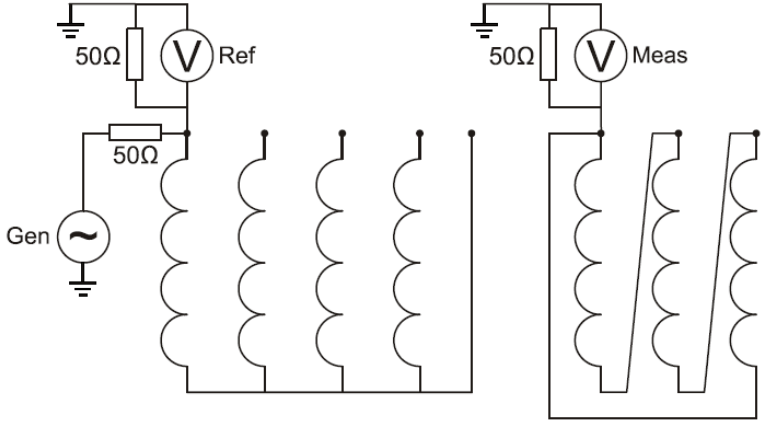
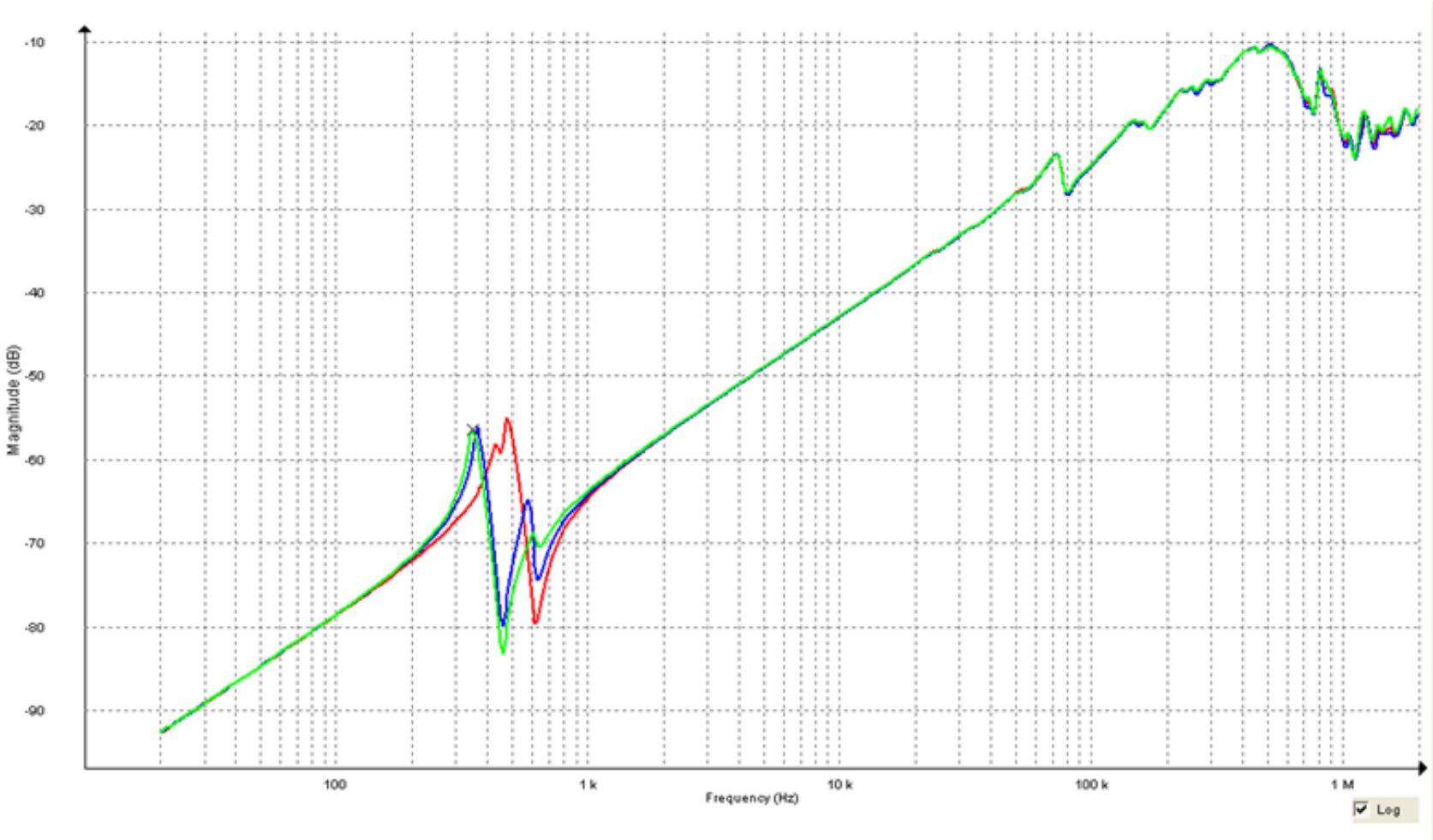
SFRA

- Generiramo na NN, VN strana otvorena



SFRA

- **Primjer:**



SFRA

- **Primjer:**



Tumačenje – Moramo imati prethodni rezultat (iz tvornice ako Radimo ovaj test po prvi put)

Softver uspoređuje novu krivulju – prijenosnu funkciju – i staru

Ako se poklapaju sve je u redu – fokus je na ekstremima (maksimumi i minimumi) I njihovoj podudarnosti

Ako se ne podudaraju – moguće da se nesto pomaklo u Tx

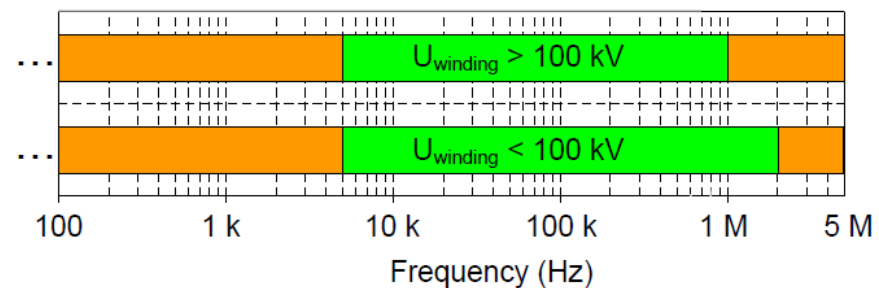
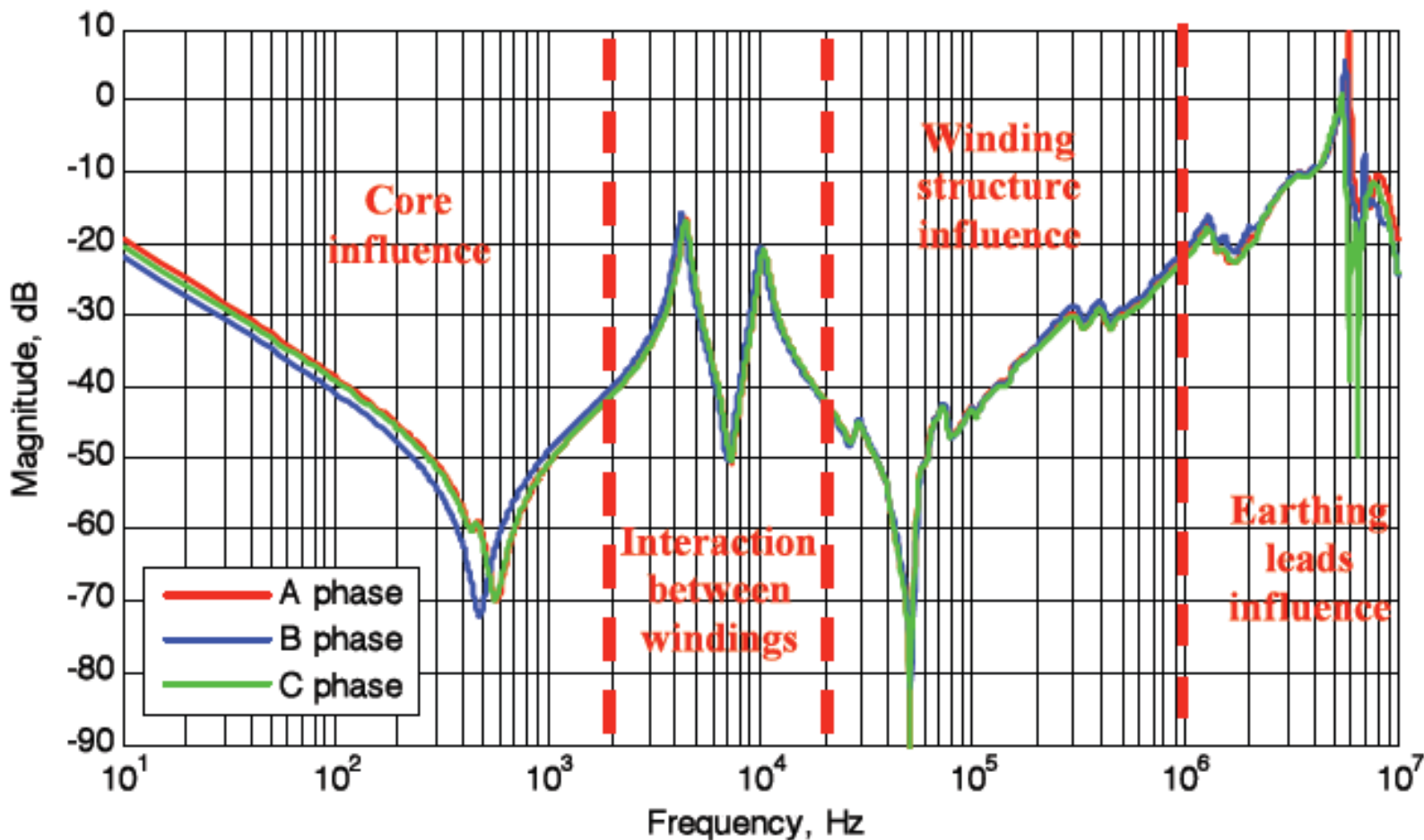
SFRA, Kada provoditi ovo ispitivanje

- U tvornici
 - Provjera (prije i poslije pokusa KS)
 - Prije transporta transformatora
- Puštanje u pogon
 - Nakon transporta
 - Nakon što su uvodni provodnici instalirani
- Tijekom korištenja
 - Kod sumnje u kvar izolacije
 - Nakon kratkih spojeva u blizini Tx
- Ostalo
 - Nakon potresa
 - Nakon munje



SFRA

Analiza mjerenja



Check:
Residual flux (LF)
Repeatability problem (HF)

Typical interpretation range

Parcijalna Izbijanja na Energetskom Transformatoru



Zašto PI kao bitan pokazatelj stanja izolacije ?

Ova prilično mlada tehnologija se u proteklih 20ak godina pokazala kao bitan alat za pouzdanu procjenu stanja izolacije razne SN i VN opreme

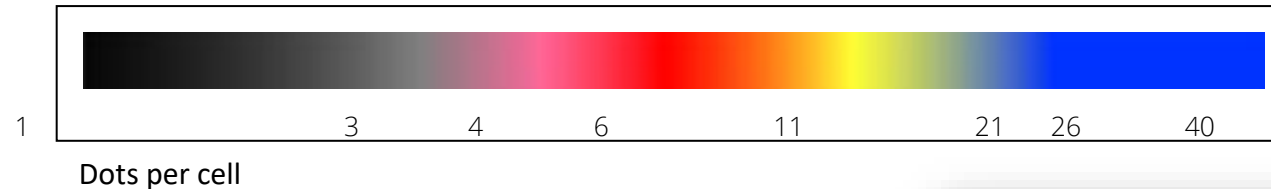
- Parcijalna izbijanja (simptom) su glavni uzrok kvarova na SN/VN opremi
- Mjerenja PI su efikasna za procjenu trenutnog stanja izolacije, ali ne mogu dati indikaciju šta bi se moglo desiti nakon ispitivanja. Zapravo događaji kao prenaponi, mehanički i termalni stres mogu izazvati PI sa nepredvidivim posljedicama.
- Redovita PD mjerenja ili pak stalni nadzor ne samo da identificiraju hot spots i degradaciju u sklopu održavanja, nego također sprječavaju neplanirana isključenja primarne opreme

Zašto PI kao bitan pokazatelj stanja izolacije ?

- Parcijalna izbijanja su mikro iskre unutar (Unitarnje PI) ili na granicama različitih izolacijskih materijala (Površinsko PI) koje nam pokazuju da izolacija počinje degradirati

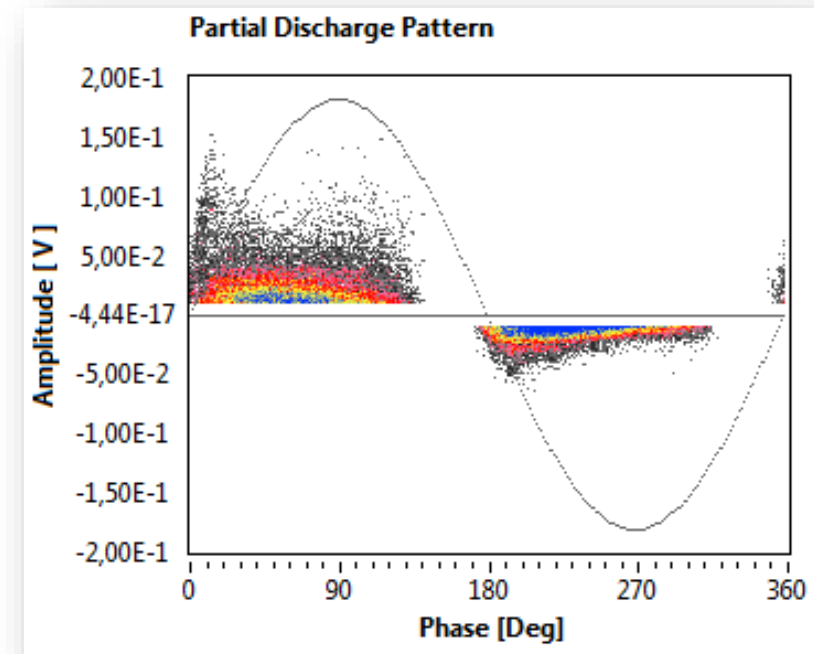
Način prikaza parcijalnih izbivanja

Fazno refencirani PI uzorak (Phase Resolved PD Pattern): najčešći prikaz Pla u kojem su predstavljeni Amplituda i Faza svakog detektiranog impulsa. PRPD pokazuje čestotću pojavljivanja određenih impulsa u skali boje:



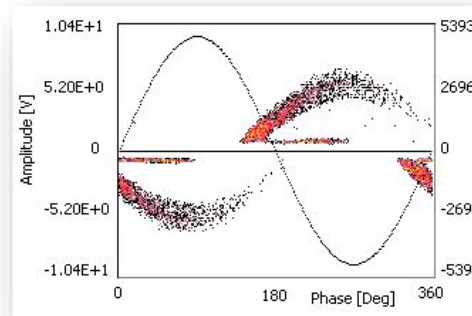
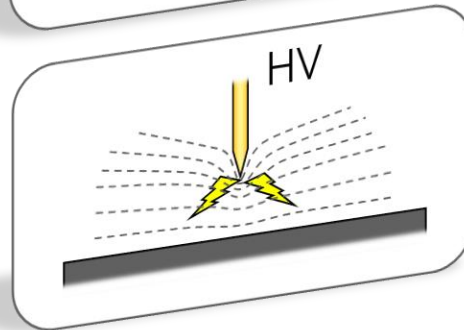
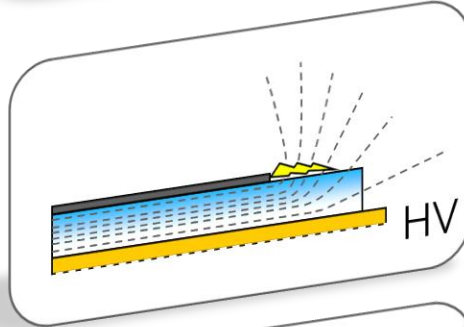
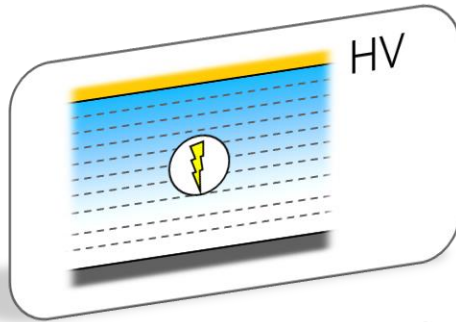
Dijagnoza se bazira na uzorcima (rasporedu točaka) → Za što je potrebno znanje i iskustvo

Generalno gledano – uzeti mjerenja Pla nije nešto prekompleksno – međutim interpretacija traži iskustvo

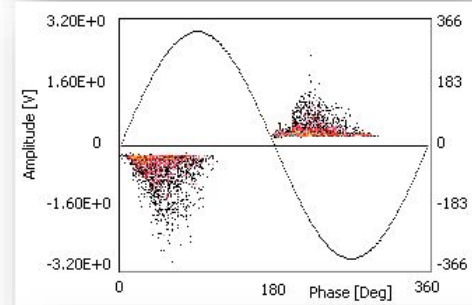


Tipovi Parcijalnih izbijanja i njihova štetnost

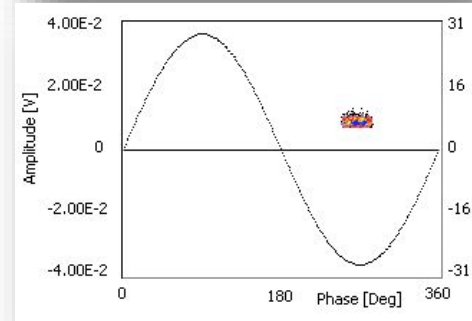
Budući da se temelji na uzorcima (patterns), identifikacija defekta se može izvršiti, jer različiti defekti imaju različite tipove uzoraka - izgled



Interni PD



Površinski PD



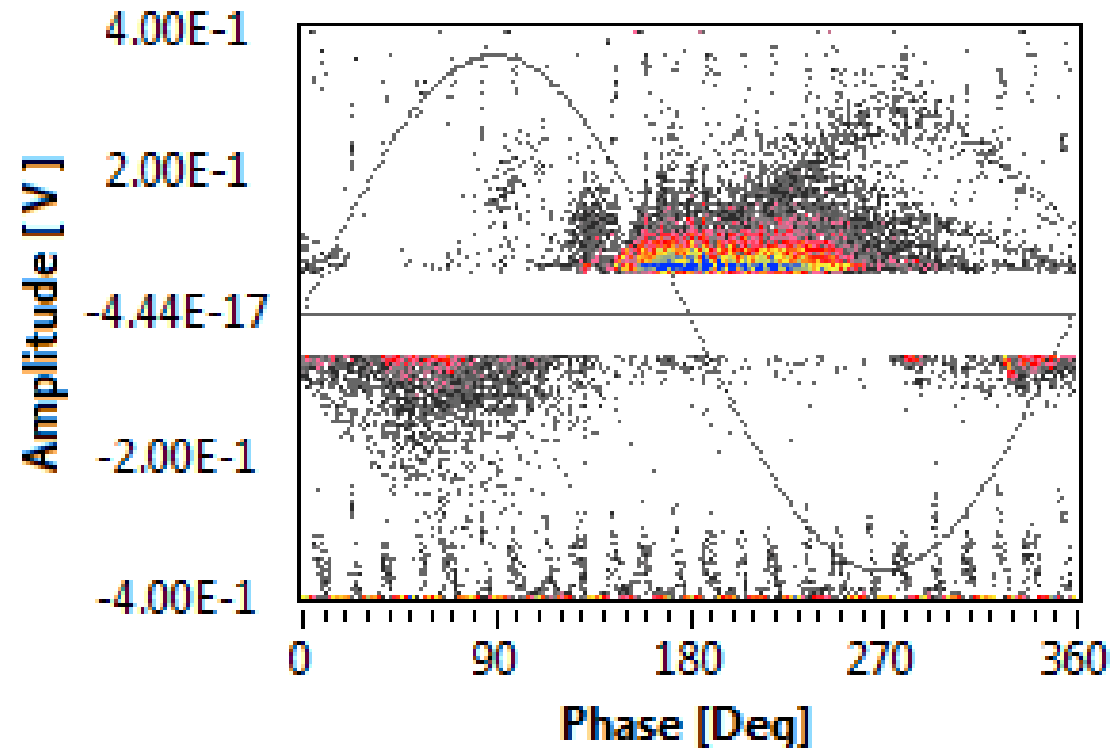
Korona PD

Štetnost

Izazovi pri razdvajanju i identificiranju Parcijalnih izbivanja

Uređaji za akviziciju detektiraju sve signale PI koji se nalaze u frekventnom rasponu koji pokriva uređaj. Npr. od 16 kHz do 30 MHz i više

Partial Discharge Pattern

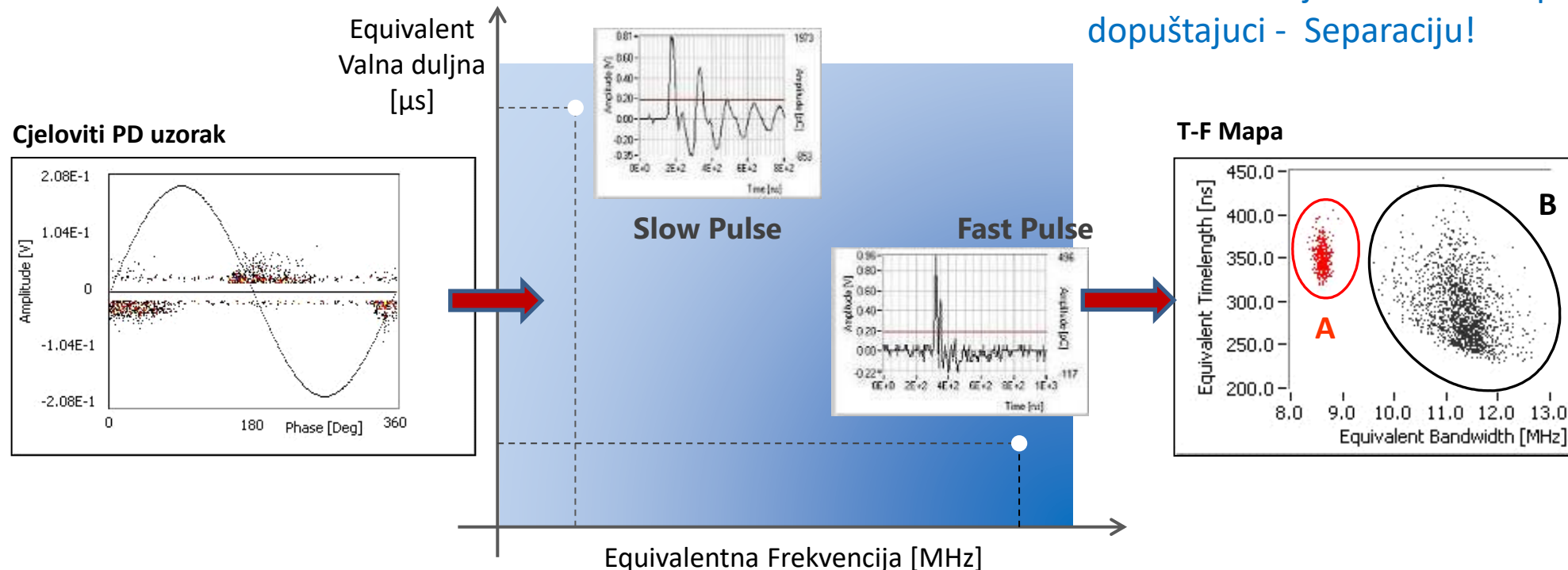


Razdvajanje signala Parcijalnih Izbijanja

Za svaki puls (PI) software računa FFT (Fast Fourier Transformation)
Bazirano na takvoj brznoj Fourierovoj transformaciji, dvije vrijednosti se izracunavaju i crtaju na tzv. T-F Mapi:

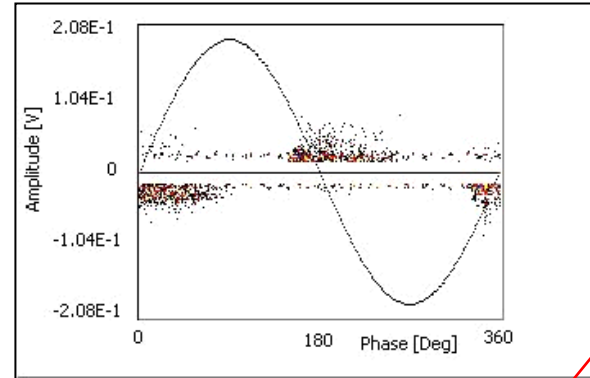
- Equivalentna **Valna duljina**
- Equivalentna **Frekvencija**

Različiti fenomeni imaju različite valne oblike, pa se tako razlikuju impulsi šuma i impulsi PIa te će samim time biti locirani na različitim djelovima TF mape dopuštajući - Separaciju!

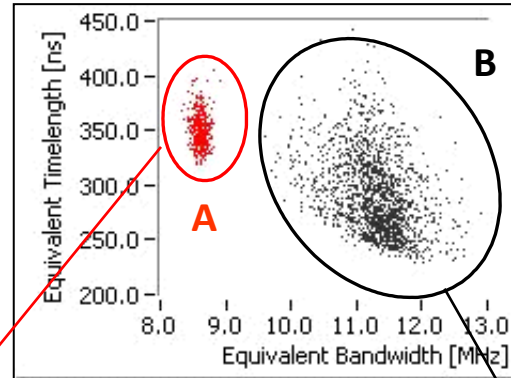


Identifikacija tipova Parcijalnih Izbijanja

PRPD – Cijeli PD uzorak



T-F Mapa



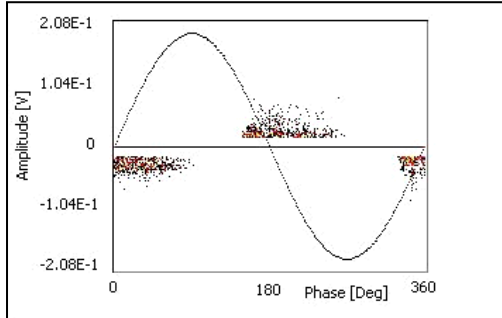
A

Identifikacija

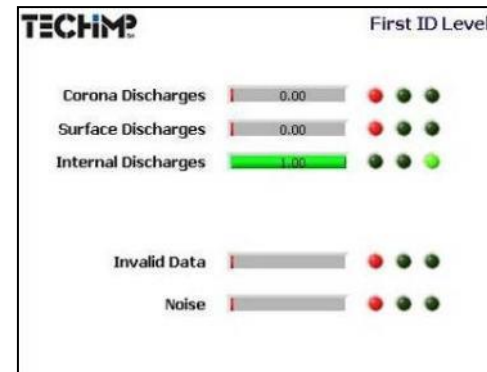
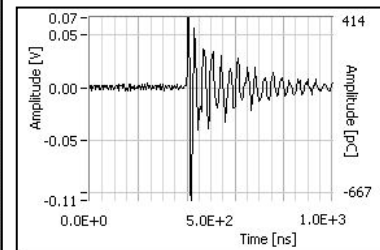
B

Identifikacija

Poduzorak A

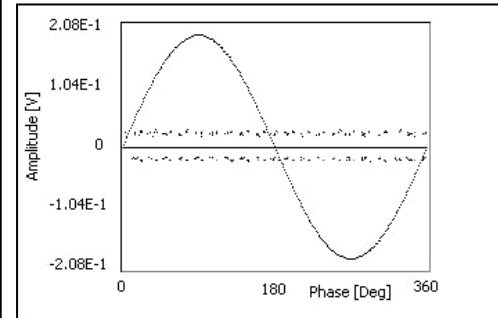


Valni oblik A

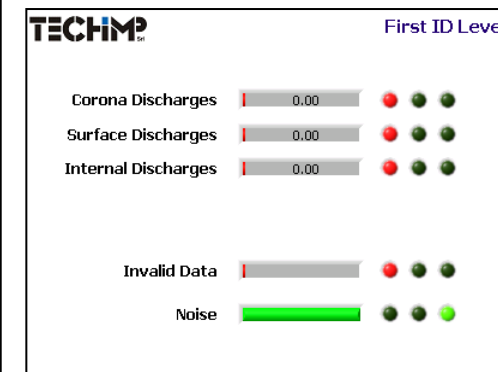
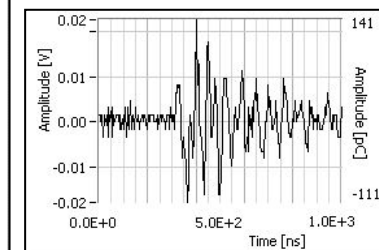


Dijagnoza
Interna pražnjenja

Poduzorak B

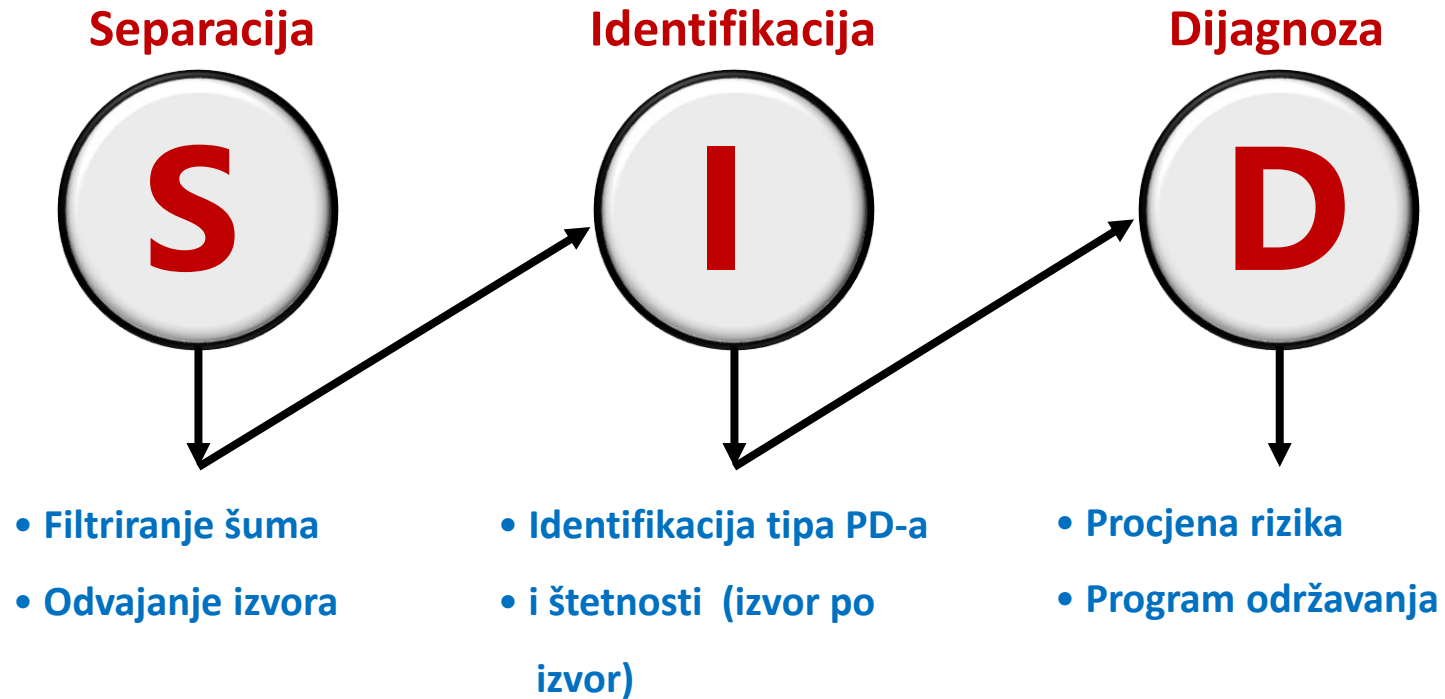


Valni oblik B



Dijagnoza
Šum

Dijagnoza potencijalnih problema



Kako sve to primijeniti na Energetskom Transformatoru ?



Senzori za mjerenje PI na ET



Tap Adapter Senzori za mjerenje Parcijalnih Izbijanja na Energetskim Transformatorima



Neki od modela senzora	
ABB	GOB
ABB <i>formerly HSP</i>	EKTG
ABB <i>formerly ASEA</i>	GOA
PASSONI & VILLA	PNO
PASSONI & VILLA	POBO
PASSONI & VILLA	PCTO
TRENCH	ETG
TRENCH	COT

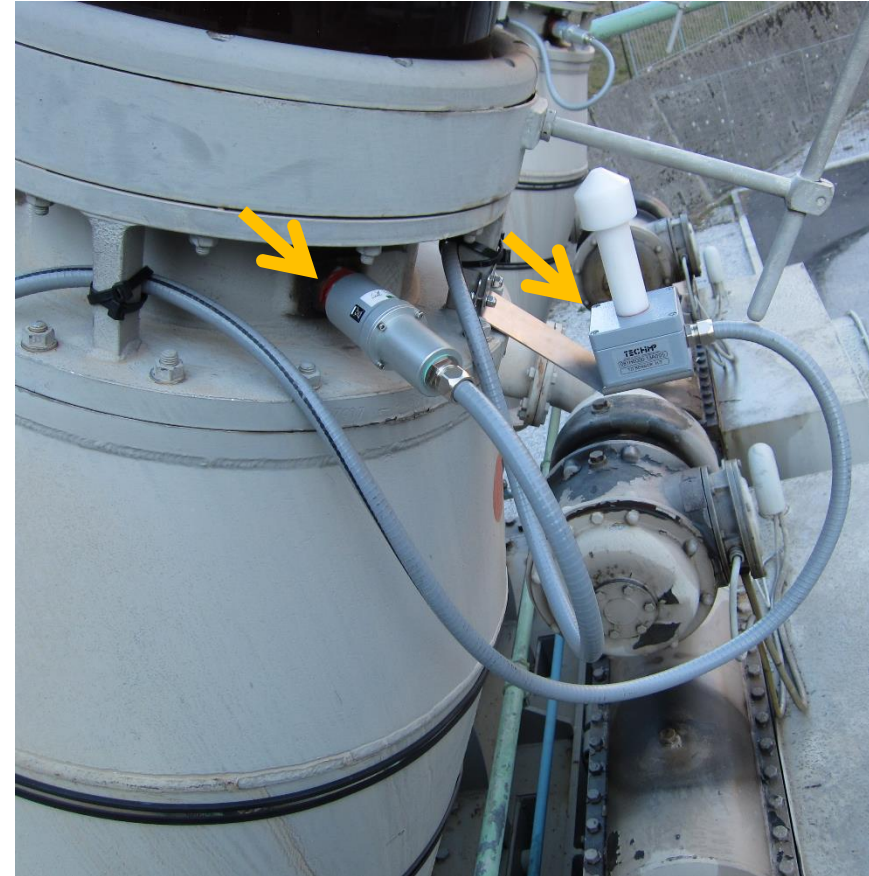
Specifikacije	
Voltage output @ 50Hz or 60Hz	1 ÷ 10Vrms
Max output transient voltage	90V _{peak}
V _{out} vs V _{in} phase shift	90°
Operating temperature	-25°C ÷ +65°C
Output connector	BNC
Protection degree	IP66
Current to ground @ 50Hz or 60Hz	Below 10mA

Uz ove – specifične tap adaptere postoje i univerzalni koji su zapravo samo mehanički adapteri na BNC konektor koji onda zahtjevaju dodatno kondicioniranje signala pomocu PQ kutije

Primjeri instalacije senzora za Parcijalna izbijanja ne Energetskim transformatorima



Primjeri instalacije senzora za parcijalna izbijanja ne Energetskim transformatorima



VFST (HFCT) senzori

HFCT ili Visoko Frekventni Strujni Transformatori

Mogu biti postavljeni na uzemljenju trafoa (tada se bolje vidi donja polovica Trafoa) ili na kratkospojniku izmedju uvodnog provodnika i tanka transformatora (tada se bolje vidi gornji dio Tx)

VFST 30mm / VFST 50mm



Za stalnu instalaciju

VFST clamp 39mm / VFST clamp 140mm



Za povremeno ispitivanje – mogu se lako postaviti i sknuti

VFST (HFCT) senzori

Imaju sljedeće karakteristike:

- Visoki razina galvanskog odvajanja od VN
- Visoka osjetljivost;
- Jednostavna upotreba;
- Niski trosak;
- Pasivni PD senzor;
- Instalira se oko zemljospoja
- Za on i off line ispitivanja;

Razlicite HFCT za rezlicite primjere:

- HFCT 30mm
- HFCT 50mm
- HFCT clamp 39mm
- HFCT clamp 140mm

VFST clamp 39mm / VFST clamp 140mm

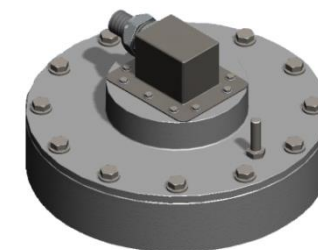


Za povremeno ispitivanje – mogu se lako postaviti i sknuti

UHF Senzori za mjerenje PI na ET



- UHF spiralna antena je senzor dizajniran za primanje elektromagnetskih (EM) emisija iz PI
- To je širokopojasna antena. .
- Optimizirana je za rad u frekventijskom rasponu tipičnom za PI aktivnost i dizajnirana je da pruži maksimalnu osjetljivost i visoko pojačanje.
- Njezin kompaktan i robustan dizajn čini spiralnu antenu optimalnim senzorom za izravnu instalaciju na visokonaponskim transformatorima.
- Može se praktično primijeniti u bilo kojoj električnoj opremi pod uvjetom da ima otvore ili površine koje propuštaju EM valove.
- Operiraju u UHF frekventijskom rasponu 500 Mhz do 3 GHz
- Rade se „po mjeri”, rjeđe u upotrebi



Akvizijski uređaji koje koristimo na terenu



Jako napredni osciloskopi sa još naprednijim software-om

Tipovi mjerenjana PI na ET

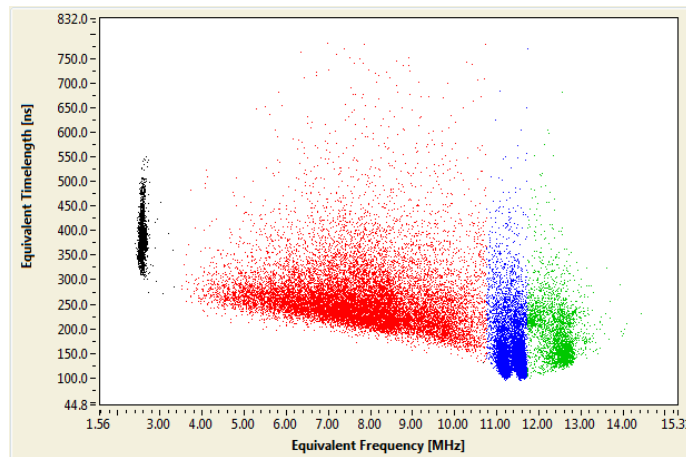
APLIKACIJE :

- Stalni Nadzor
- Kontrola Kvalitere u tvornici (pC)
- Terenska mjerenja
 - *On-line mjerenje - koristimo napon mreže – brže, jednostavnije, jeftinije ali ne možemo mijenjati napon*
 - *Off-line service – mi moramo osigurati izvor napona – skuplje i logistički puno izazovnije*



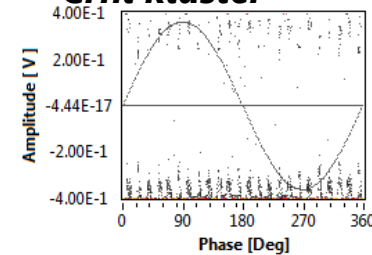
Primjeri sa terena (transformator)

Primjer kako u TF mapi signali sami stvaraju grupe (clusters) čime olakšavaju separaciju

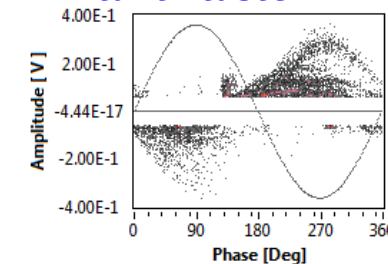


Odgovoraјуći „pod“uzorci

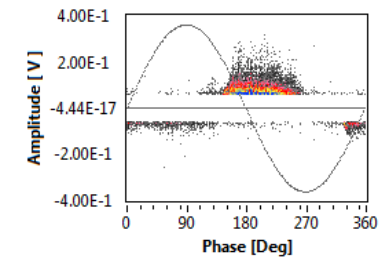
Crni klaster



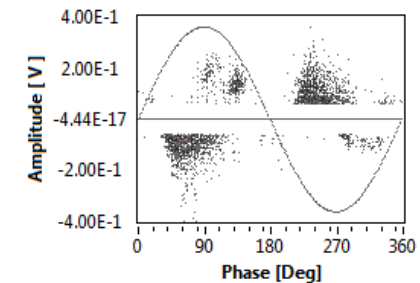
Plavi klaster



Crveni klaster



Zeleni klaster

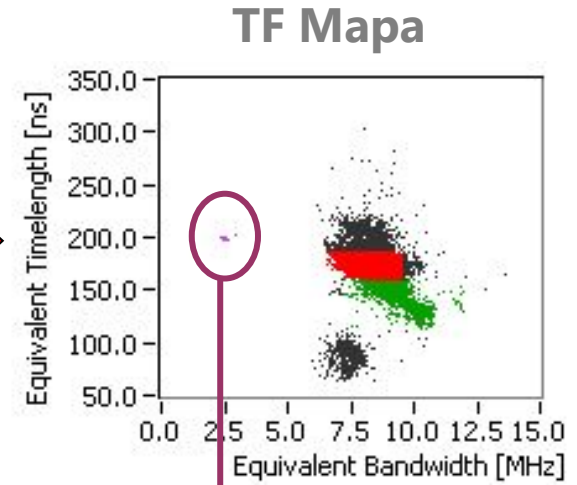
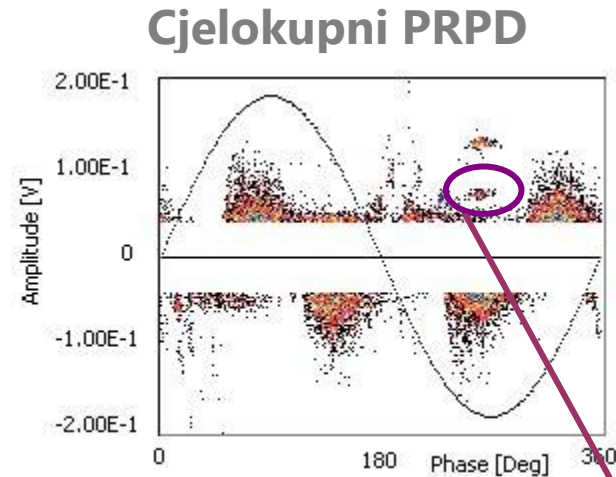


Odvajanjem različitih nakupina (klastera) koji se prikazuju u TF mapi, specifični PI uzorak koji odgovara PRPD mogu biti prezentirani, koje se mogu koristiti za daljnju analizu.

Primjeri sa terena (transformator)

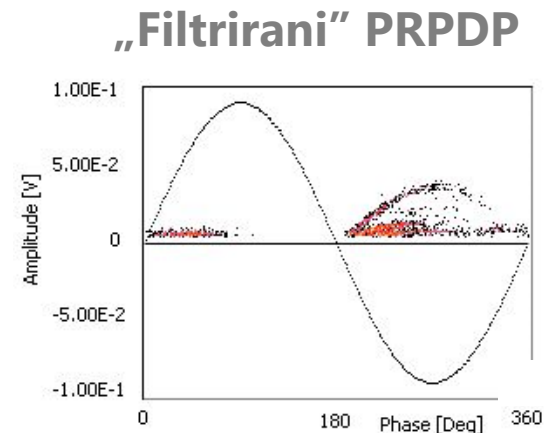
PDRP sa T-F filtriranjem u realnom vremenu

Standardna
Akvizicija
signala



Akvizicija fokusirana na mali klaster sa
gornje slike

Akvizicija
signala sa
fitriranjem u
realnom
vremenu



Analiza plinova otopljenih u ulju (DGA)

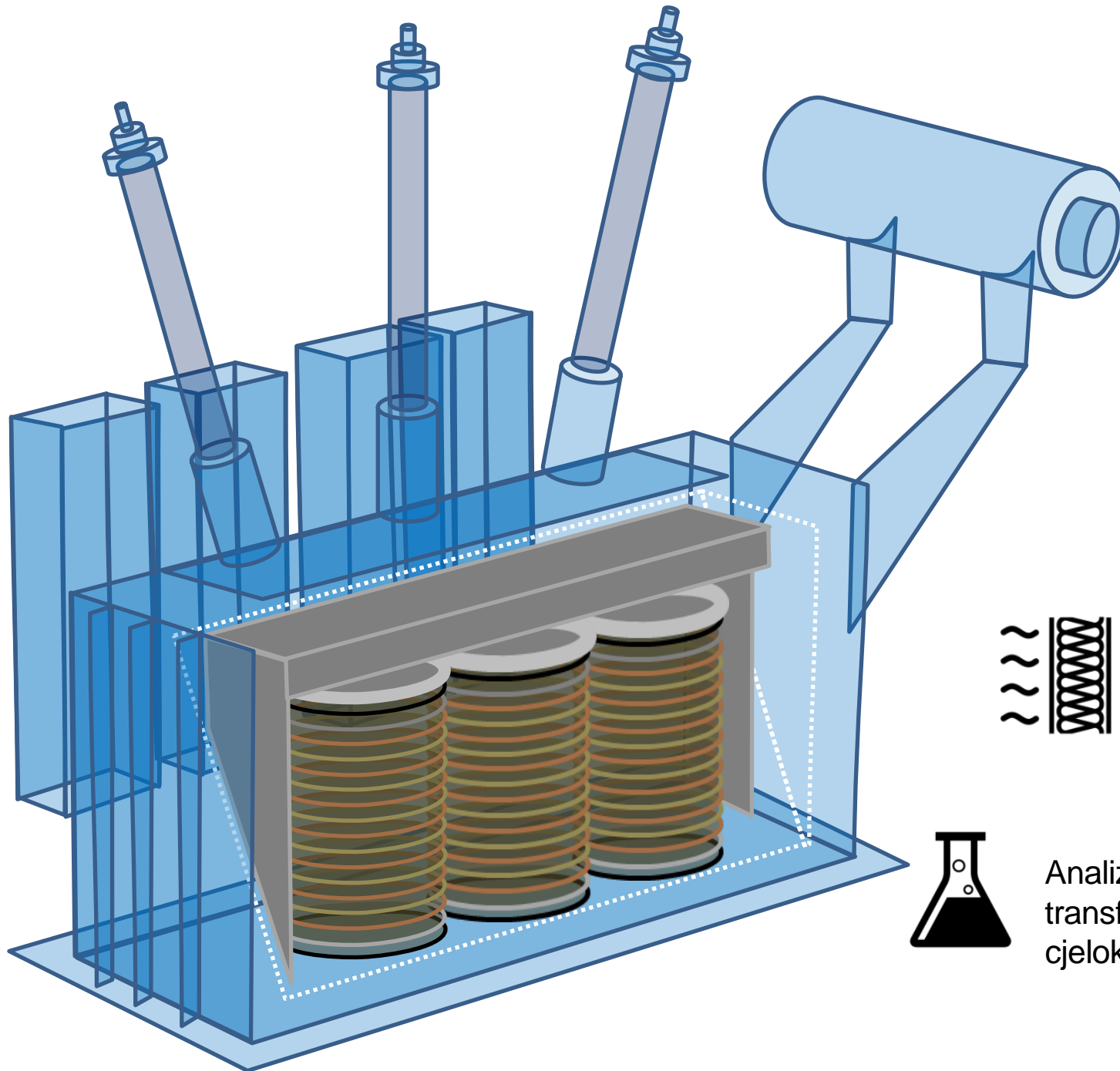
Mnogi kvarovi u transformatoru dovode do plinovitih nusproizvoda otopljenih u ulju. Stoga je potrebna pravilna i redovita analiza otopljenog plina (DGA) za određivanje statusa – zdravlja - transformatora.

Plinovi otopljeni u ulju su prvi indikator i mogu pokazati ako se suočavamo sa:

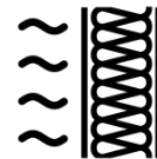
- Generalno propadanje električne izolacije i ulja
- Pregrijavanje
- Tople točke
- Parcijalna izbijanja
- Električni luk

“Zdravlje” ulja je dobar pokazatelj “zdravlja” transformatora.

Transformatorsko ulje = 'Krv' Transformatora



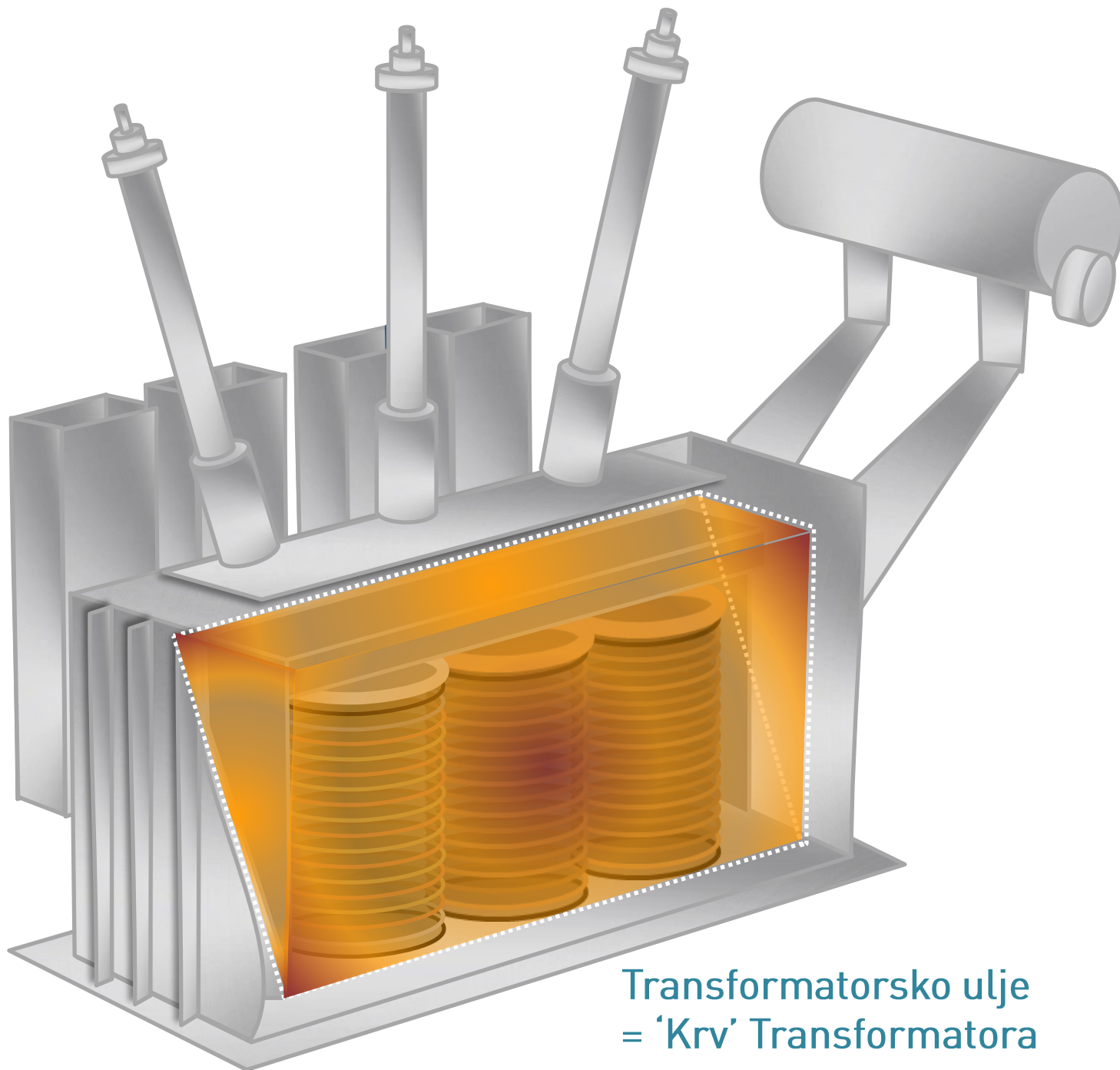
Transformatori su punjeni uljem koje **hladi** i **izolira** njegove namote.



Izolacijsko ulje je u kontaktu s unutarnjim komponentama, tako da se normalni i abnormalni događaji događaju unutar transformatora, stvaraju se "kvarni plinovi" koji se otapaju u ulju.



Analiza ovih plinova daje sliku općeg zdravlja transformatora, baš kao što analiza krvi daje sliku cjelokupnog zdravlja ljudskog tijela.



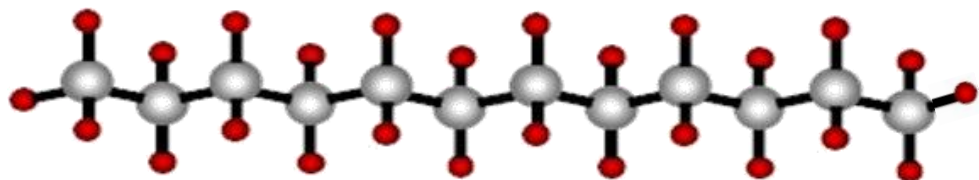
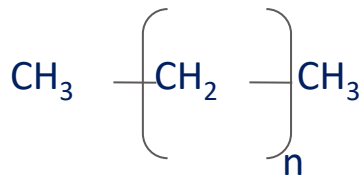
Transformatorsko ulje
= 'Krv' Transformatora

PLINOVI OTOPLJENI U ULJU

H_2	CO	CH_4
Vodik	Ugljik monoksid	Metan
C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
Etan	Etilen	Acetilen
O_2	CO_2	N_2
Kisik	Ugljik dioksid	Dušik
H_2O		
Voda - Vlaga		

Analiza plinova otopljenih u ulju

Generička molekula ulja



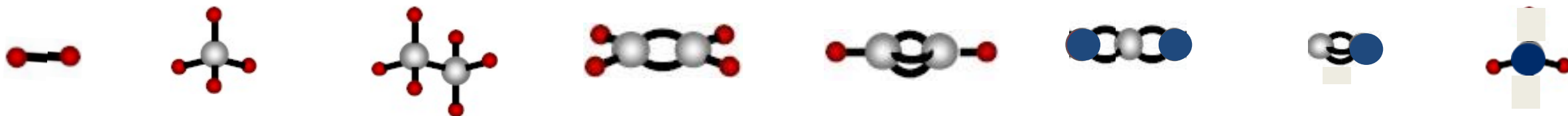
Termički stres



Električni stres



Izloženost kisiku



H₂

CH₄

C₂H₆

C₂H₄

C₂H₂

CO₂

CO

H₂O

Formiranje plinova kvara

Termički kvarovi

Oksidacija ulja

Degradacija celuloze

Analiza plinova otopljenih u ulju

Za DGA ispitivanje, sljedeći rasponi stanja mogu se definirati na temelju ozbiljnosti kvara (IEC60599, IEEE C57-104, ...):

Plin	Rasponi i stanja				Glavni uzroci
	Dobro	Prihvatljivo	Loše	Djelovanje potrebno	
Vodik (ppm)	<101	>100 <1000	>1000 <2000	>2000	PI, elektroliza vode
Metan (ppm)	<121	>120 <401	>400 <1001	>1000	Pregrijano ulje
Etan (ppm)	<66	>64 <101	>100 <151	>150	Pregrijano ulje
Etilen (ppm)	<51	>50 <101	>100 <201	>200	Vrlo pregrijano ulje
Acetilen (ppm)	<36	>35 <51	>50 <81	>80	Iskrenje u ulju
Ugljik monoksid (ppm)	<351	>350 <571	>570 <1401	>1400	Pregrijani papir, zagađenje zrakom
Ugljik dioksid (ppm)	<2501	>2500 <4001	>4000 <10001	>10000	Pregrijani papir, , atmosfera
Kisik (ppm)	<3501	>3500 <7001	>7000 <10001	>10000	Atmosfera

Analiza plinova otopljenih u ulju

- Različiti procesi propadanja rezultiraju različitim "otiscima prstiju" plinova otopljenih u ulju
- Ključni plinovi nastaju razgradnjom ulja: vodik (H_2), metan (CH_4), etan (C_2H_6), etilen (C_2H_4) i acetilen (C_2H_2)
- Ključni plinovi nastaju razgradnjom papira: ugljični monoksid (CO), ugljični dioksid (CO_2), kisik (O_2), itd.
- Vrsta i količina plina određuju se ozbiljnost kvara i uključenu energiju
- Koristimo **kromatografsku metodu** za ispitivanje ne terenu

Analiza plinova otopljenih u ulju

Standardi uključeni u analizu plinova u ulju

IEC 60567 ed4.0 (2011-10), Električna oprema punjena uljem – Uzorkovanje plinova i analiza slobodnih i otopljenih plinova

IEC 60599 ed2.0 (1999-03), TC/SC 10, Električna oprema impregnirana mineralnim uljem u radu - Vodič za tumačenje analize otopljenih i slobodnih plinova

Cigré TB783 – (Oct 2019) DGA Monitoring.

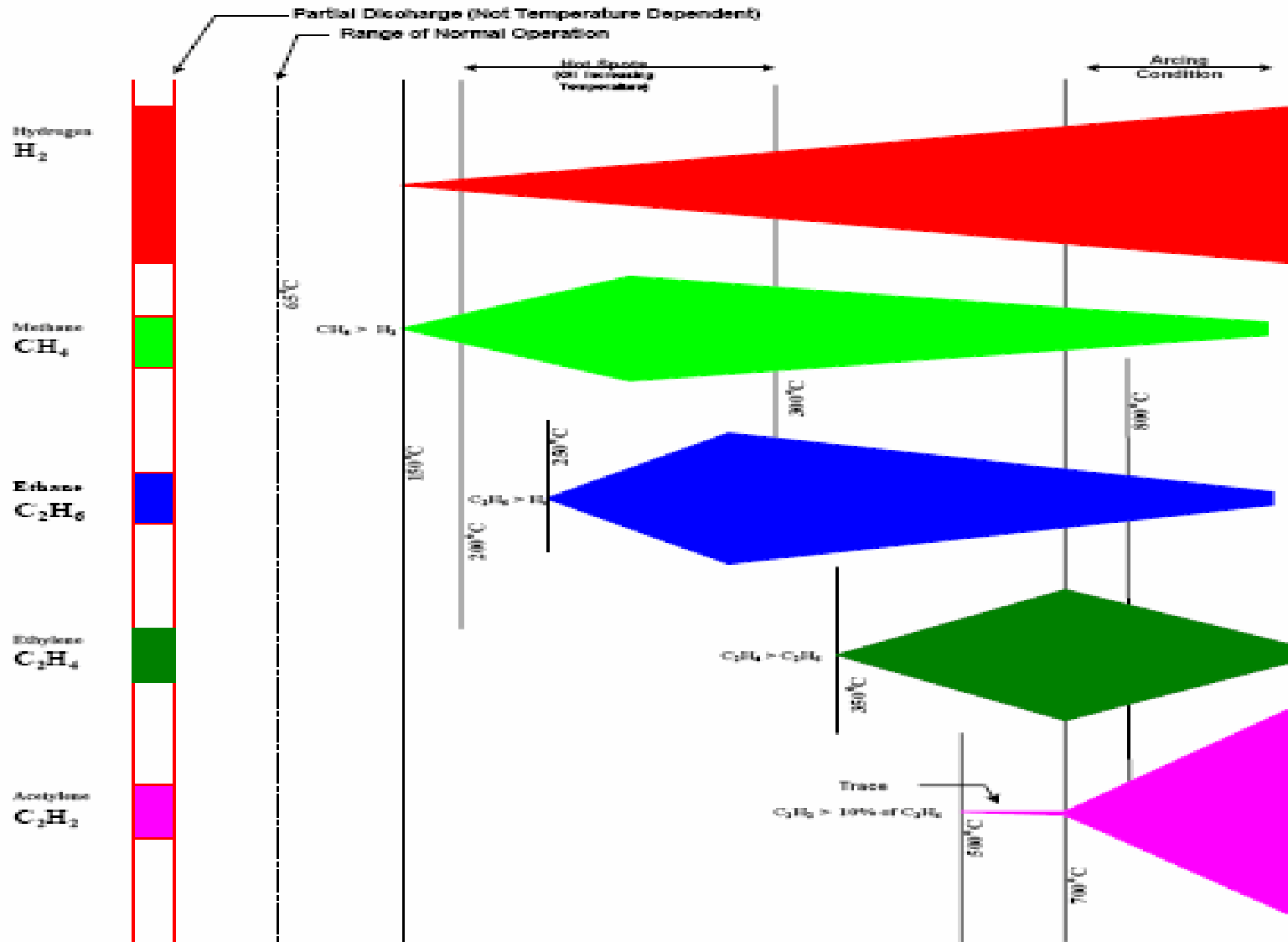
Različite vrste i tehnologije kontinuiranog nadzora plina otopljenog u ulju

Točnost kontinuiranog nadzora plinova otopljenih u ulju na tržištu

Postupak ocjenjivanja točnosti kontinuiranih nadzora plinova otopljenih u ulju



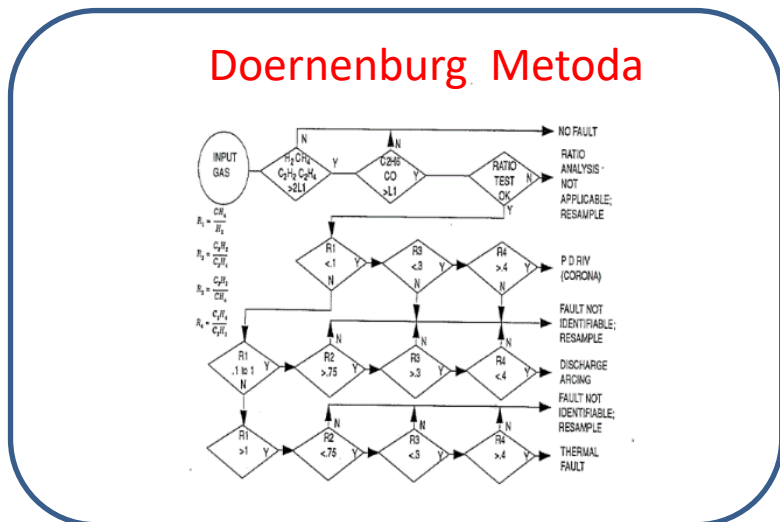
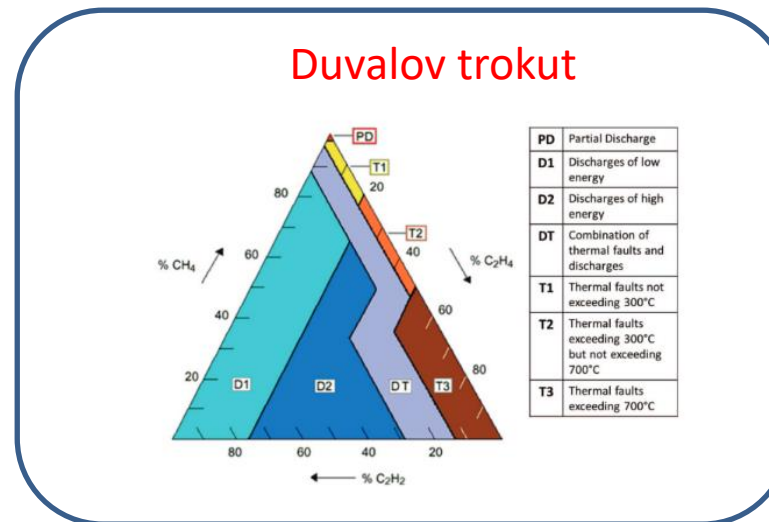
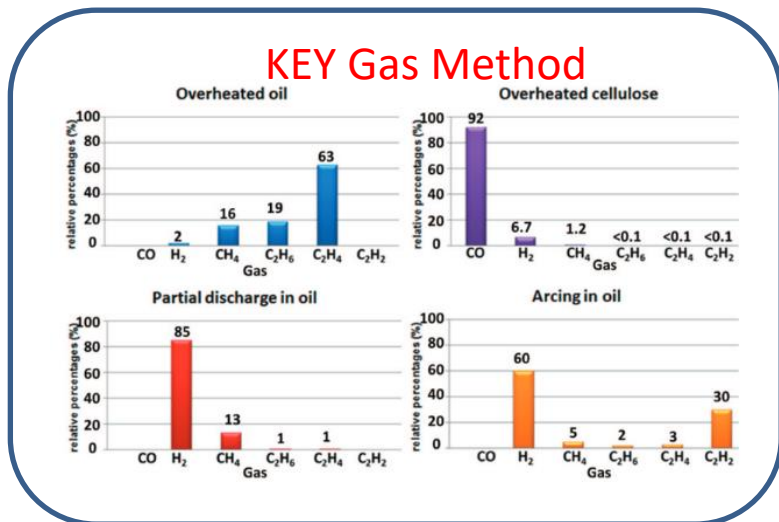
Combustible Gas Generation vs. Approximate Oil Decomposition Temperature



Razumijevanje kvarnih plinova

Gas Generation (Not to Scale) Approximate Oil Decomposition Temperature above 150°C

Točne metode identifikacije kvara - više plinova



Roger Ratios

Table 6
Rogers Ratios for Key Gases

Case	R2 C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄	R1 CH ₄ / H ₂	R5 C ₂ H ₆ / C ₂ H ₆	Suggested Fault Diagnosis
0	<0.1	>0.1 <1.0	<1.0	Unit normal
1	<0.1	<0.1	<1.0	Low-energy density arcing—PD (See NOTE)
2	0.1–3.0	0.1–1.0	>3.0	Arcing—High-energy discharge
3	<0.1	>0.1 <1.0	1.0 3.0	Low temperature thermal
4	<0.1	>1.0	1.0–3.0	Thermal <700 °C
5	<0.1	>1.0	>3.0	Thermal >700 °C

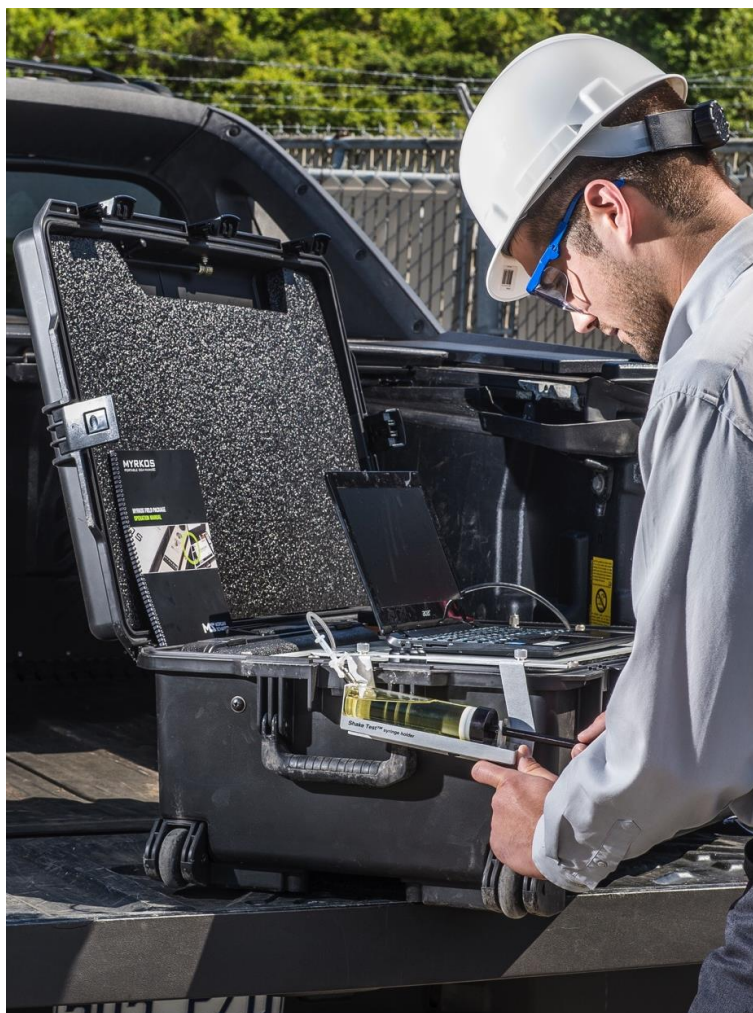
Osnovne vrste kvarova koje se mogu otkriti pomoću

Code **DGA** Kvar

PD	Parcijalna izbijanja tipa korona
D1	Nisko energetska izbijanja, uključujući PI svih tipova
D2	Visoko energetska izbijanja
T1	Termalni kvarovi $T < 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$
T2	Termalni kvarovi $300 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$
T3	Termalni kvarovi $T > 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$
DT	Miješano električko – termalni kvarovi

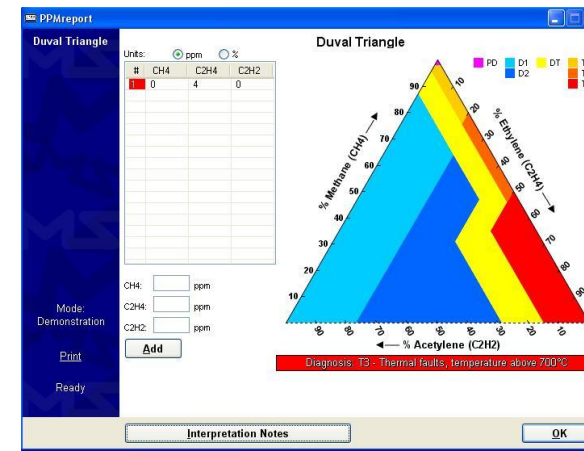
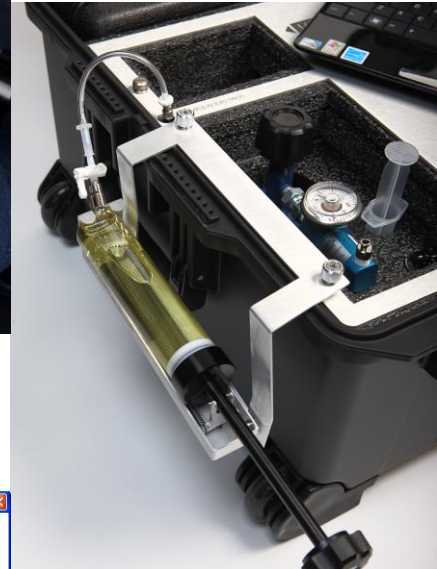
Analiza plinova otopljenih u ulju

Ispitivanje na terenu



Kako se ispituje ulje na plinove na terenu ?

- **Korak 1-Uzimanje uzorka:** Uzorak ulja uzet pomoću posebne šprice
- **Korak 2-Ekstrakcija:** Otopljeni plinovi se ekstrahiraju iz ulja pomoću Shake Test[®] metode
- **Korak 3-Kalibracija:** Kalibracija pomoću isporučenog plina sljedivog NIST-a osigurava pouzdanost rezultata
- **Korak 4-Odvajanje:** Ekstrahirani plinovi se ubrizgavaju u ispitni uređaj i odvajaju u kromatografskoj koloni
- **Korak 5-Detekcija i Analiza:** Svaki plin se identificira i unosi u kromatogram, koji se zatim analizira softverom



Ispitivanje ulja na napon – Probojni napon

Ispitivanje probojnog napona – je rašireno ispitivanje transformatorskog ulja, jer je primarni pokazatelj zdravstvenog stanja ulja i lako se može provesti na licu mjesta.

Ovo ispitivanje se provodi radi provjere dielektrične čvrstoće ulja transformatora. Dielektrična čvrstoća je maksimalni sposobnost izolacijskog ulja da izdrži povišeni napon.



Ispitivanje ulja na napon – Probojni napon

Ispitivanje probojnog napona – Ulje stavljamo u mali standardizirani držač - spremnik - i primjenjujemo napon s fiksnim razmakom između elektroda

U jednom trenutku (kako povećavamo napon između elektroda) ulje će postati vodljivo – između elektroda će doći do iskre

Prema IEC-u, minimalni napon proboja transformatorskog ulja ne bi trebao biti manji od 30 kV. PN transformatorskog ulja ne ovisi o nazivnom naponu transformatora. Minimalna vrijednost PN transformatora za 11 kV, 22 kV, 132 kV je ista.

Minimalni PN transformatorskog ulja je 30 kV, iako se često traži veća vrijednost



Ispitivanje ulja na napon – Probojni napon

In-service oil	Dielectric BD voltage		
Equipment voltage	Good	Fair	Poor
≥72.5 kV	>40 kV	30 - 40 kV	>30 kV
≥72.5 kV ≥170 kV	>50 kV	40 - 50 kV	>30 kV
>270 kV	>60 kV	50 - 60 kV	>50 kV

Ako su rezultati ispitivanja u "lošim" rasponu, ulje se mora rekondicioniranjem vratiti u dobro stanje. To bi, na primjer, moglo uključivati filtriranje i sušenje ulja.

IEC 60156 koristi prihvatljive vrijednosti koje su sadržane u dvije daljnje norme, IEC 60296 i IEC 60422.

Ispitivanje izolacije DC naponaom

Starija metoda

Danas radije koristimo TD što je AC testiranje

Ima smisla ispitivanje ET sa čvrstom izolacijom, dok ET s tekućom izolacijom neće imati ponovljive rezultate (ulje se kreće unutar ET)

Generiramo određeni napon (500 V, 2,5 kV ili 5 kV) za mjerenje onoga što se naziva polarizacijskim indeksom ili PI, što je omjer megohma nakon 10 minuta generacije podijeljen s megoomima nakon 1 minute generacije

$$PI = \frac{R_{10}}{R_1}$$

Gdje je:

PI – polarizacijski indeks

R_{10} – vrijednost izmjerenog otpora nakon 10 min

R_1 - vrijednost izmjerenog otpora nakon 1 min

Less than 1	Dangerous
10 – 1.1	Poor
1.1 – 1.25	Questionable
1.25 – 2.0	Fair

Ispitivanje izolacije DC naponaom

Dielectric Absorption Ratio (DAR)

Omjer megooma u 1 minuti podijeljen s megoomima u 30 sekundi.

Kada se izmjerena struja curenja stabilizira unutar 1 minute, operateri obično koriste DAR test.

Ako se to dogodi, 10-minutni PI test je beskorisan jer je omjer 1.

Vrijednosti za DAR i PI koje se obično koriste u literaturi i od strane proizvođača ispitne opreme za procjenu uvjeta izolacije su:

DAR	PI	Insulation Condition
< 1.25	1.0 - 2.0	Questionable
1.25 - 1.6	2.0 - 4.0	Good
> 1.6	> 4.0	Excellent

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

Gdje je:

DAR – Dielectric Absorption Ratio

R_{60} – vrijednost izmjerenog otpora nakon 60 sekundi

R_{30} - vrijednost izmjerenog otpora nakon 30 sekundi

Ispitivanje izolacije DC naponaom

Iako je ova struja mala i u miliamperima ili ponekad u mikroamperskom rasponu, ima četiri komponente.

Kapacitivna komponenta.

Vodljiva komponenta.

Komponenta površinskog curenja.

Komponenta polarizacije.

Kapacitivna komponenta

Kada primijenimo istosmjerni napon na izolator, zbog njegove dielektrične prirode, kroz njega će proći početna visoka struja punjenja. Ova struja opada eksponencijalno i nakon nekog vremena postaje nula. Ova struja postoji prvih 10 sekundi testa. Ali potrebno je gotovo 60 sekundi da se potpuno nestane

$$\text{DAR} = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

Gdje je:

DAR – Dielectric Absorption Ratio

R₆₀ – vrijednost izmjerenog otpora nakon 60 sekundi

R₃₀ - vrijednost izmjerenog otpora nakon 30 sekundi

Ispitivanje izolacije DC naponaom

Komponenta površinskog curenja

Zbog prašine, vlage i drugih onečišćenja na površini čvrstog izolatora postoji jedna mala komponenta struje koja teče kroz vanjsku površinu izolatora.

Vodljiva komponenta

Ova struja je čisto vodljive prirode, teče kroz izolator kao da je izolator čisto otporan. Ova struja je izravni tok elektrona. Svaki izolator ima ovu komponentu električne struje. Budući da, u praksi, svaki materijal u ovom svemiru ima neku vodljivu prirodu. Ova vodljiva struja ostaje konstantna tijekom ispitivanja.

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

Gdje je:

DAR – Dielectric Absorption Ratio

R₆₀ – vrijednost izmjerenog otpora nakon 60 sekundi

R₃₀ - vrijednost izmjerenog otpora nakon 30 sekundi

Ispitivanje izolacije DC naponaom

Komponenta polarizacije

Svaki izolator je higroskopne prirode. Neke molekule zagađivača koje uglavnom poput vlage u izolatoru vrlo su polarne. Kada se na izolator primjenjuje električno polje, polarne molekule se poravnaju duž smjera električnog polja. Energija potrebna za ovo poravnanje polarnih molekula dolazi iz izvora napona u obliku električne struje. Ova struja se naziva struja polarizacije. Nastavlja se sve dok se sve polarne molekule ne spoje duž smjera električnog polja. Potrebno je oko 10 minuta da se polarne molekule poravnaju duž električnog polja, i zato ako uzmemo ispitni rezultat za 10 minuta, ne bi bilo učinka polarizacije u ispitnom rezultatu.

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

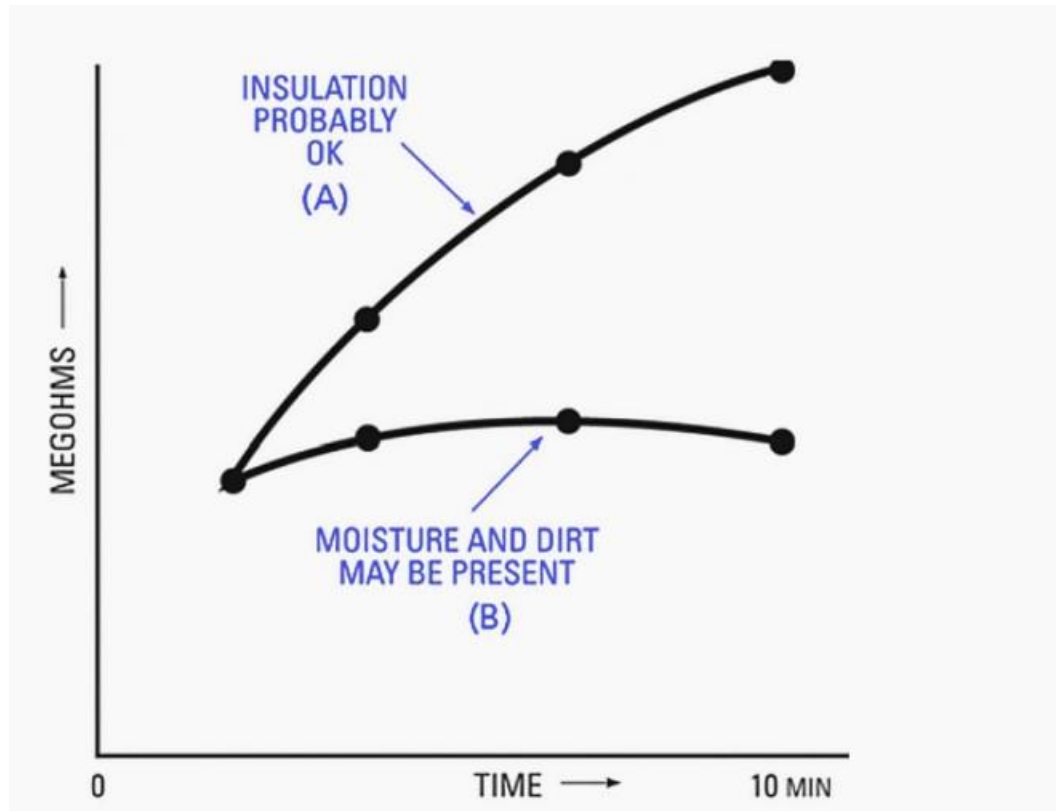
Gdje je:

DAR – Dielectric Absorption Ratio

R₆₀ – vrijednost izmjerenog otpora nakon 60 sekundi

R₃₀ - vrijednost izmjerenog otpora nakon 30 sekundi

Ispitivanje izolacije DC naponaom



$$\text{DAR} = \frac{R_{60}}{R_{30}}$$

Gdje je:

DAR – Dielectric Absorption Ratio

R_{60} – vrijednost izmjerenog otpora nakon 60 sekundi

R_{30} – vrijednost izmjerenog otpora nakon 30 sekundi

ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Hvala Vam na pažnji 😊

Andrej Sepcic
RSM
asepcic@doble.com