Diagnostika a zkušebnictví

Technická diagnostika

Diagnostika izolačních systémů elektrických strojů

Izolační systém → z hlediska spolehlivosti je nejslabším místem

Spolehlivost → je pravděpodobnost, že v daném časovém úseku a za daných podmínek zařízení pracuje stanoveným způsobem

Na volbu diagnostické metody má vliv:

- nároky na přerušení provozu

- bezpečnost metody s ohledem na ohrožení stroje
  (nedestruktivní, destruktivní)

- výpovědischopnost metody
  (snaha o určení zbytkové doby života stroje)

Podmínky při diagnostických měřeních

Před vlastním měřením:

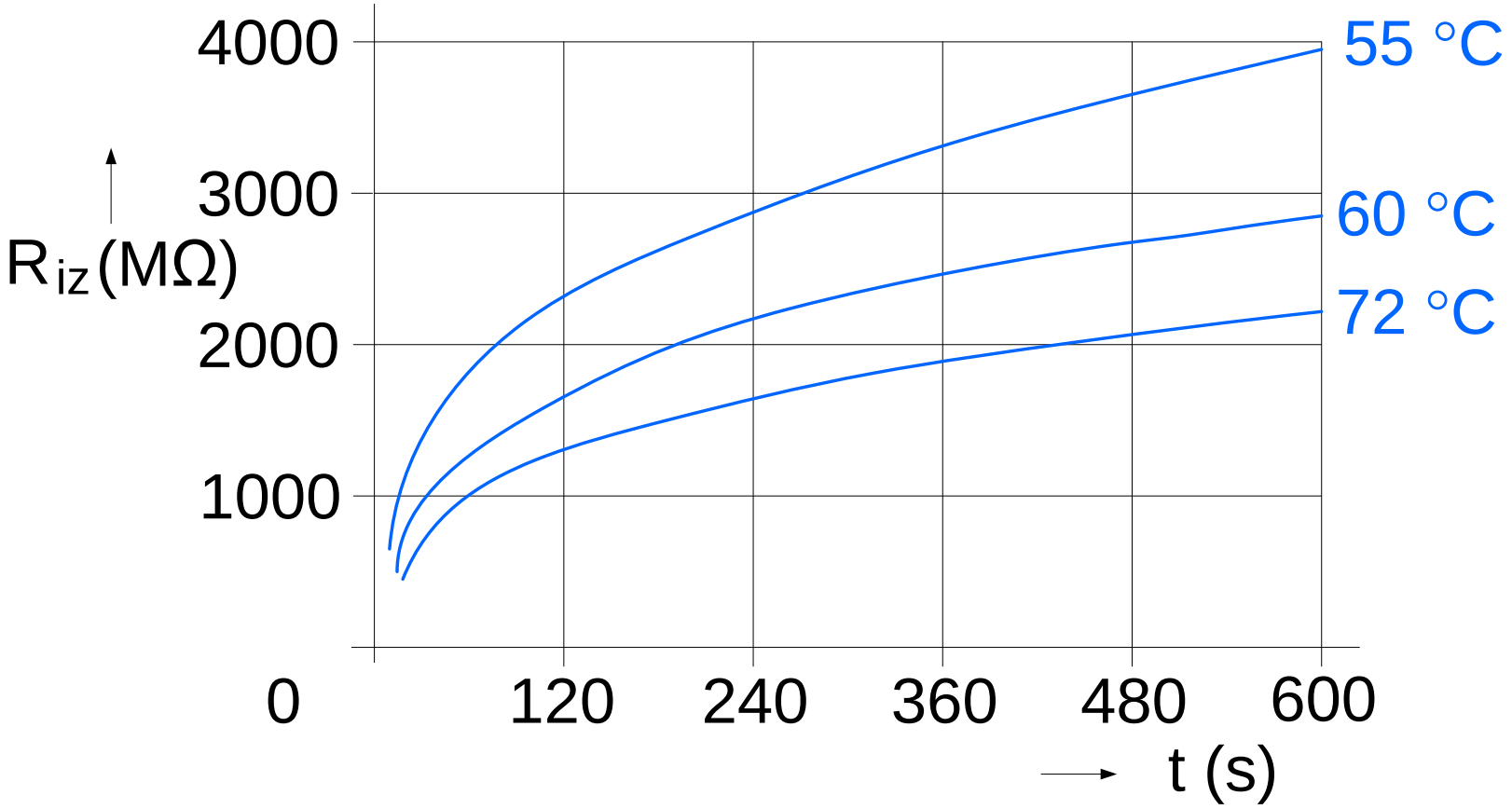
Předkondicionování - odstranění minulých vlivů

Kondicionování - vystavení vzorku působení okolního prostředí

Vlastní zkušební podmínky

- 20 ºC; 101,3 kPa; r.v. 65 %

Teplota vinutí při měření



Přepočet výsledků na referenční teplotu je problematický

Měří se při teplotě 25 ± 5 °C

Existuje množství diagnostických metod

Ty jsou užívány pro posouzení izolačních systémů převážně pro

a) Elektrické stroje točivé (motory, generátory)
b) Elektrické stroje netočivé (transformátory, tlumivky)
c) Průchodkové izolátory
d) Izolační oleje

Některé metody jsou společné pro všechny systémy.

a) Statorová izolace generátorů

Namáhání je: Elektrické, mechanické, tepelné i chemické.

Diagnostika se provádí:

- před uvedením do provozu (výchozí údaje)
- po půl roce provozu (asi 3000 hodin probíhá dotvrzování)
- po 2 až 3 letech (interval oprav)

Měření je třeba opakovat vždy při podobných podmínkách.

Izolační soustavy

- termoplastická (slídová páska spojená asfaltem + nažehlená mikafóliová trubka)

- reaktoplastická (páska Relanex, pojivem je umělá pryskyřice)

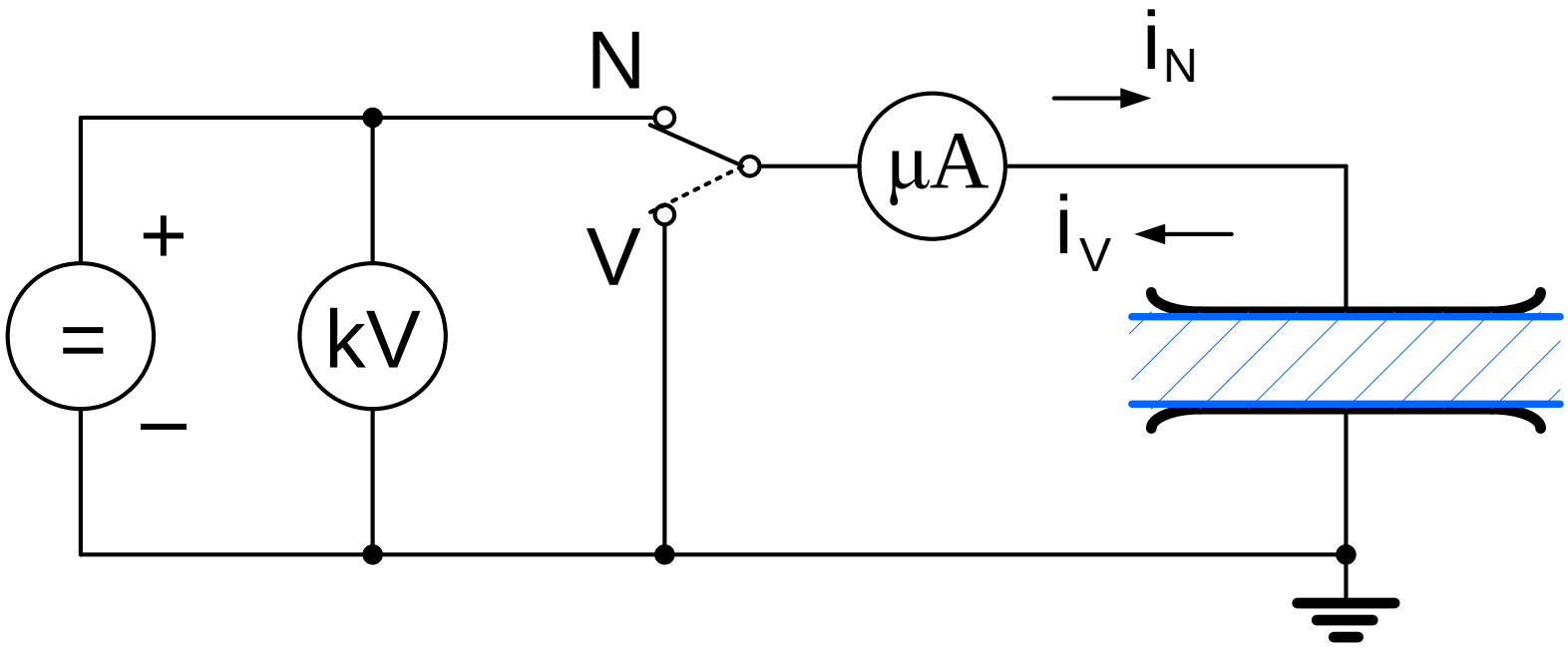
Chlazení generátorů - vodou nebo vodíkem

Před měřením se voda musí vypustit a chladicí okruh zbavit vlhkosti. Provádí se stlačeným vzduchem, příp. propláchnutím lihovou směsí. Sušení trvá 10 hodin i více.

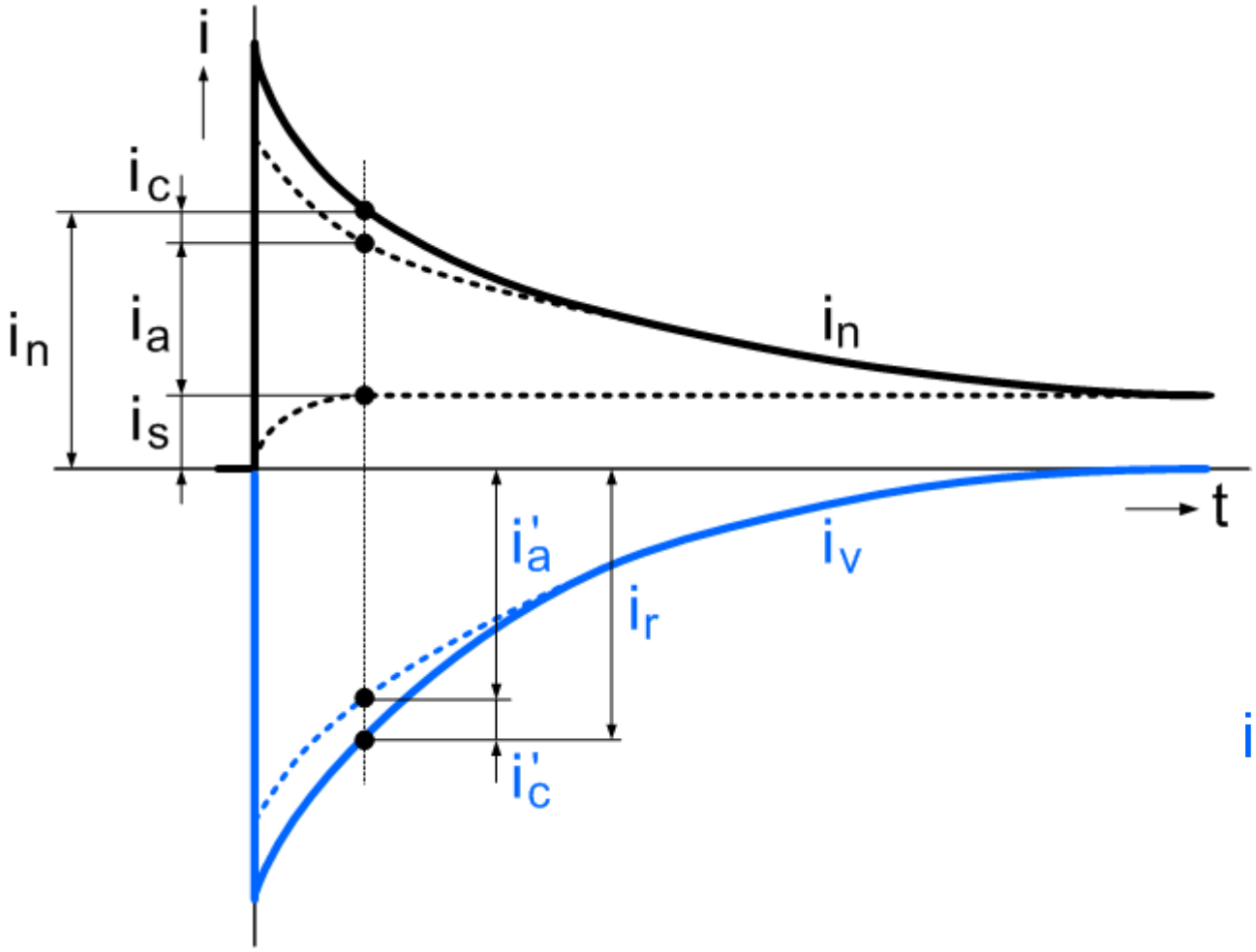
Proudové charakteristiky

(využití dielektrické absorpce)

i = f (U, t, stav izolace)



Proudy při nabíjení a vybíjení izolace



i_s → svodový

i_a → absorpční

i_c → kapacitní

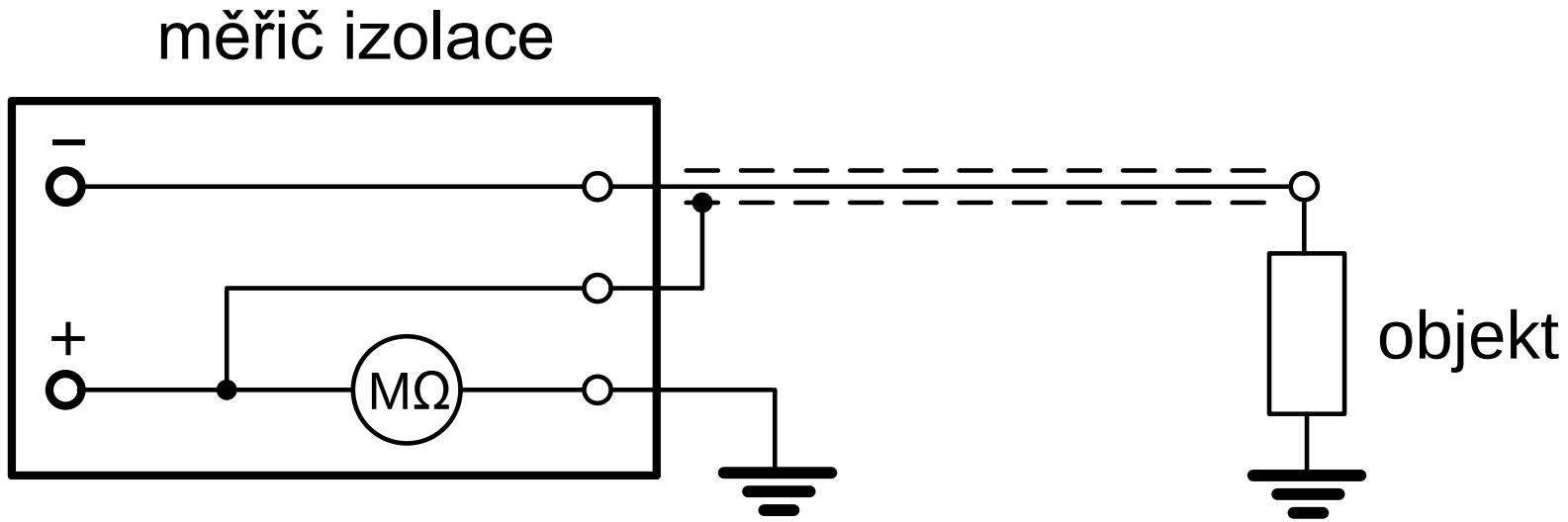
i_r → resorpční

Z časového průběhu absopčního proudu jsou odvozeny veličiny vypovídající o stavu izolace.

Izolační odpor a polarizační index

Měřič izolace do 5 kV s miliampérmetrem

- před měřením konce vinutí všech fází na 30 minut uzemnit
- vliv proudů procházejících parazitními impedancemi přívodu je třeba eliminovat



Zdánlivý izolační odpor R_{iz}

$$R_{iz\,60''} = \frac{U_m}{I_{n(1')}} \qquad (M\Omega; V, \mu A)$$

$$\left(R_{iz\,15}\,,\; R_{iz\,60}\,,\; R_{iz\,600}\right)$$

Turbogenerátor (reaktoplastická izolace): $R_{iz\,600} \geq 800 M\Omega$

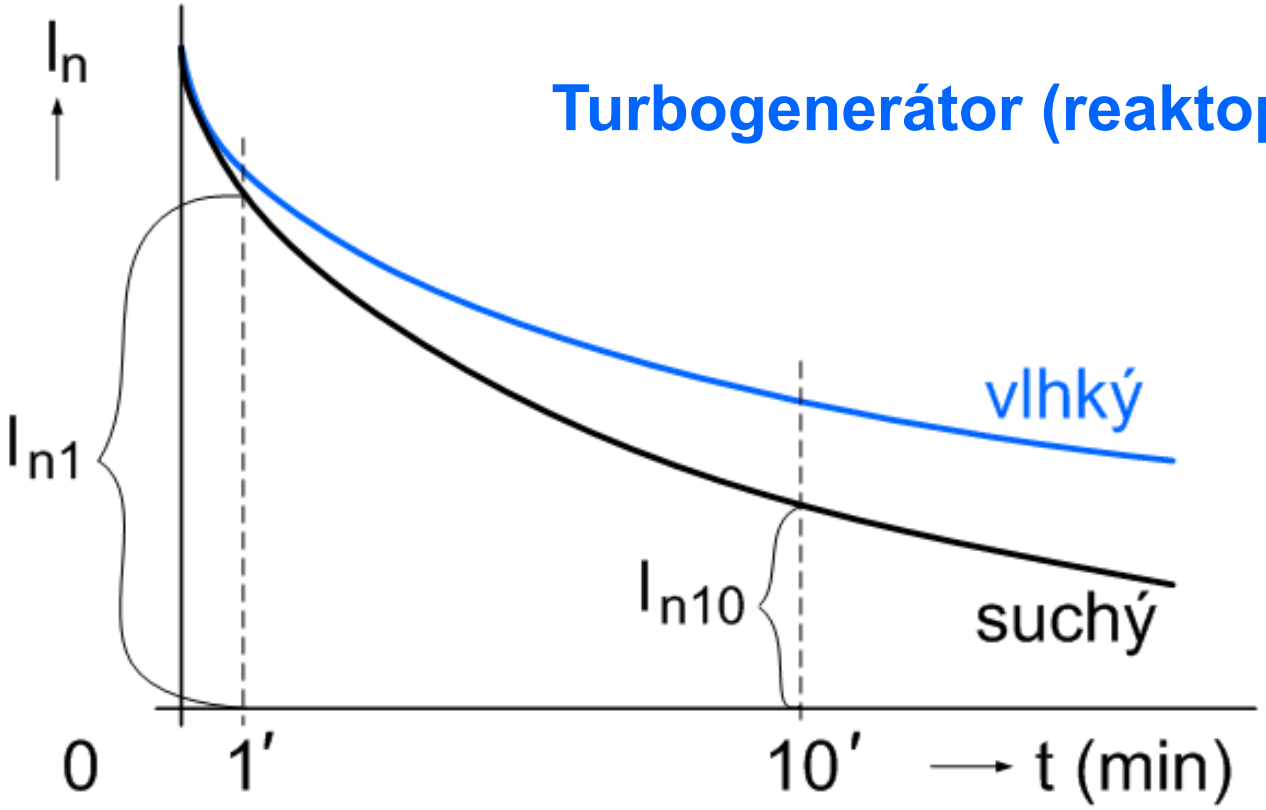
Skutečný izolační odpor R_{is}

$$R_{is} = \frac{U_m}{I_s} \qquad (M\Omega; V, \mu A)\ \text{, kde} \qquad I_s = I_{n(20)} - I_{v(20)}$$

Odpovídá jen svodovému proudu bez polarizační složky.

Polarizační index

$$p_{i1} = \frac{R_{iz\,60}}{R_{iz\,15}} \qquad p_{i10} = \frac{R_{iz\,600}}{R_{iz\,60}} = \frac{I_{n1}}{I_{n10}}$$



Turbogenerátor (reaktoplastická izolace):

p_{i1} :

do 1,5	
1,5 - 2,5	
2,5 - 4,0	
nad 4,0	

p_{i10} suchý > p_{i10} vlhký

Měření ztrátového činitele a kapacity

- Z Amperova zákona je je proudová hustota:
  - $J = \sigma E + \frac{\partial D}{\partial t}$
- Pro harmonický ustálený stav
  - $E = E_m e^{-i\omega t}$
  - $\frac{\partial E}{\partial t} = i\omega E_m e^{-i\omega t} = i\omega E$
- Proudovou hustotu lze pak vyjádřit jako:

$$I = (\sigma + i\omega\varepsilon)E$$

Měření ztrátového činitele a kapacity

- Permitivita může být vyjádřena pomocí komplexního čísla jako:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_r - i\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0} = \varepsilon' - i\varepsilon''$$

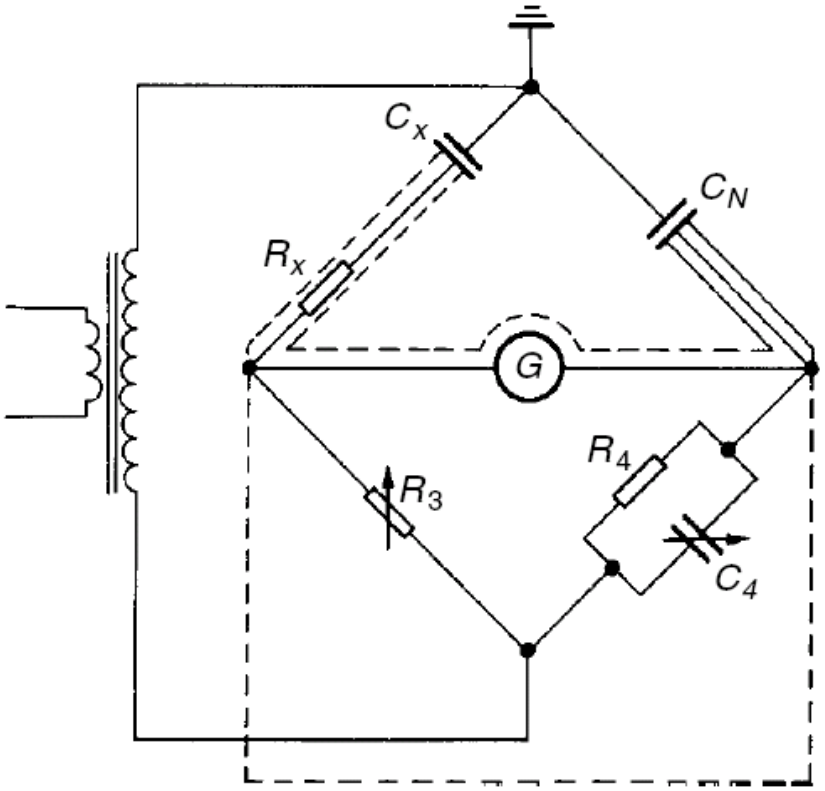
- Pak proudovou hustotu můžeme vzjádřit jako:

$$J = i\omega\varepsilon_0\varepsilon^*$$

- Ztátový činitel je pak

Scheringův můstek

- $Z_1 I_1 = Z_2 I_2$
- $Z_3 I_1 = Z_4 I_2$
- $\frac{Z_1}{Z_3} = \frac{Z_2}{Z_4}$
- $Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C}$
- $Z_2 = \frac{1}{j\omega C_N}$
- $Z_3 = R_3$
- $Z_4 = \frac{R_4(\frac{1}{j\omega C_4})}{R_4 + \frac{1}{j\omega C_4}}$



Scheringův můstek

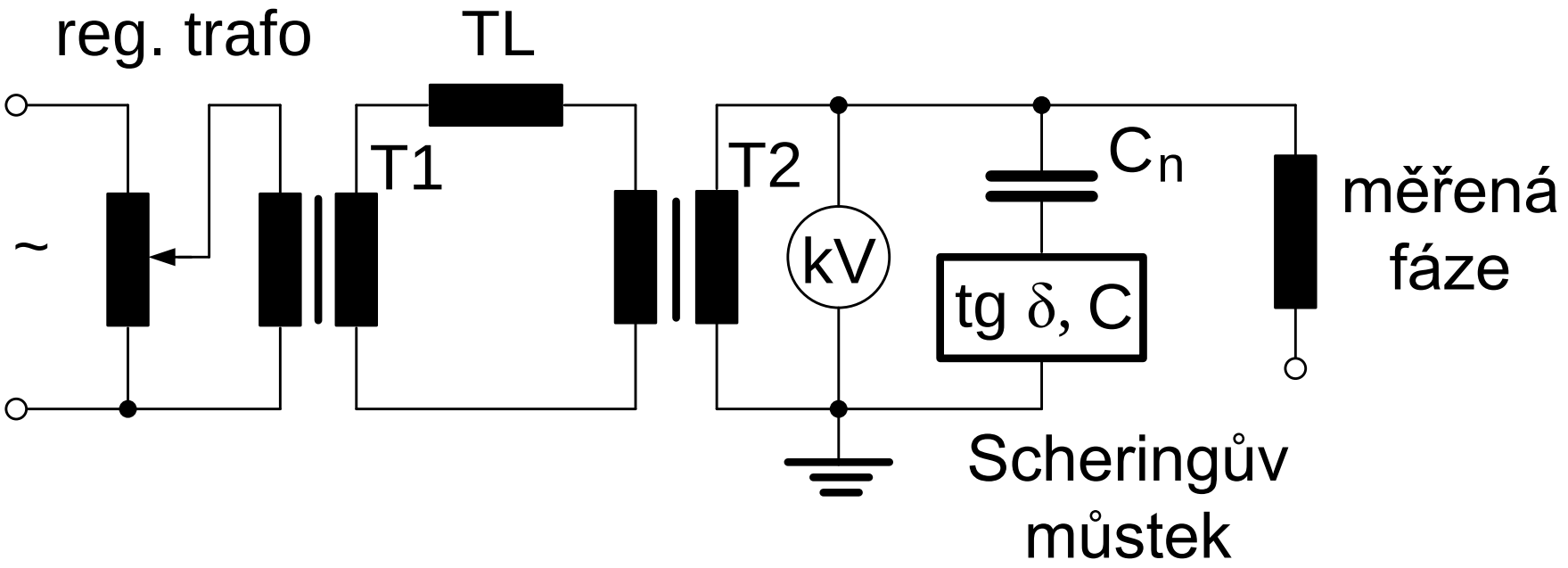
- Po úpravách a separaci reálné a imafinární části v předchozím výrazu můžeme pro měřenou kapacitu C_x a tan δ psát:

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3}$$

$$R_x = R_3 \frac{C_4}{C_N}$$

$$tg\ \delta = \omega C_x R_x = \omega C_4 R_4$$

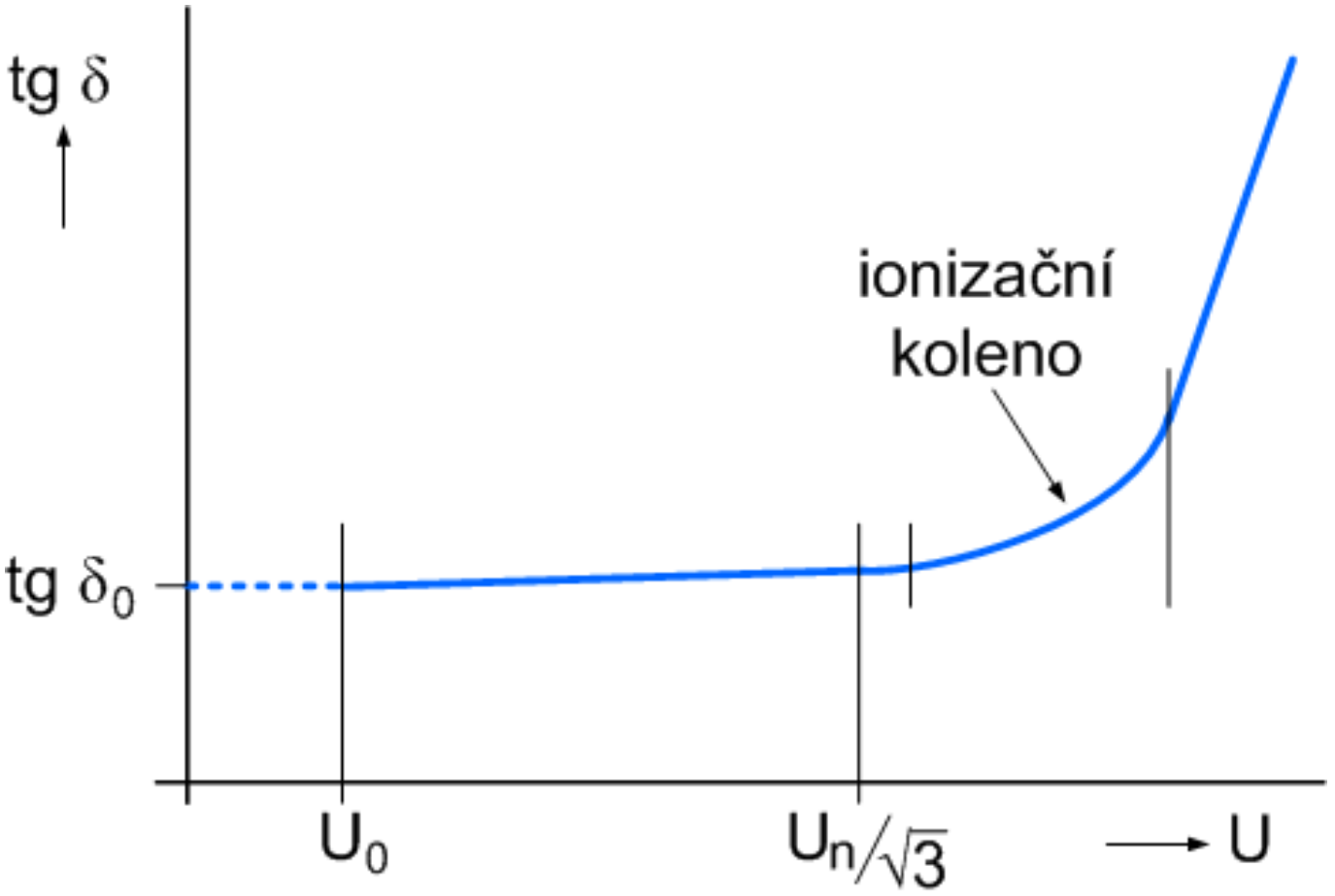
Ztrátový činitel a kapacita



Proměřuje se napěťová závislost ztrátového činitele a kapacity v intervalu (0,2 – 1,0) U_N u všech fází stroje. Napětí se zvyšuje po 0,2 U_N .

Kapacita se udává v μF a ztrátový činitel je bezrozměrné číslo.

Závislost ztrátového činitele na napětí



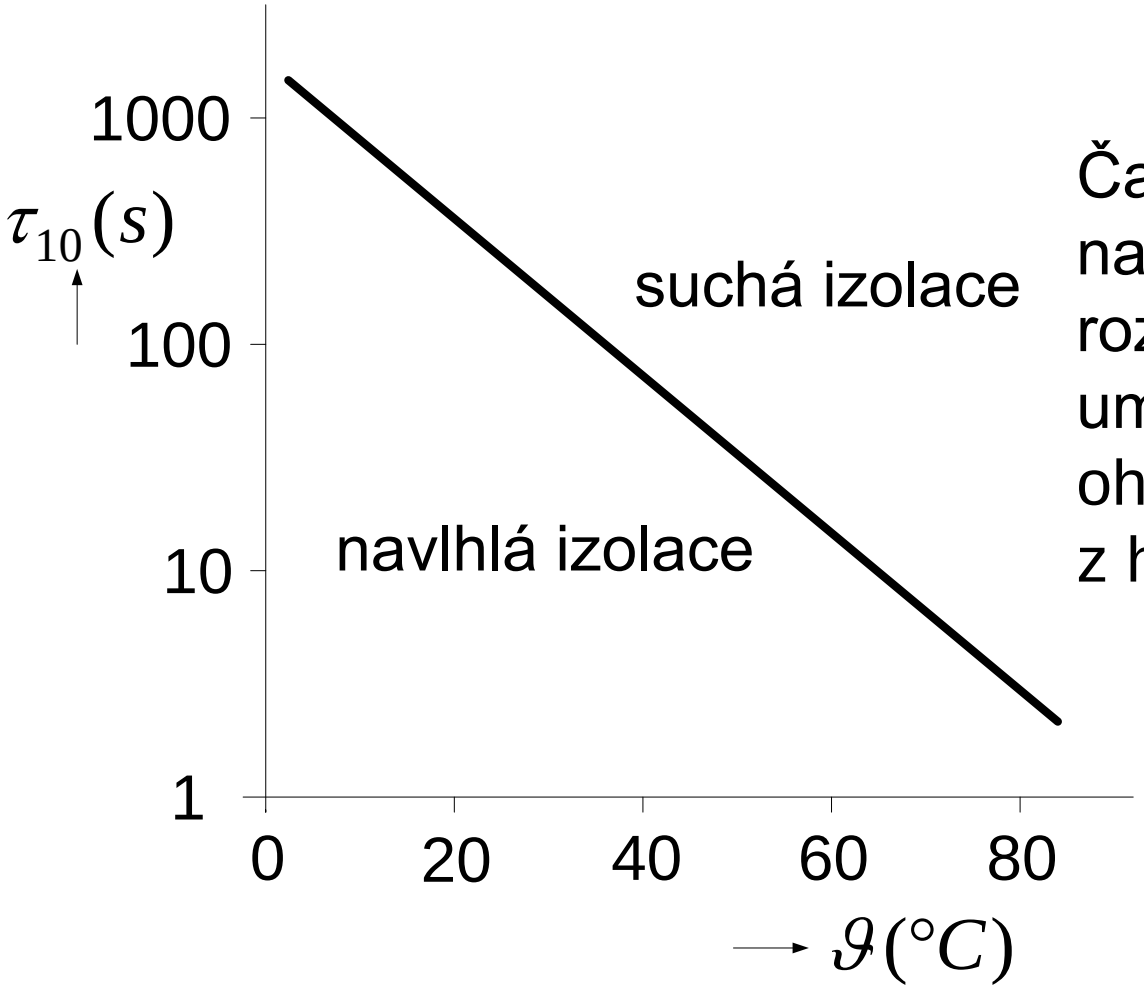
Turbogenerátor (reaktoplastická izolace):

$$tg\delta_{U_n} \leq 0{,}02, \quad tg\delta_{0{,}2U_n} \leq 0{,}01$$

Časová konstanta izolace

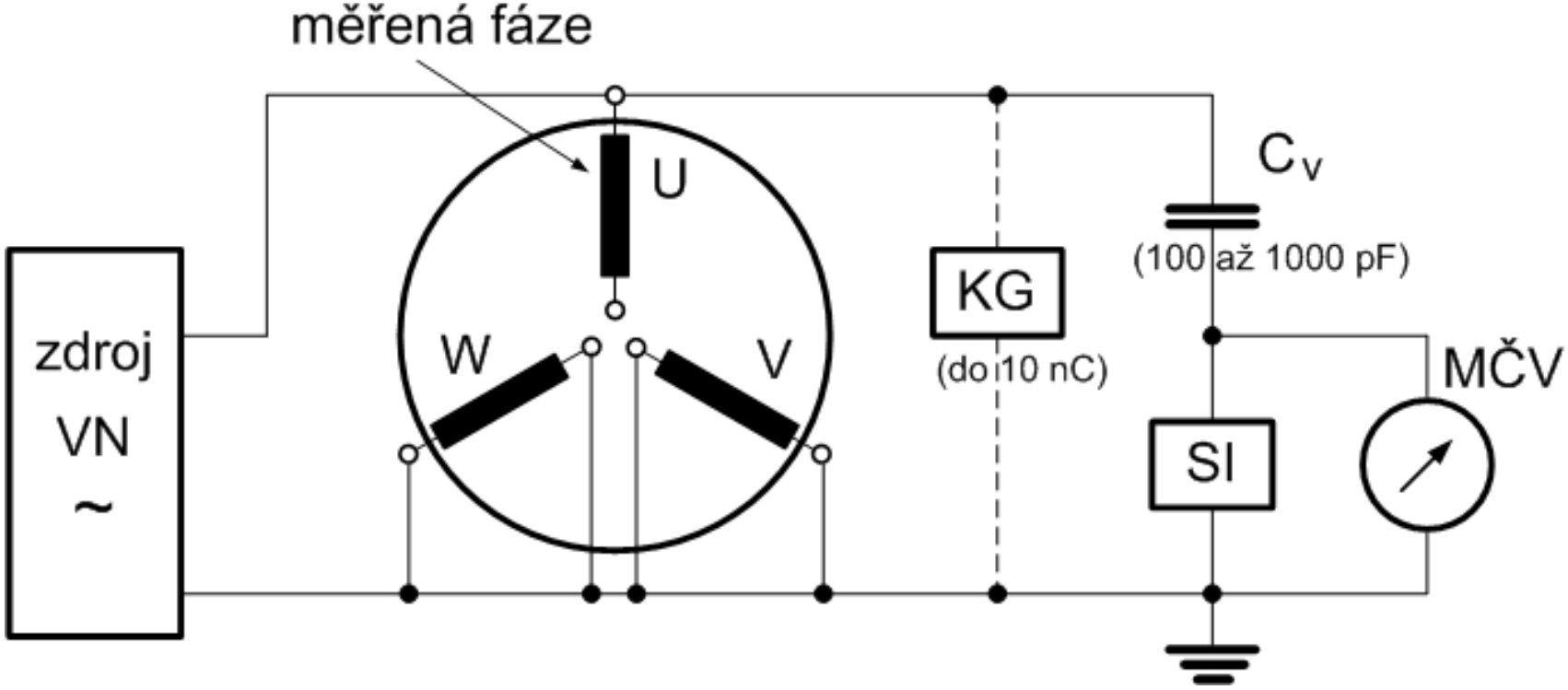
$$\tau_{10} = R_{iz\,600} \cdot C_{50} \quad (s;\ M\Omega,\ \mu F)$$

Minimál. hodnoty $\tau_{10} = f(\vartheta)$



Časová konstanta nezávisí na geometrických rozměrech izolace, a proto umožňuje srovnání bez ohledu na U, P a typ stroje z hlediska navlhnutí.

Částečné výboje v izolaci statorového vinutí



Turbogenerátor (reaktoplastická izolace):

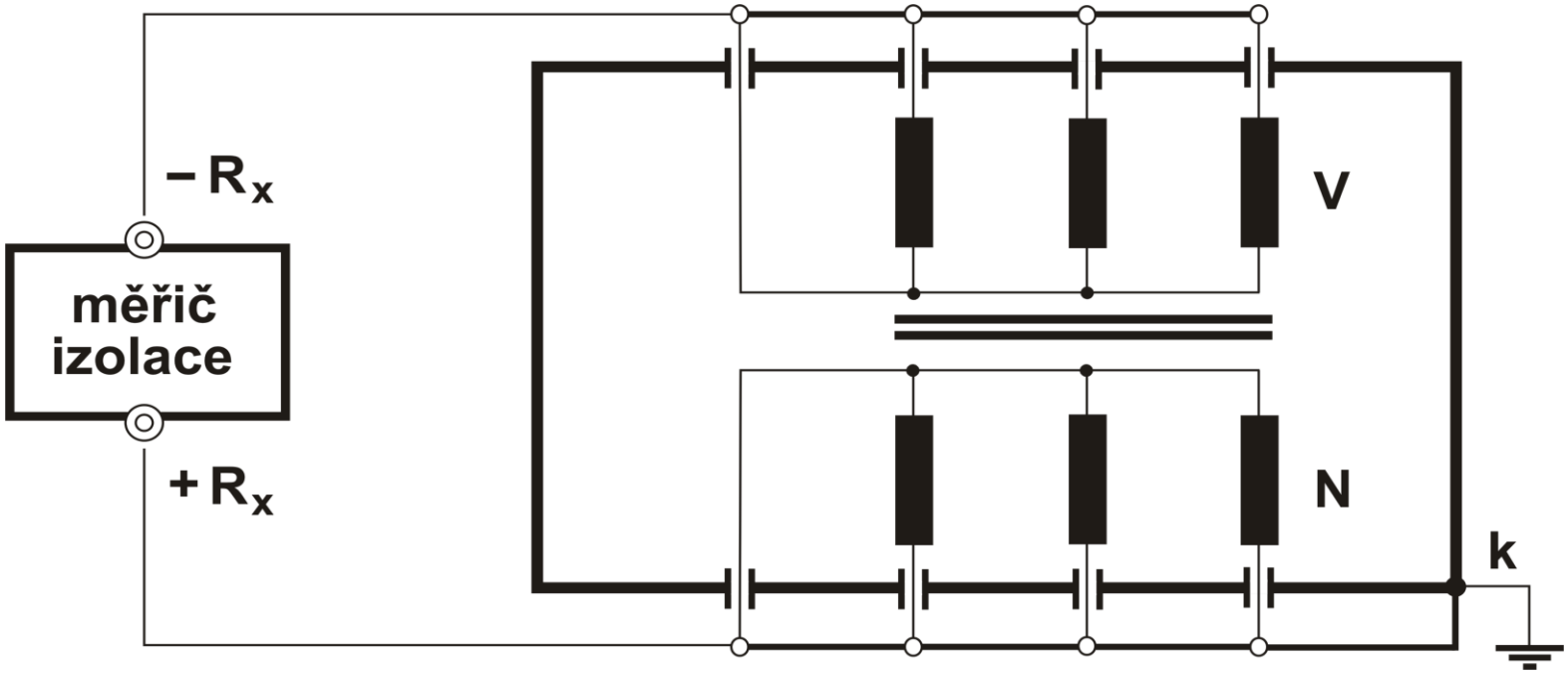
$$Q \leq 10.000\ pC \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$10.000\ pC < Q \leq 30.000\ pC \rightarrow \text{vyhovuje (1/2 interval)}$$

$$30.000\ pC < Q \leq 60.000\ pC \rightarrow \text{vyhovuje (měř. po 1 roce)}$$

$$Q > 60.000\ pC \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

b) Diagnostika výkonových transformátorů
Zdánlivý izolační odpor R_{iz}



Měření R_{iz} u dvouvinuťového stroje v zapojení V:(N + k)

Měření v zapojeních:

2 vinutí - V:(N+k), N:(V+k) a nepovinné (V+N):k

3 vinutí - V:(S+N+k), S:(V+N+k), N:(V+S+k) a nepovinné (V+S+N):k, (V+S):(N+k)

R_{iz} (MΩ) > U_n (kV) → pro trafa 220 a 400 kV

Měření odporu vinutí

Používá se pro přesné stanovení teploty vinutí transformátoru.
Odpor se měří Ohmovou metodou (pro měření malých odporů).

Teplota vinutí se pak vypočte:

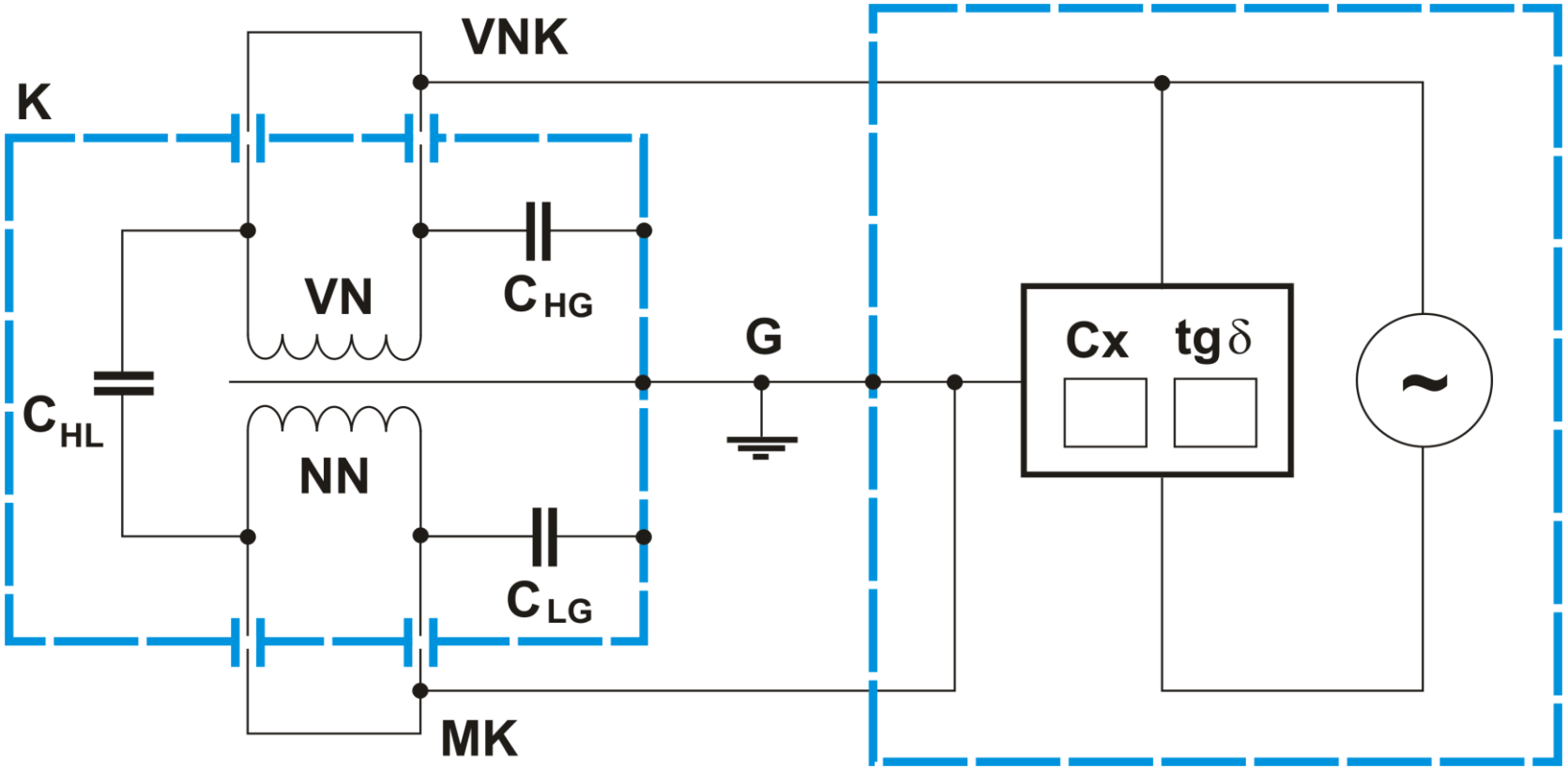
$$t_x = \frac{R_x}{R_0}(t_0 + 235) - 235 \quad (°C; \Omega, \Omega, °C)$$

t_x - *neznámá teplota*

R_x - *odpor vinutí změřený při neznámé teplotě*

R_0 , t_0 - *odpor vinutí změřený při známé teplotě (údaj výrobce)*

Ztrátový činitel a kapacita



Mezní hodnoty tgδ pro stroje v provozu: do 70 kV . . . 0,08

110 kV . . . 0,04

220, 400 kV . . . 0,03

Hodnoty kapacity nejsou normovány.

Zjišťování veličiny C_2/C_{50}

Metoda pro zjišťování míry navlhnutí izolace transformátorů plněných olejem.

C_2 → kapacita měřená při frekvenci 2 Hz

C_{50} → kapacita měřená při frekvenci 50 Hz

Metoda využívá závislosti relativní permitivity na frekvenci

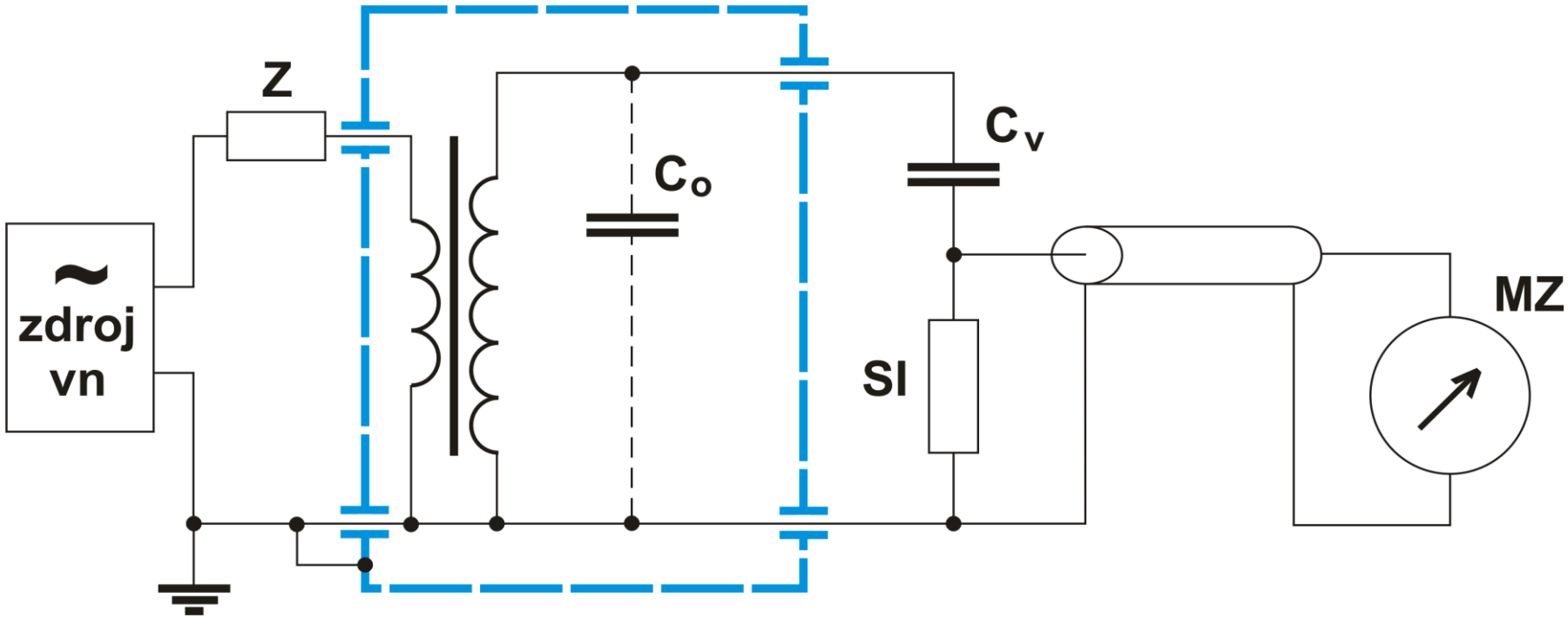
(souvisí s polarizací dielektrik)

Kapacita suché izolace je v závislosti na frekvenci téměř konstantní.

U vlhké izolace se kapacita zmenšuje s rostoucí frekvencí.

Mezní hodnota poměru C_2/C_{50} při teplotě 30 ºC se udává 1,3.

Měření částečných výbojů



Měřené veličiny:

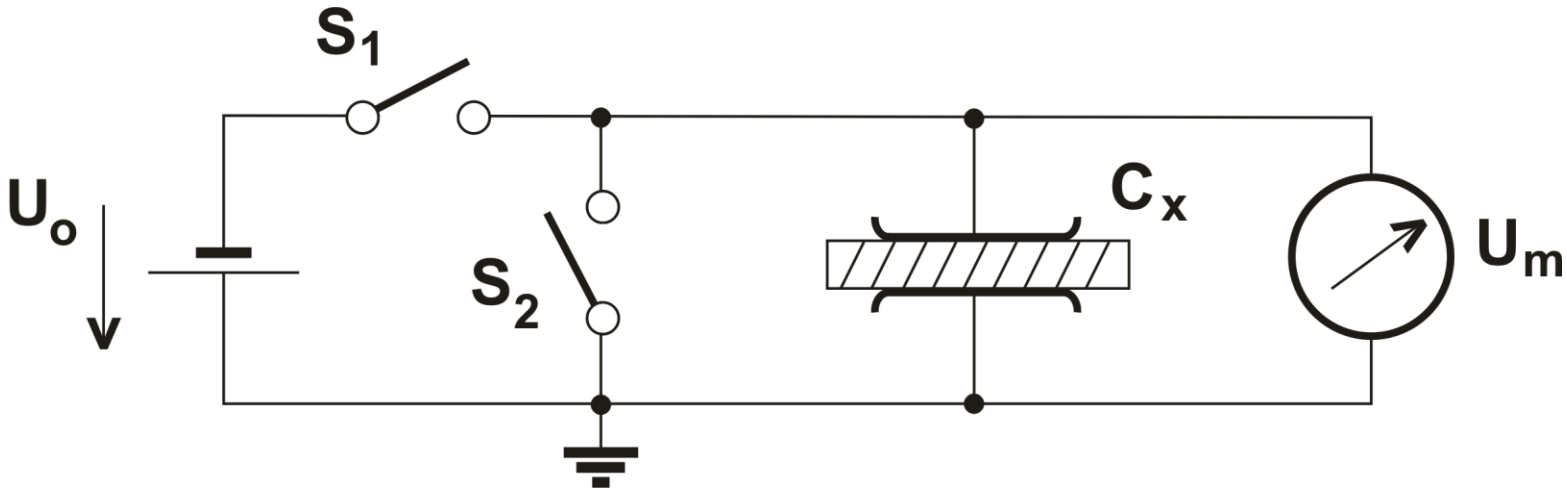
zdánlivý náboj q (pC)

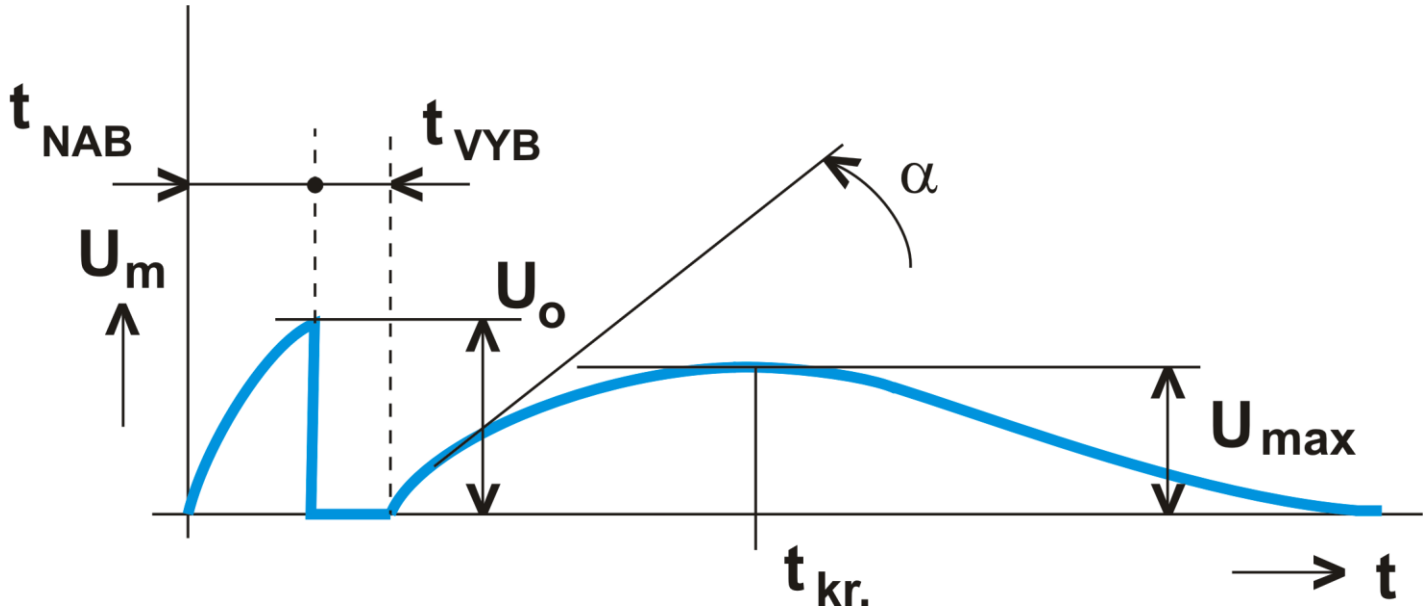
celkový náboj Q (pC)

počáteční napětí U_i (V)

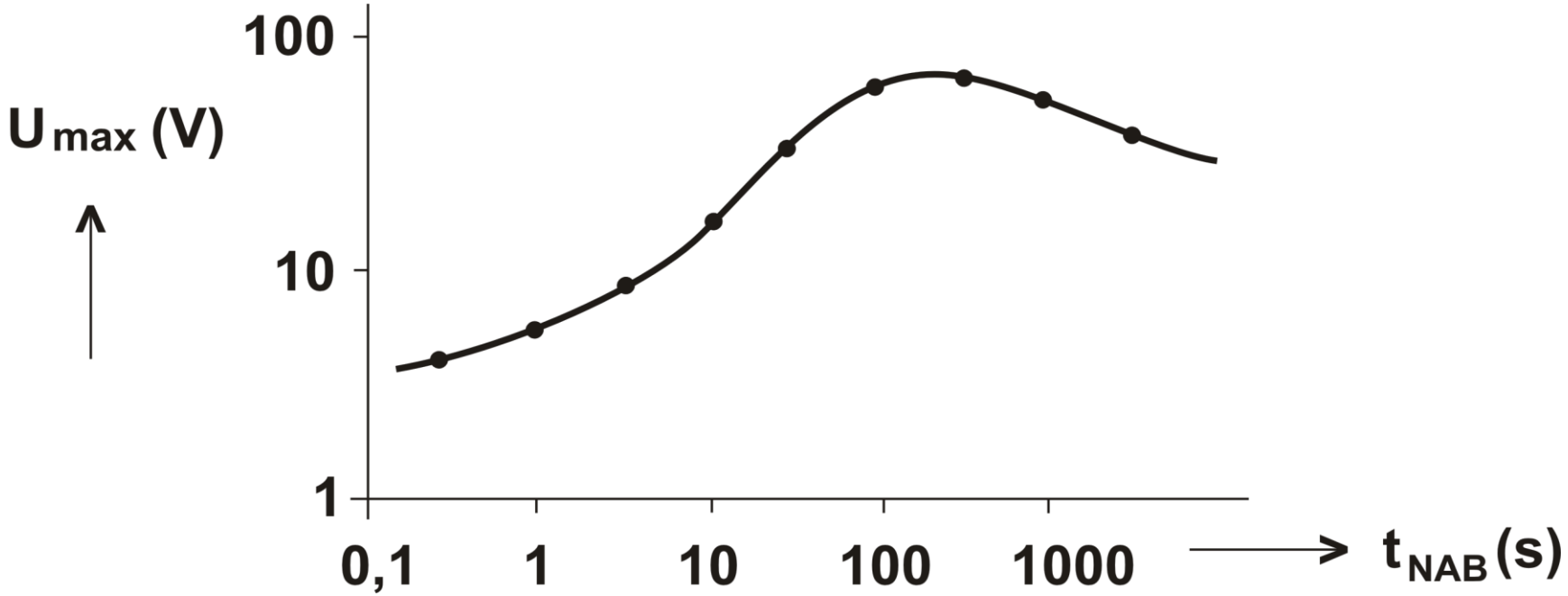
zhášecí napětí U_e(V)

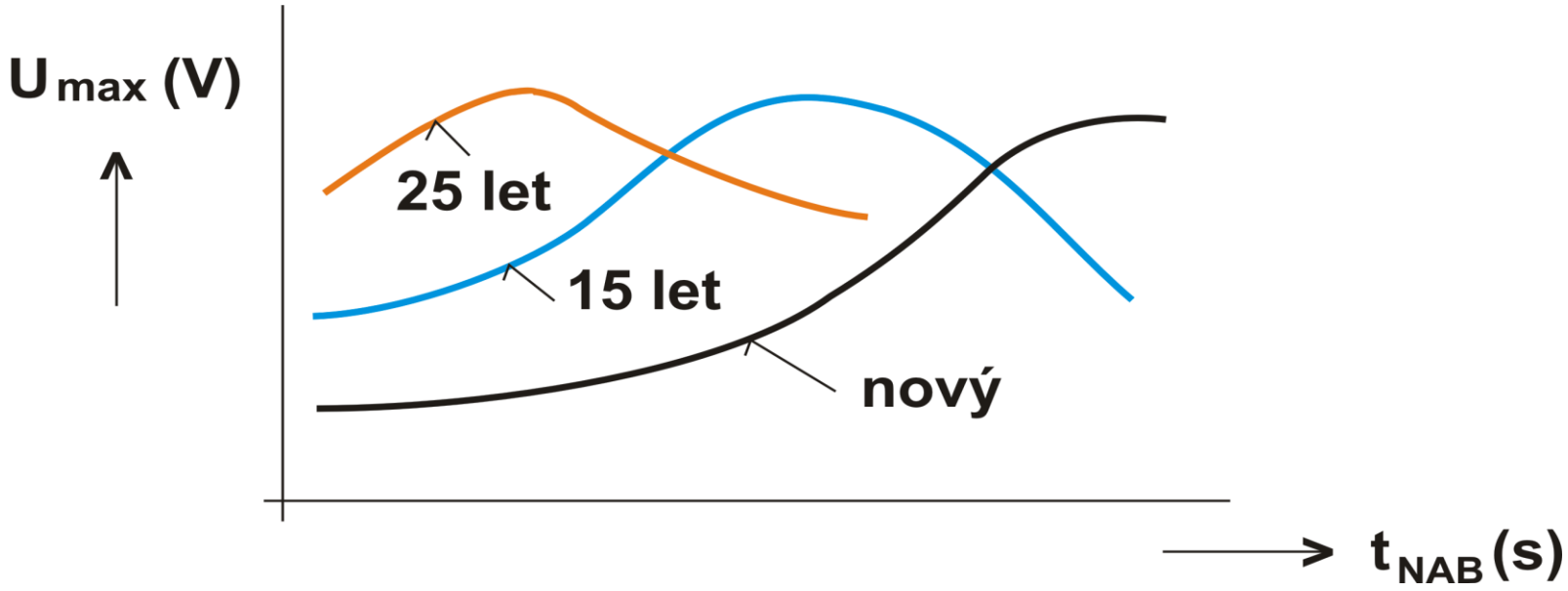
Metoda zotaveného napětí





$U_0 = 2\ kV_{ss}$; $t_{nab}/t_{vyb} = 2$; $t_{nab} = 0{,}02$ až 10000 s

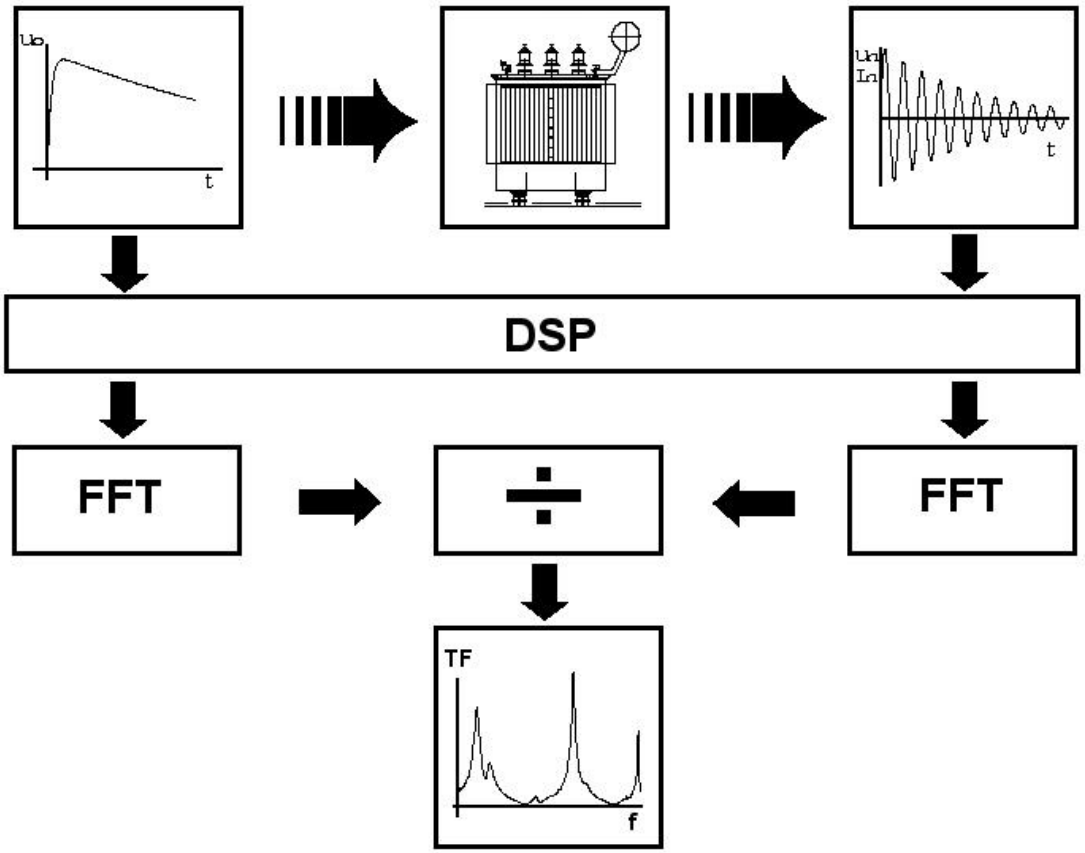

100
10
1
U_{max} (V)
0,1
1
10
100
1000
t_{NAB} (s)


U_{max} (V)
25 let
15 let
nový
t_{NAB} (s)

Metody pro detekci poruch vinutí transformátorů

Základem je měření přenosové funkce stroje a porovnání změřeného průběhu před a po poruše.

Metoda nízkonapěťových impulsů



Metoda frekvenčních charakteristik (SFRA)

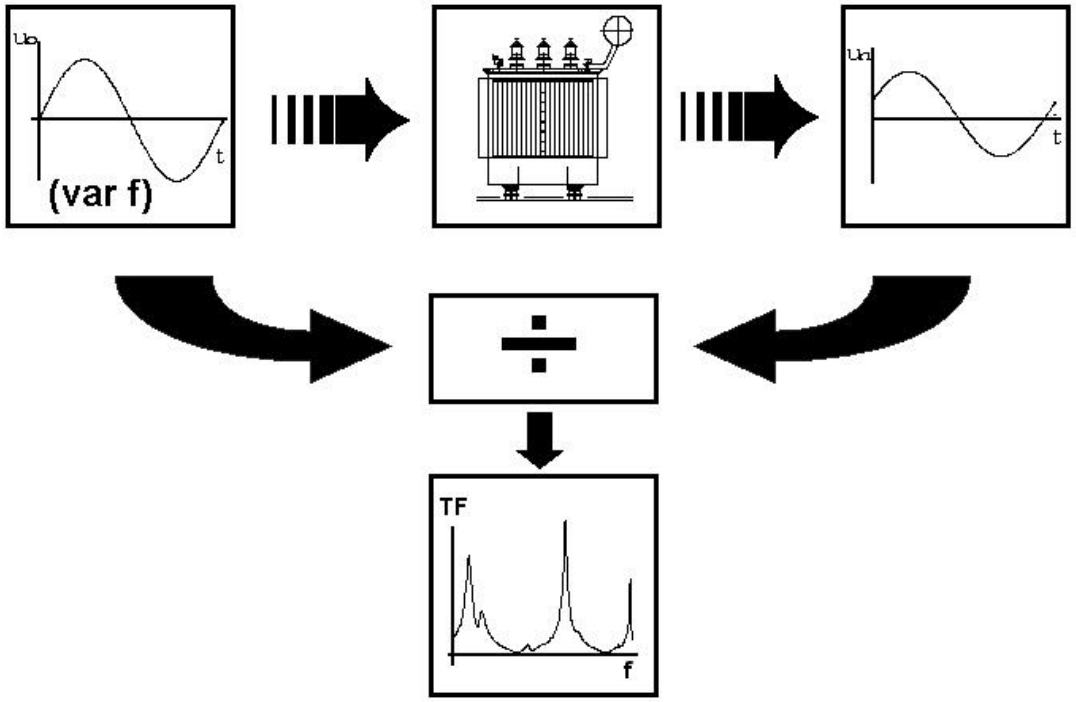
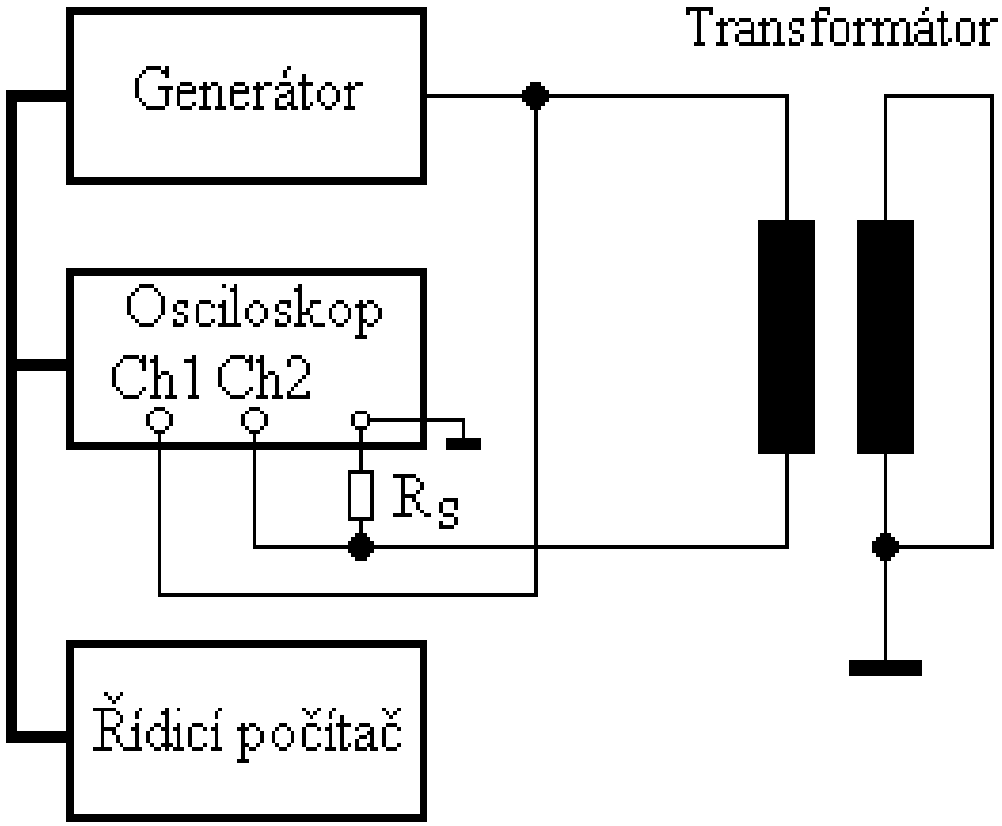
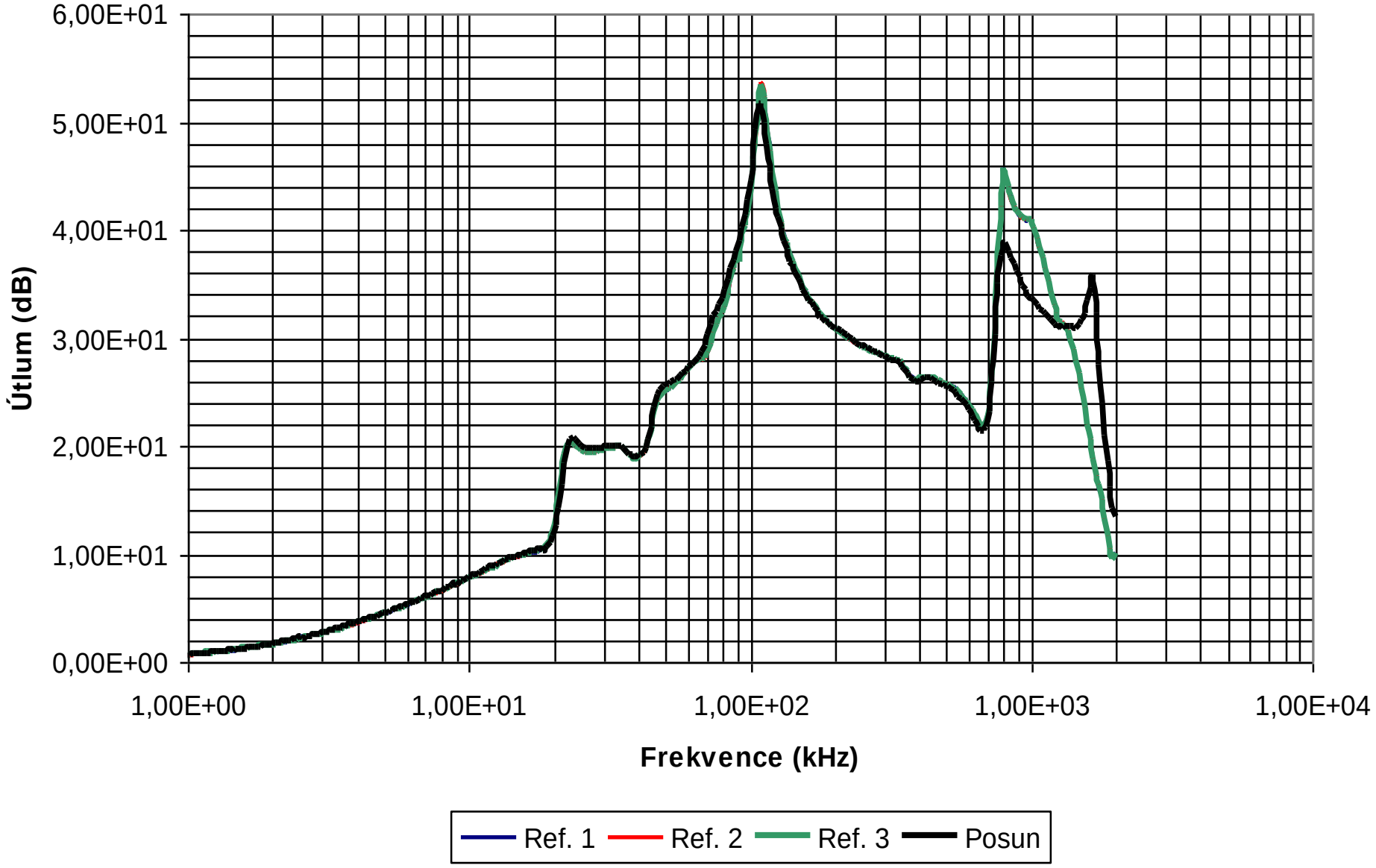


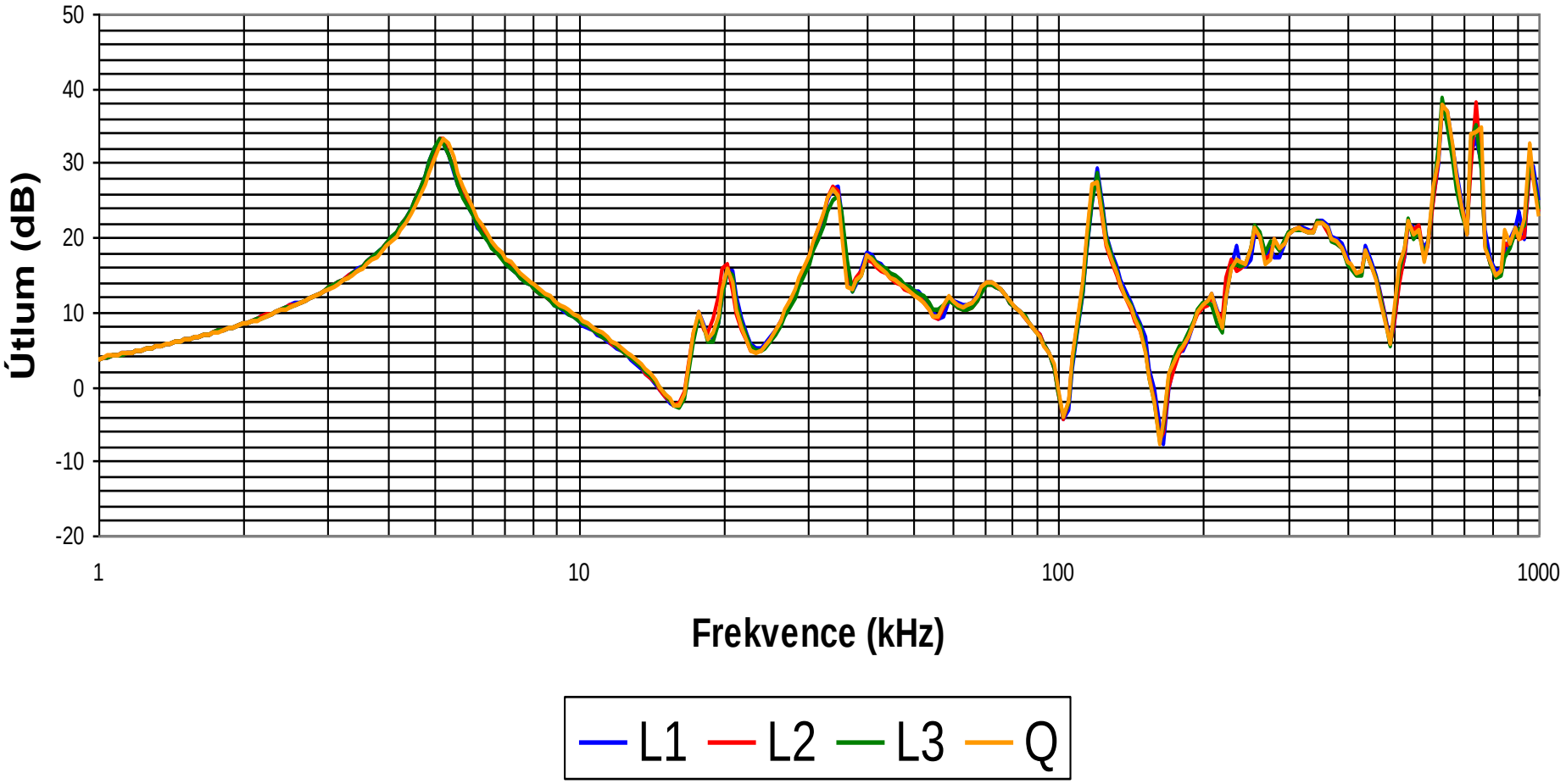
Schéma zapojení pro měření metodou SFRA



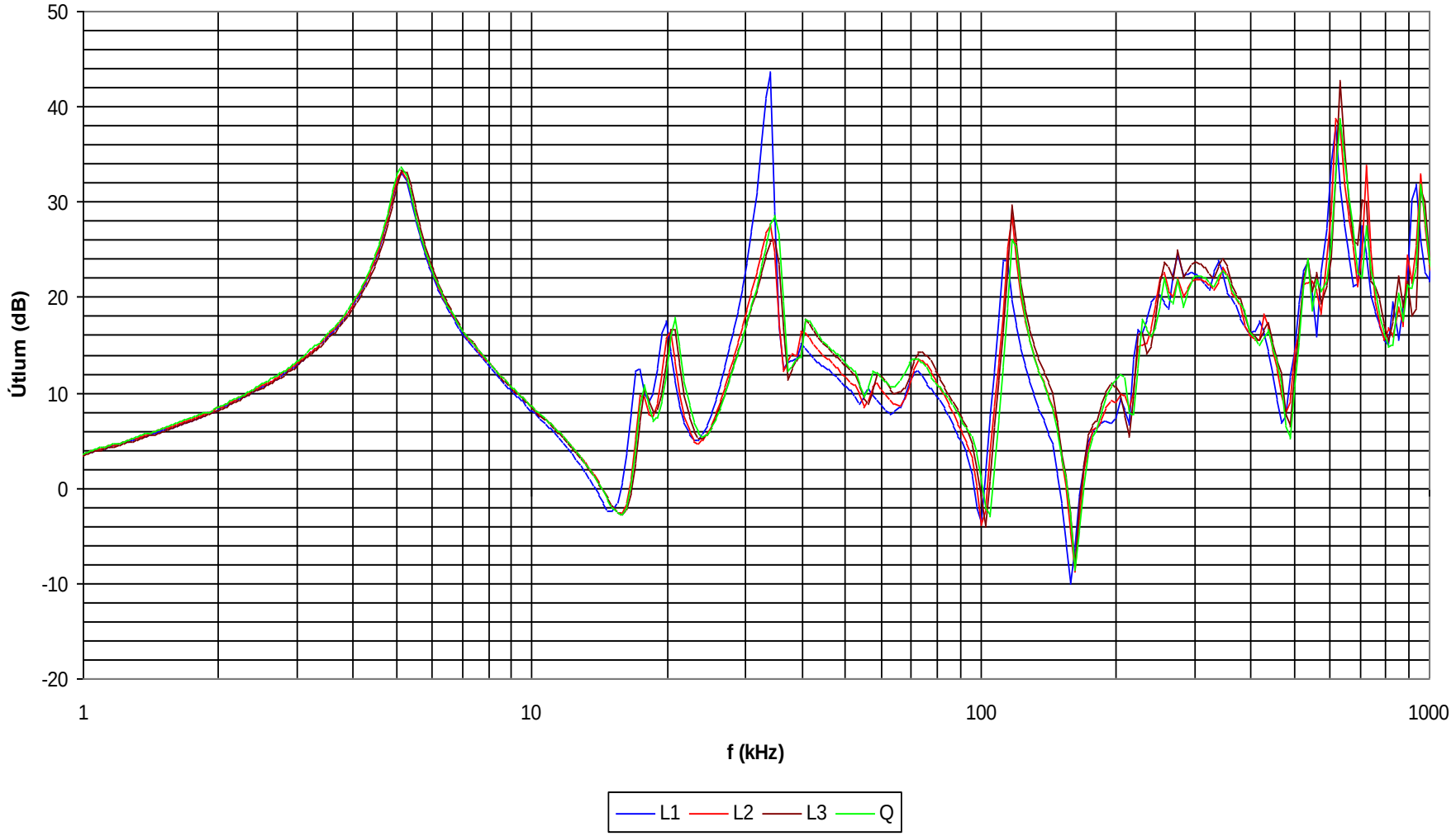
Příklad frekvenční charakteristiky při axiálním posunu vinutí



POROVNÁNÍ FREKVENČNÍCH CHARAKTERISTIK VŠECH JEDNOTEK TRANSFORMÁTORU T 203 V ROZVODNĚ SOKOLNICE VČETNĚ REZERVY



Obr. 6: Porovnání FCH všech jednotek transformátoru T 202 v rozvodně Sokolnice



c) Zkoušky olejů

Na stárnutí olejů má vliv:

teplota, zvýšený obsah vody a kyslíku, elektrické pole

Stárnutí olejů způsobuje:

polymerizaci, vznik kyselin a vznik kalů

U minerálních izolačních olejů se sledují tyto vlastnosti:

1. Izolační vlastnosti

- stanovení obsahu vody (Q_v)
- průrazné napětí (U_p)
- obsah plynů rozpuštěných v oleji (Q_p)

2. Jakostní parametry

- číslo kyselosti (ČK)
- ztrátový činitel (tg δ)
- relativní mezipovrchové napětí (σ)
- obsah antioxidantu (Q_i)

Napěťové zkoušky

Průrazné napětí nových izolačních soustav - 4 až 7·U_N

Zkušební napětí se pak volí 2 až 3 · U_N

Pro potřeby koordinace izolace a napěťových zkoušek se zavádí:

Třídy nejvyšších napětí

A · · · 1 až 52 kV

B · · · 52 až 300 kV

C · · · nad 300 kV

Izolace se dimenzuje a zkouší s ohledem na:

a) Provozní napětí (max. U_m)

b) Dočasná přepětí (max. 1,5 U_m)

c) Spínací přepětí - do 300 kV → zkoušky 50 Hz
- nad 300 kV → spínací impuls

d) Atmosférická přepětí - atmosférický impuls

Druhy napěťových zkoušek

1. Krátkodobým střídavým napětím

- **přiloženým střídavým napětím 50 Hz (minutová)**
- **indukovaným střídavým napětím (při zvýšené f)**

2. Dlouhodobým střídavým napětím (viz normy)

3. Spínacím impulsem

4. Atmosférickým impulsem

zkoušky konvenčním výdržným napětím, či zkoušky pro zjištění U_{50}