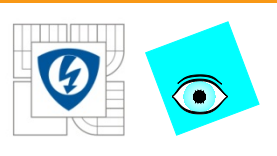


Metrologie ss a nf elektrických veličin

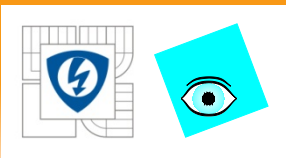
Ing. Věra Nováková Zachovalová (ČMI Brno)

18. června 2012

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

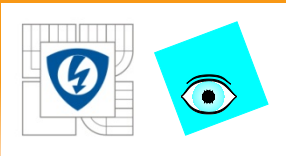


- EURAMET: regionální metrologická organizace sdružující národní metrologické instituty v Evropě
- 12 technických komisí:
 - 10 technických komisí měření fyzikálních veličin
 - 1 technická komise pro interdisciplinární metrologii
 - 1 technická komise pro kvalitu



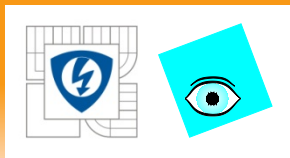
Rozdělení oborů měření fyzikálních veličin dle EURAMETu

- Akustika, ultrazvuk a vibrace
- Elektřina a magnetismus
- Průtok
- Ionizující záření
- Délka
- Hmotnost a přidružené veličiny (tlak atp.)
- Chemie
- Fotometrie a radiometrie
- Termometrie (teplota)
- Čas a frekvence



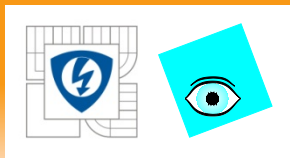
Rozdělení oborů měření fyzikálních veličin dle EURAMETu

- Akustika, ultrazvuk a vibrace
- **Elektřina a magnetismus**
- Průtok
- Ionizující záření
- Délka
- Hmotnost a přidružené veličiny (tlak atp.)
- Chemie
- Fotometrie a radiometrie
- Termometrie (teplota)
- Čas a frekvence



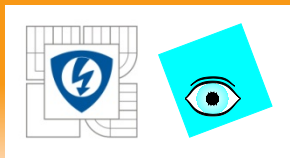
Elektřina a magnetismus

- 7 technických oblastí měření elektrických a magnetických veličin:
 - Kvantové etalony
 - DC napětí, proud a odpor
 - AC/DC difference, AC napětí a proud, impedance
 - Výkon a energie
 - Elektrická a magnetická pole
 - RF výkon, impedance a šum, s - parametry
 - Měření materiálových vlastností



Elektřina a magnetismus

- 7 technických oblastí měření elektrických a magnetických veličin:
 - Kvantové etalony
 - DC napětí, proud a odpor
 - AC/DC difference, AC napětí a proud, impedance
 - Výkon a energie
 - Elektrická a magnetická pole
 - RF výkon, impedance a šum, s - parametry
 - Měření materiálových vlastností



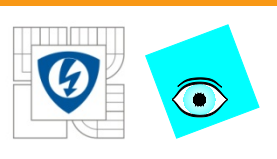
Elektřina a magnetismus

- 7 technických oblastí měření elektrických a magnetických veličin:

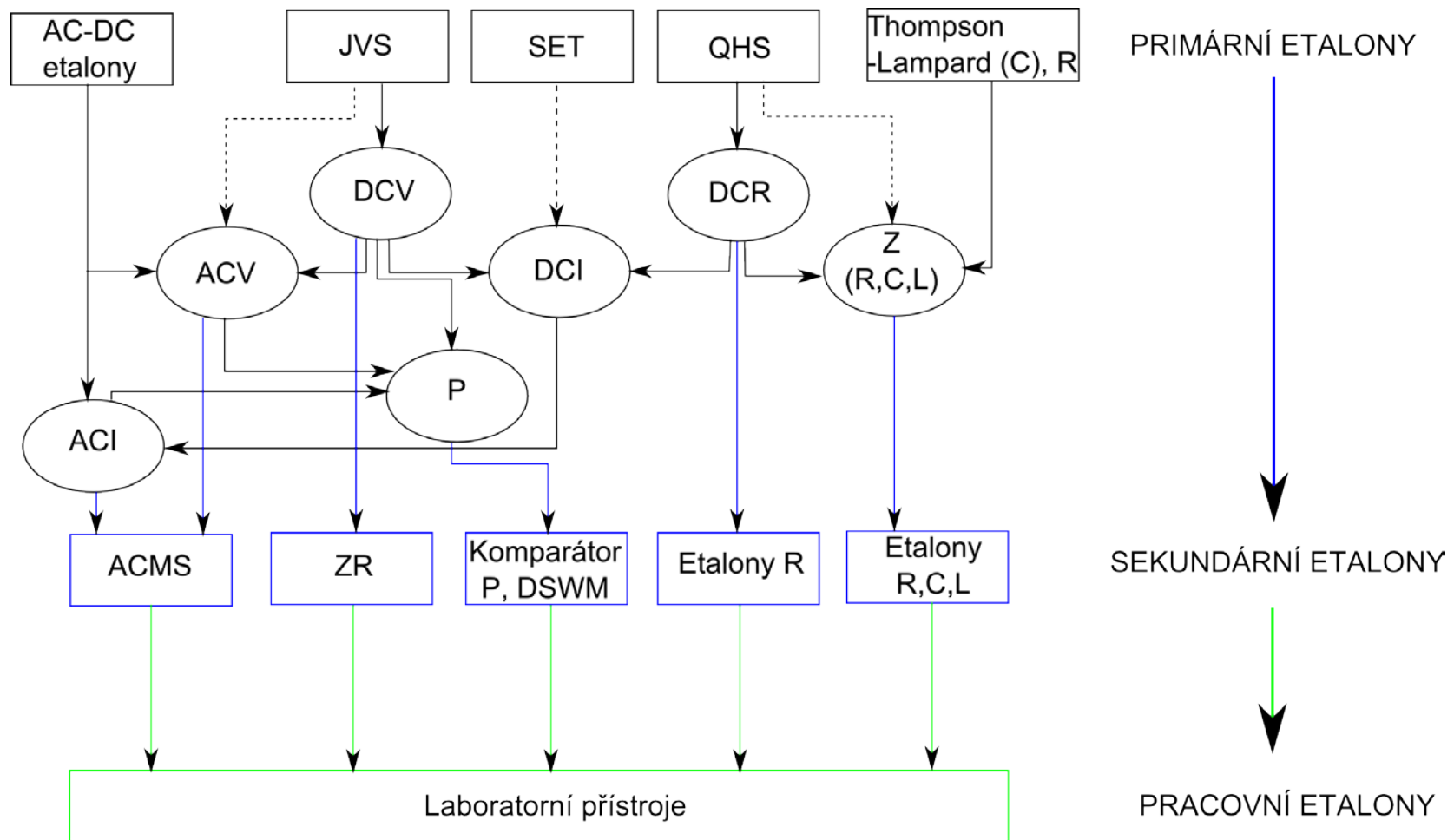
- Kvantové etalony
- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Výkon a energie
- Elektrická a magnetická pole
- RF výkon, impedance a šum, s - parametry
- Měření materiálových vlastností

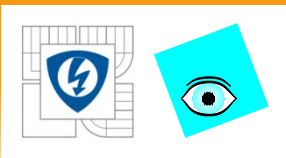


**Metrologie
ss a nf elek.
veličin**



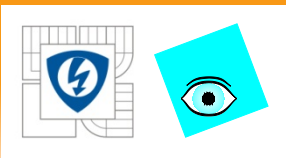
Obecné schéma návaznosti ss a nf elektrických veličin





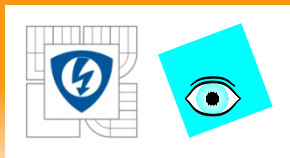
Základní oblasti metrologie ss a nf elektrických veličin

- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Impedance
- Výkon a energie



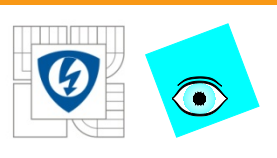
Základní oblasti metrologie ss a nf elektrických veličin

- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Impedance
- Výkon a energie



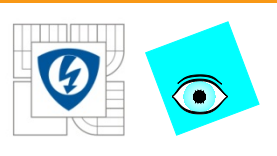
Úvod do metrologie DC napětí, proudu a odporu

- **Typický rozsah měření:**
 - 1 mV až 1 kV
 - 1 mA až 20 A (100 A)
 - 0.000 1 Ω až 100 M Ω (i G Ω)



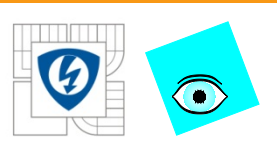
Návaznost pro DCV

Úrovně návaznosti	Etalony		Dosahované nejistoty
Generování DCV kvantovým etalonem (0 – 10 V).	Primární etalon	Kvantový etalon JVS.	řádově setiny ppm
Přenos na napěťové reference (1 V, 10 V).	Sekundární etalon	Napěťové (Zenerovy) reference	Řádově desetiny ppm
Přenos na laboratorní přístroje pomocí napěťových děličů (1 mV – 1 kV).	Referenční etalon	Velmi přesné zdroje (kalibrátory)	Řádově jednotky ppm
Přenos na zákaznické přístroje (1 mV – 1 kV).	Pracovní etalon	multimetry, voltmery, méně přesné zdroje ...	od 10 ppm



Zenerovy reference

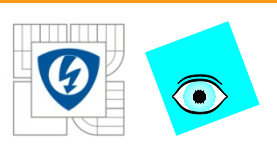
- Nejčastěji používané napěťové reference
- Princip: Zenerova dioda v závěrném směru
 - dioda pro teplotní kompenzaci
 - Teplotní čidlo
 - Topný element
 - Pomocné obvody pro úpravu napětí ZD na 10 V, 1 V a 1,018 V
- Nutné non-stop napájení !! (baterie, záložní zdroj)
- Umístění v klimatizované laboratoři



Zenerovy reference

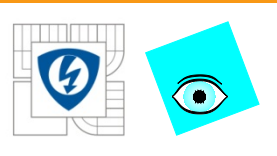
- Kalibrace porovnáním s JVS
- Skupinový etalon DCV (4x ZR, neustálé vzájemné porovnávání)
- Komerčně dostupné:
 - Fluke 732A, 732B (10V, 1,018V),
 - (Datron 4910 - 4+1 x 10V, 1 V, 1,018 V, 4w 10 V),
 - (Datron 4911 - 4+1 x 10V).
- Cena 1 ks cca 250 000,-



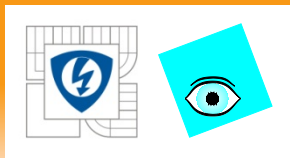


Přesné zdroje DCV

- Kalibrátory:
 - multifunkční přístroje pro velmi přesné generování základních el. veličin DCV, DCI, R, ACV, ACI
 - Funkce DCV:
 - Rozsah: 0 – 1,1kV
 - Komerčně dostupné: Fluke 5700A/5720A (Datron 48xx, 47xx)
 - Cena: cca 2 mil. Kč

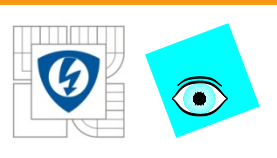


- DCV funkce se kalibruje pomocí ZR, napětového děliče a nulového detektoru:
 1. Kalibrace dělicího poměru děliče.
 2. Kalibrace DCV kalibrátoru (za použití nulového detektoru).
- Napětové děliče:
 - Kevin-Varleyho děliče
 - Automatické binární děliče
- Nulový detektor: přesný V – metr (nV-metr)



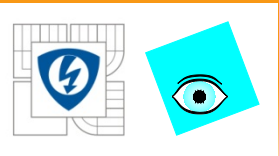
Kalibrátory

- Pomocí kalibrátorů se kalibrují velmi přesné laboratorní multimetry přímým porovnáním.
- Kalibrátory + laboratorní multimetry zajišťují kalibraci celé škály zákaznických měřidel (multimetry, zdroje) o různých přesnostech.
- Movité firmy a soukromé kalibrační laboratoře kupují i kalibrátory.



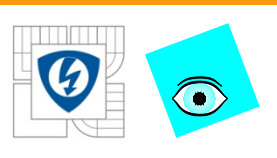
Návaznost pro DCR

Úrovně návaznosti	Používané etalony	Dosahované nejistoty
Generování DCR kvantovým etalonem	Kvantový etalon QHS.	0,002 ppm
Přenos na sadu dvou etalonů 1 k Ω a 10 k Ω pomocí CCC	Sada dvou etalonů R 1 k Ω a 10 k Ω .	1 k Ω : 0,05 ppm 10 k Ω : 0,15 ppm
Přenos sadu etalonů R (0,1 m Ω až 100G Ω) pomocí odporových mostů	Sada etalonů R (0,1 m Ω až 100G Ω).	Řádově desetiny až jednotky ppm
Přenos na laboratorní/zákaznické přístroje pomocí DMM/mostu	Etalony R, DMM, kalibrátory	Řádově jednotky až desítky ppm



Sekundární etalony 1 k Ω a 10 k Ω

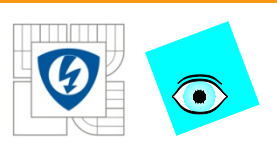
- 1k Ω : konstrukce Thomas nebo SCIRO (vinuté)
- 10 k Ω : konstrukce ESI (10x 1k Ω v sérii)
- Kalibrovány porovnáním s QHS prostřednictvím CCC („cryogenic current comparator“)
- Princip CCC:
 - Dvě cívky s počty závitů blízké poměru porovnávaných odporů.
 - Cívkami prochází proudy opačnými směry a jejich rozdíl je detekován nulovým detektorem SQUID („Superconducting Quantum Interference Device“).



Referenční sada etalonů R

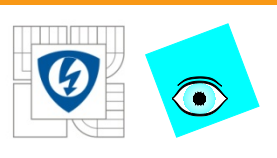
- Sada etalonů odporu 0,1 mΩ až 100 GΩ
- Různé konstrukce: vinuté,...
- Olejové (do 1MΩ) X vzduchové (nad 1 MΩ)
(+umístění v komoře nebo olejové lázni)
- Dvou- nebo čtyřsvorkové
- Komerčně dostupné: Tinsley, MI,...
- Cena 1 ks: cca 80 tis. Kč
- Kalibrace porovnáním s referenčními pomocí odporových mostů





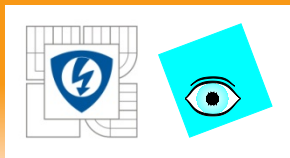
Pracovní etalony R

- Multifunkční kalibrátory - DCR:
 - Rozsah do 100 M Ω
 - Kalibrace DCR přímým porovnáním s referenční sadou (měření poměru R detektorem)
- Pomocí kalibrátorů se kalibrují pracovní/zákaznické multimetry
 - Některé rozsah až do 2 G Ω
- Někteří zákazníci mívají také sadu R (měření poměru detektorem).



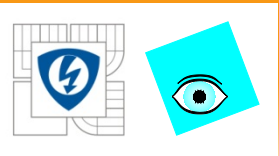
Návaznost pro DCI

Úrovně návaznosti	Používané etalony	Dosahované nejistoty
Výpočet z Ohmova zákona ($I = U/R$) na základě měření napětí na etalonech R velmi přesným voltmetrem.	Velmi přesné kalibrátory, multimetry,...	řádově jednotky až desítky ppm
Přenos na laboratorní/zákaznické přístroje.	Méně přesné multimetry, kalibrátory, ampérmetry, ...	Řádově od desítek ppm



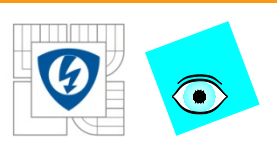
Kalibrátory a laboratorní multimetry

- Multifunkční kalibrátory - DCI:
 - Rozsah do 2 A (se zesilovačem až 20 A)
 - Kalibrace DCI měřením úbytku napětí na etalonu R
- Laboratorní multimetry – DCI:
 - Rozsah do 20 A
 - Kalibrace DCI pomocí kalibrátoru nebo měřením úbytku napětí na do série zapojeném etalonu R
- Kalibrátory a laboratorní multimetry slouží ke kalibraci zákaznických měřidel



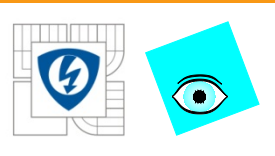
Základní oblasti

- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Impedance
- Výkon a energie



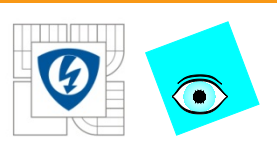
Úvod do metrologie ACV a ACI

- **Typický rozsah měření:**
 - 1 mV až 1 kV, 10 Hz až 1 MHz
(napětí od 30 V pouze do 100 kHz)
 - napětí od 0,5 V do 10 V možno až do 100 MHz
(překrytí s RF laboratořemi)
 - 1 mA až 100 A, 10 Hz až 100 kHz



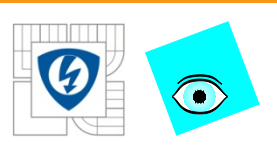
Návaznost pro ACV,ACI

Úrovně návaznosti	Používané etalony	Dosahované nejistoty (1V, 10 mA)
AC/DC difference (+ kvantový etalon).	AC/DC etalony (+ ACJVS nebo PJVS).	Řádově 1 ppm (1kHz) až 10 ppm (1MHz)
Odvození absolutních hodnot ACV a ACI od AC/DC difference a DCU, DCI.	AC měřicí etalony („AC measuring standards“ = velmi přesné AC voltmetry)	Řádově od 5 ppm (1kHz) až 100 ppm (1MHz)
Přenos ACV a ACI na laboratorní přístroje.	Velmi přesné multimetry a kalibrátory (6 a ½ místné)	Řádově od 15 ppm (1kHz) až 1500 ppm (1MHz)
Přenos ACV a ACI na zákaznické přístroje.	Méně přesné multimetry, kalibrátory, voltmery, ampérmetry,..	Řádově od 100 ppm



AC/DC difference

- Základní AC/DC etalon: termokonvertor
(tepelný převodník, „thermal converter“)
- Základní princip: přeměna elektrického výkonu na Joulovo teplo
 - DC a AC napětí (proudy) jsou střídavě přiváděny na odporový element
 - Množství vzniklého Joulova tepla pro DC a AC napětí jsou porovnávána měřením teploty odporového elementu pomocí termočlánku



AC/DC difference

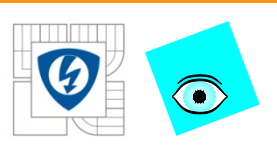
- Definice:
 - Ze vstupních veličin:

$$\delta_{AC-DC} = \frac{U_{in_AC} - U_{in_DC}}{U_{in_DC}}$$

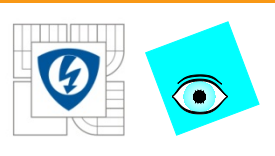
- Z výstupních veličin:

$$\delta_{AC-DC} = \frac{U_{out_AC} - U_{out_DC}}{nU_{out_DC}}$$

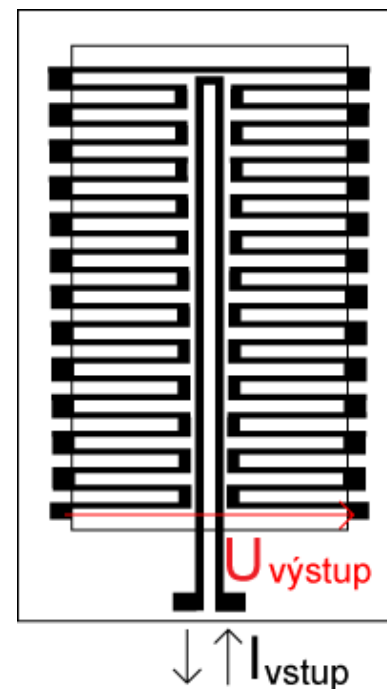
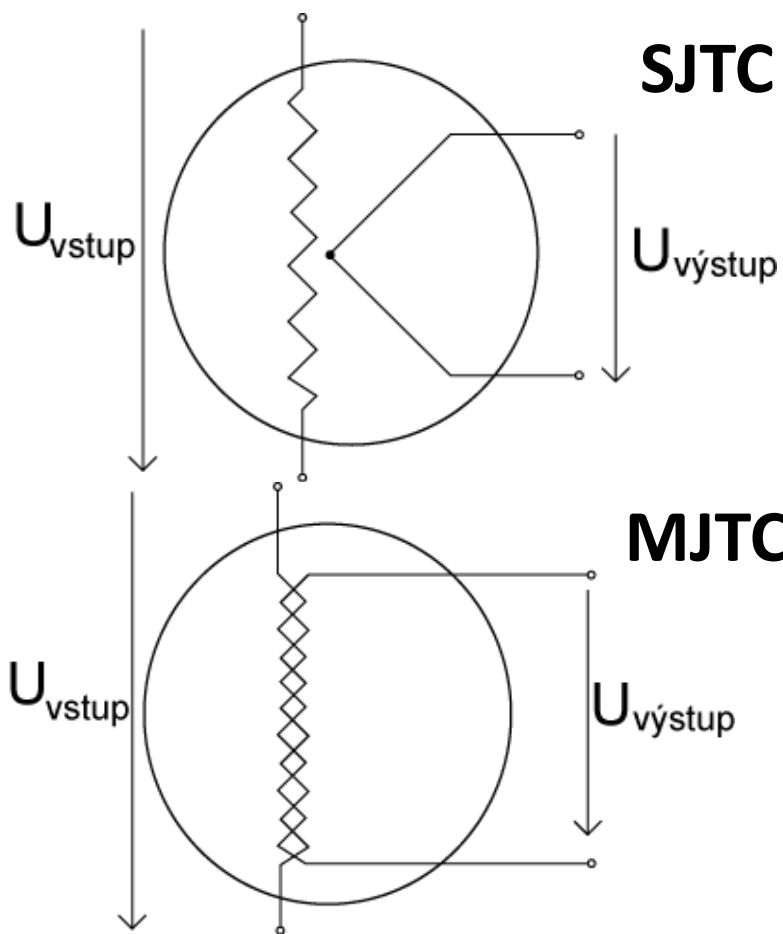
Index n je mocninný koeficient, který reprezentuje nelineární vstupně-výstupní charakteristiku termokonvertoru.



- **Tři základní typy termokonvertorů (TC):**
 - Jednopřechodový termokonvertor (SJTC)
(„singlejunction thermal converter“),
 - Mnohapřechodový termokonvertor (MJTC)
(„multijunction thermal converter“),
 - planární MJTC (PMJTC),
- **Polovodičový senzor (fa. Fluke).**
- **Mikropotenciometry:**
 - Pro měření malých napětí



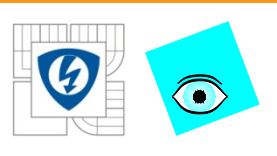
Termokonvertory



PMJTC

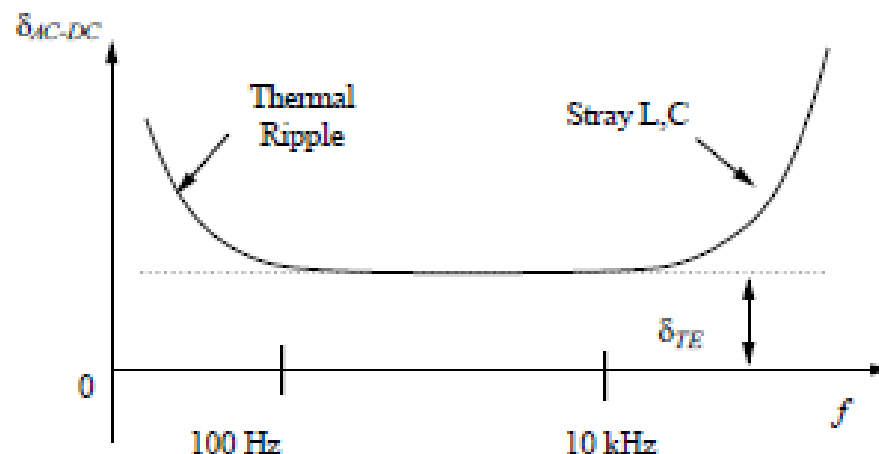
18.6.2012

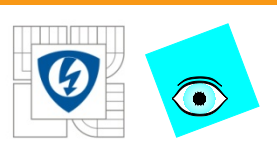
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Termokonvertory

- Jmenovité napětí: 1 V, 2 V, ... 5 V
- Frekvenční rozsah: 10 Hz – 1 MHz (100 MHz)
- Doba ustálení po přivedení napětí cca 1,5 hod.
- Doba ustálení mezi přepínáním AC/DC cca 40 – 50 s
- Cena 1 ks PMJTC chipu cca 8 tis.

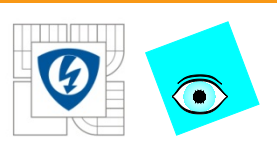




RMS senzor firmy Fluke 792A

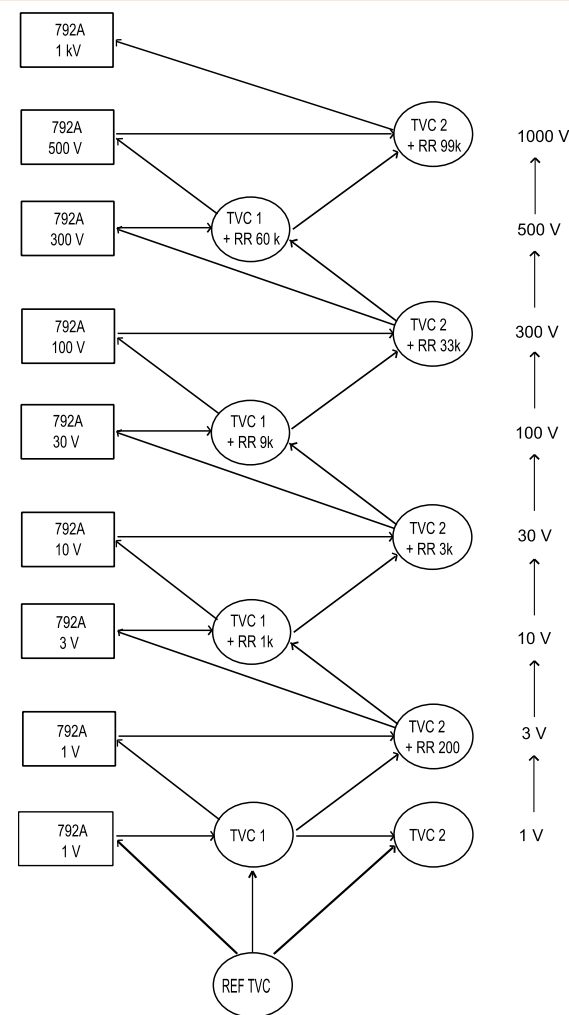
- Princip: teplotní závislost přechodu B-E tranzistoru
- Nutné napájení
- Rozsah 1 mV až 1 kV
- Kalibrován pomocí sady TC s RR a mikropotenciometrů
- Slouží ke kalibraci ACMS, příp. kalibrátorů
- Cena cca 2 mil.
- Doba ustálení: 15 min.
- Doba ustálení mezi přepínáním AC/DC cca 30 s

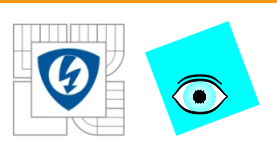




Odvození stupnice AC/DC difference napětí pomocí termokonvertorů

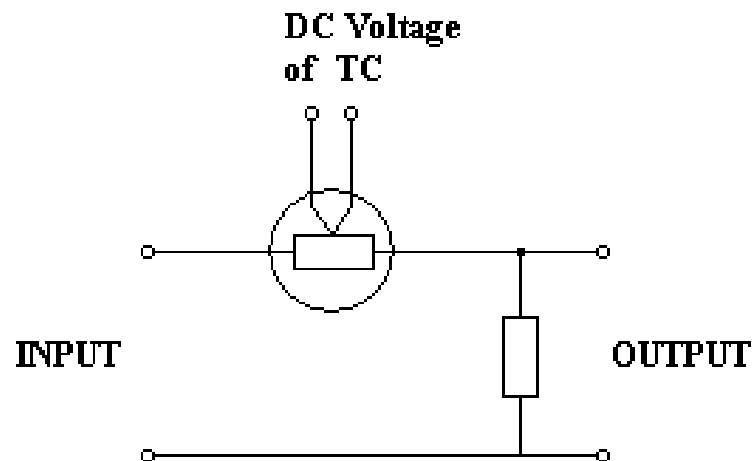
- Krokováním napětí nahoru z 1 V na 1 kV
- TC se předradí rozsahový rezistor (napětí se rozdělí na TC a RR) a zvýší se napěťový rozsah
- Kalibrace „jednoho etalonu po druhém“ (min. 3x TC)
- předpoklad: TC ani RR jsou v daném rozsahu napěťově nezávislé

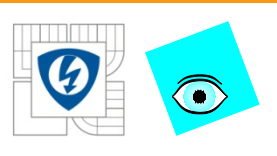




Mikropotenciometry (μ poty)

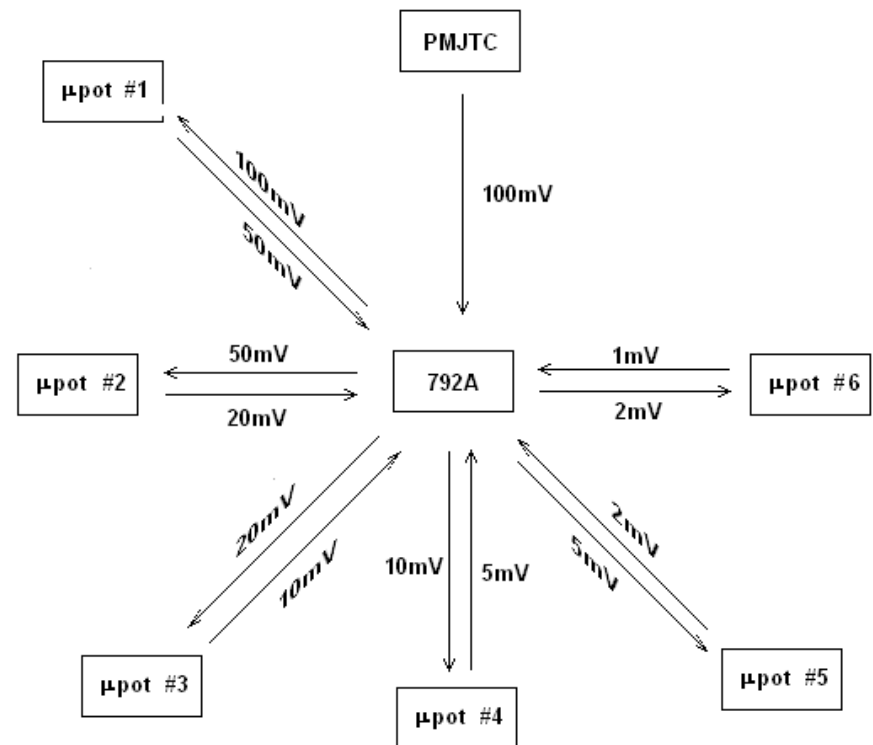
- Pro měření AC/DC difference malých napětí
- Sestávají z TC v výstupního diskového rezistoru, na kterém se objevuje mV napětí
- ! mV zdroj !

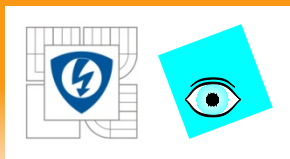




Odvození stupnice AC/DC difference malých napětí

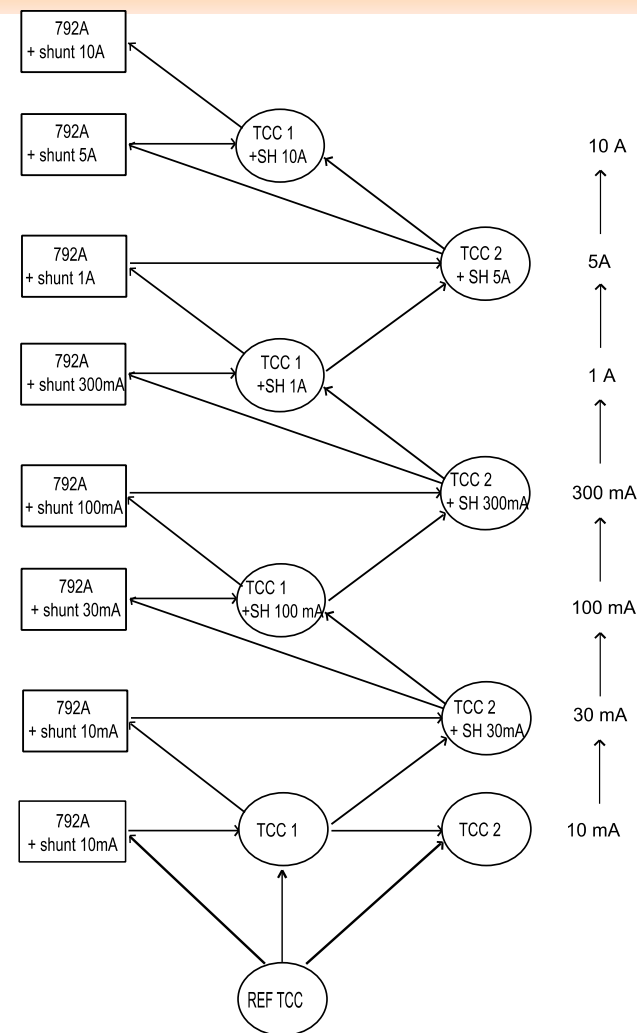
- Krokováním dolů ze 100 mV až do 1 mV
- 792A slouží jako přenosové zařízení při kalibraci μ potů nižších rozsahů pomocí μ potů vyšších rozsahů
- Nutná korekce na zatížení μ potu termokonvertorem 792A !
- μ pot je v určitém rozsahu napěťově nezávislý

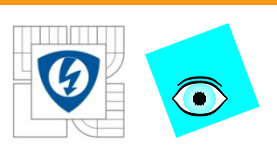




Odvození stupnice AC/DC difference proudů

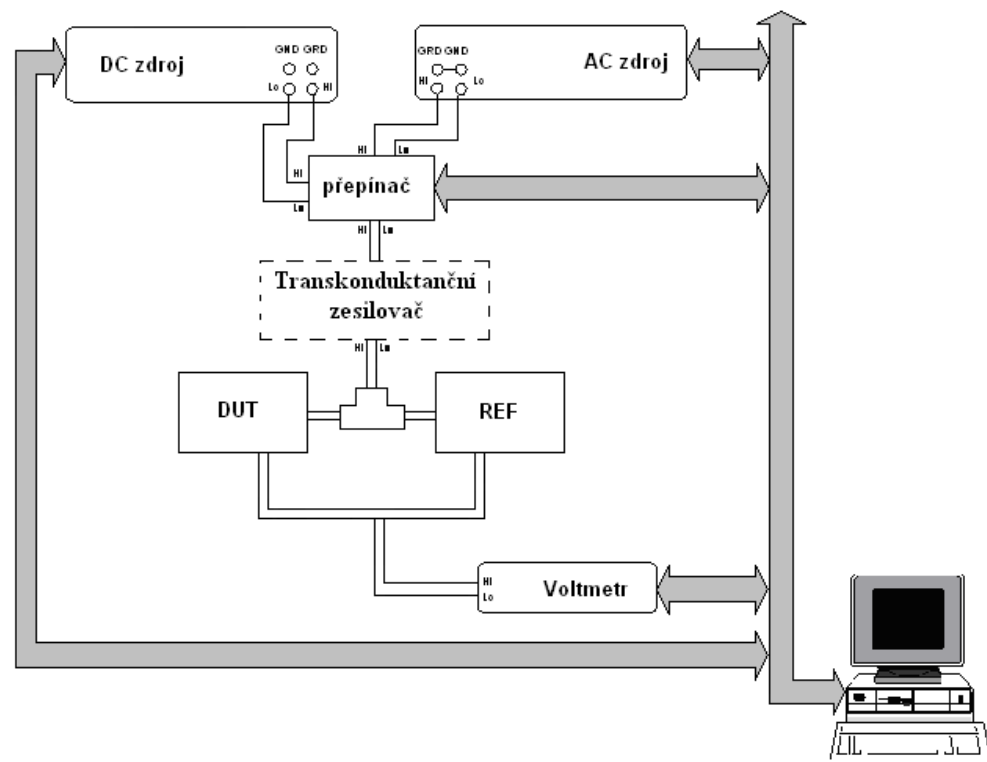
- Krokování nahoru z 10 mA až do 10 A (20A, 100A)
- Stejná filosofie jako u napětí
- Místo RR se používají bočníky a porovnávané etalony jsou spojeny do série
- k 792A také sada bočníků A40/A40A nebo A40B

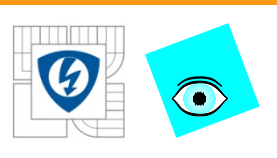




Sestava pro měření AC/DC difference

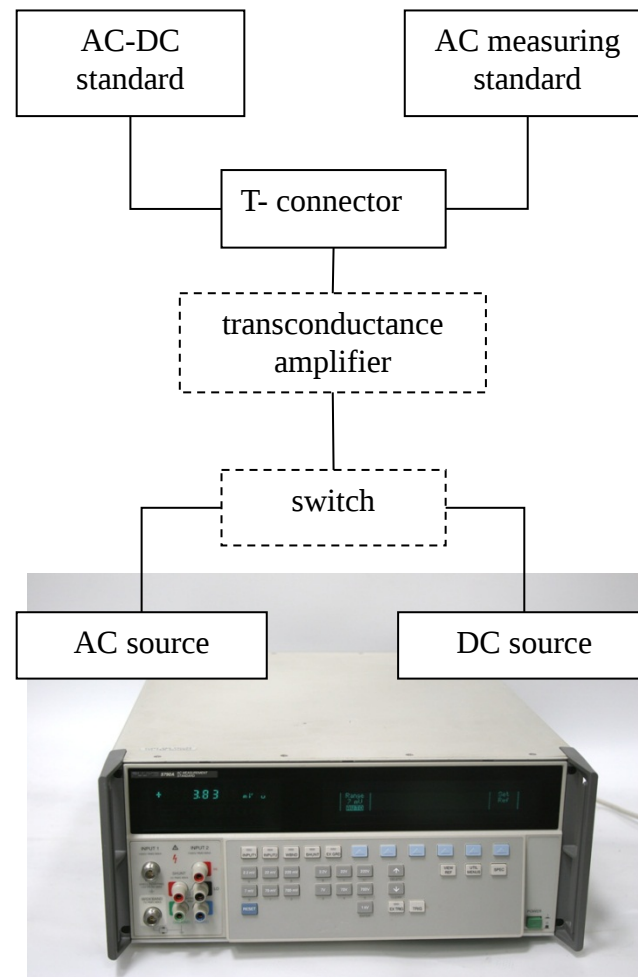
- DC a AC zdroj: kalibrátory 5700A, 5720A
- Přepínač
- (transkonduktanční zesilovač CH8100)
- Dvoukanálový DMM HP34420A
- Paralelní/sériový T konektor
- = cena cca 5 mil.

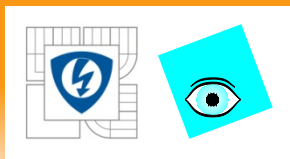




AC měřicí etalony (ACMS)

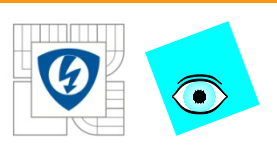
- „AC measuring standards“
- Obvykle měří AC (i AC/DC diferenci)
- AC (i AC/DC) kalibrace pomocí 792A a μ potů – pro AC nutná znalost i DC:
 - Kalibrace AC/DC zdroje
 - Kalibrace DC modu u ACMS
- Fluke 5790A, cena cca 1,5 mil.





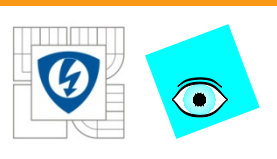
Kalibrátory a laboratorní multimetry

- Multifunkční kalibrátory – ACV,ACI:
 - Rozsah do 1 kV, do 2 A (se zesilovačem až 20 A)
 - Kalibrace ACV a ACI pomocí ACMS (nebo 792A)
- Laboratorní multimetry – ACV,ACI:
 - Rozsah: 100 mV – 1 kV, do 20 A
 - Kalibrace ACV a ACI pomocí ACMS (nebo 792A)
- Kalibrátory a laboratorní multimetry slouží ke kalibraci zákaznických měřidel



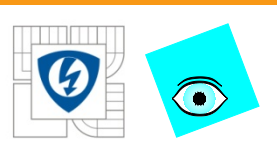
Základní oblasti

- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Impedance
- Výkon a energie



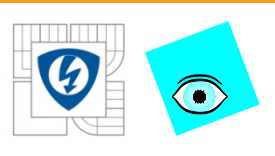
Úvod do metrologie impedancí

- **Základní veličiny:** R , L , C
- **Typický rozsah měření:**
 - R : $1\ \Omega$ až $100\ \text{k}\Omega$ ($1\ \text{kHz}$, $10\ \text{Hz}$ až $10\ \text{kHz}$)
 - L : $1\ \mu\text{H}$ až $1\ \text{H}$ ($1\ \text{kHz}$, $100\ \text{Hz}$ až $10\ \text{kHz}$)
 - C : $100\ \text{nF}$ až $10\ \mu\text{F}$ ($1\ \text{kHz}$, $100\ \text{Hz}$ až $100\ \text{kHz}$)



Návaznost pro Z (R,L,C, ...)

Úrovně návaznosti	Používané etalony	Dosahované nejistoty (1 kHz)
Kvantový etalon (experimentální). Vypočitatelné etalony (1 pF, 1Ω až 10 kΩ).	(kvantový etalon QHS) Vypočitatelný etalon kapacity a odporu (indukčnosti).	C ... 0,01 ppm R ... 1 – 10 ppm
Odvození stupnice pomocí impedančních mostů (C,R,L)	Sada etalonů R, C a L.	C ... 0,1 – 1 ppm R ... 10 – 100 ppm L ... 100 ppm
Přenos hodnot R, L ,C na laboratorní/zákaznické přístroje.	RLC mosty, sady etalonů, ...	Řádově od 0,02 %, 0,1%



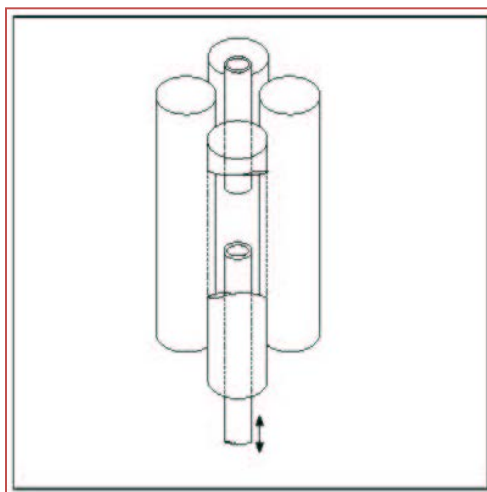
Vypočitatelné etalony C a R

Etalon kapacity

- Thompson-Lampardův teorém:

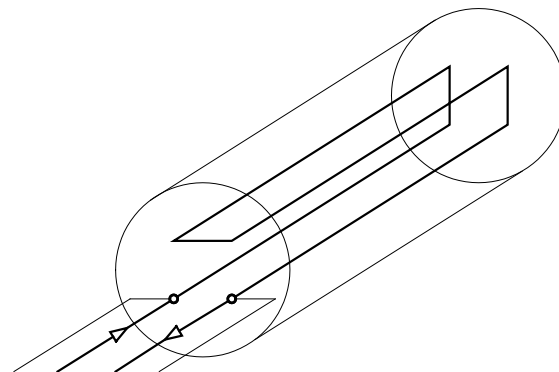
$$\Delta C / \Delta l = \varepsilon_0 \cdot \ln 2 / \pi$$

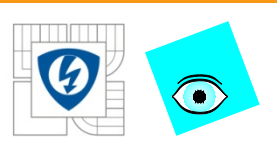
- $\Delta l \sim 0,5 \text{ m}$, $\Delta C \sim 1 \text{ pF}$



Etalon odporu

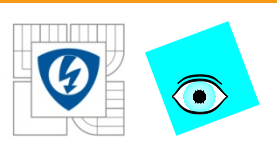
- Vypočitatelná AC/DC difference odporu
- Před odvozením ACR nutno změřit DCR
- drátové bifilární, kvadrifilární, oktafilární





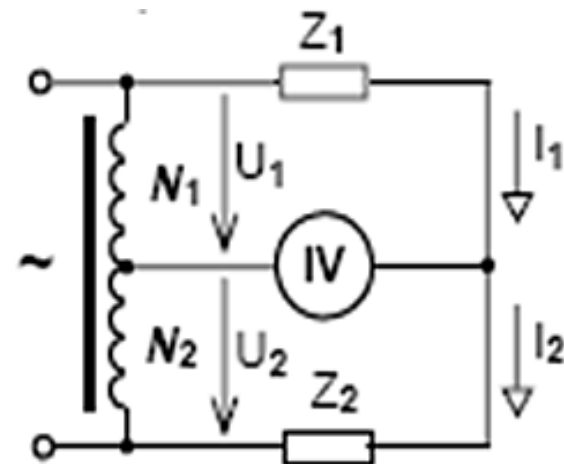
Odvození L

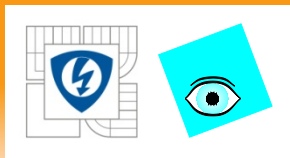
- (od vypočitatelných etalonů L)
- Od etalonů C měřením na kapacitním mostě:
 - Paralelní rezonanční obvod LC:
 - Impedance obvodu měřena mostem
 - Hodnoty od 100 mH do 10 H
 - Měření L v sérii s C
 - Hodnoty od 1 μ H do 10 H
 - Měření záporného C
 - Hodnoty od 10 H do 10 kH



Odvození stupnice R, C

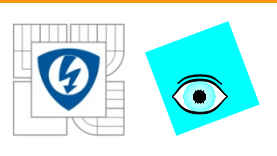
- Krokováním z vypočitatelných etalonů
- Odvození stupnice C:
 - Transformátorové mosty s indukčními poměrovými prvky (napětové transformátory a indukční děliče)
- Odvození stupnice R:
 - Můstky s indukčními děliči
 - Můstky s proudovými komparátory
 - Od etalonů C měřením na kvadrturních můstcích





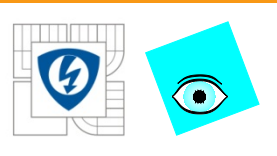
Přenos jednotky R, L, C na laboratorní přístroje

- Automatické RLC mosty
 - Umožňují měřit řadu parametrů ve velkém frekvenčním rozsahu
 - Tzv. artefakt kalibrace
 - Komerčně dostupné: Agilent, Wayne Kerr,
 - Cena cca 300 tis.
- Pracovní/zákaznické sady etalonů R, L, C
 - Pomocí impedančních mostů
 - Pomocí RLC mostů (méně přesné)



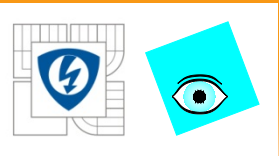
Používané sady etalonů C

- křemenné etalony (k uchovávání jednotky)
 - V olejové lázni (Tesla)
 - V termostatu (AH 11A)
- s plynným dielektrikem (do 1000 pF)
 - Hermetické (přesné, IET Lab)
 - Nehermetické (méně přesné, Meatest, Tettex,..)
- s plastovou izolací (1 μ F – 100 μ F)
 - výroba pouze na zakázku (Meatest)



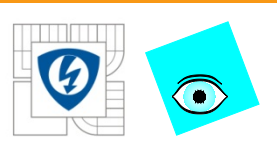
Používané sady etalonů R

- Drátové ($1\ \Omega$ - $100\ \text{k}\ \Omega$)
 - vypočitatelná frekvenční charakteristika (až do 1 MHz)
 - Prof. Boháček z ČVUT, KRISS Korea, VNIIM Rusko
- Koaxiální vrstvé
 - vypočitatelná frekvenční charakteristika (méně přesné)
- Foliové rezistory (Vishay)
- Komerční typy: ZIP, Meastest (foliové)



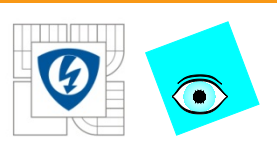
Používané sady etalonů L

- Toroidní etalony
 - mag. pole soustředěno uvnitř toroidu
 - výrazná frekvenční závislost
 - P597, P5115 (Rusko)
- Etalony s otevřeným polem (méně přesné)
 - mag. pole zasahuje do okolí
 - lépe sledovatelná frekvenční závislost
 - RFT 0187
- Se simulovanou indukčností (nad 1 H)
 - Složené z C a R (T- články)



Základní oblasti

- DC napětí, proud a odpor
- AC/DC difference, AC napětí a proud
- Impedance
- Výkon a energie



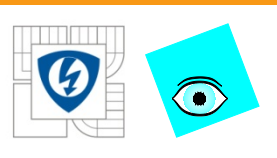
Úvod do metrologie elektrického výkonu

- **Veličiny:**

- Základní: činný, jalový, zdánlivý výkon, účinník, frekvence
- Fáze, napětí, proud, harmonické, interharmonické, fluktuující harmonické, poklesy, přírůstky, přerušení,...

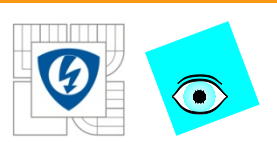
- **Typický rozsah měření:**

- Základní měření: výkon na 50 Hz
- Napětí: 56 V – 560 V, Proud: 10 mA – 20 A
- Harmonické až do 10 kHz



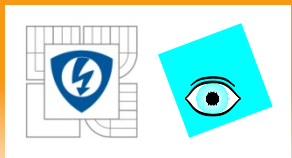
Návaznost pro P

Úrovně návaznosti	Používané etalony	Dosahované nejistoty (50 Hz, účinník = 1)
AC/DC difference + DCV DCV + čas (vzorkování)	Výkonové komparátory Vzorkovací wattmetry	od 0,01 % od 0,001 %
Přenos na laboratorní přístroje	Etalonové elektroměry (elektroměrné stanice), kalibrátory výkonu	~ 0,05 % od 0,02 %
Přenos na zákaznické přístroje	Elektroměry, kvalimetry	0,2 % ; 0,5 %; 1 %; 2 %



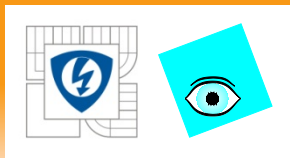
Výkonové komparátory

- Princip: AC/DC difference
- Vynikající dlouhodobá stabilita
- Měřicí rozsah (HEG K2005):
 - ACV: 6 V – 530 V
 - ACI: 5 mA – 110 A
 - Frekvence: 45 Hz – 65 Hz
 - Měří napětí, proud, činný, jalový, zdánlivý výkon, fáze, účinník, frekvence
- Pro kalibrace etalonových elektroměrů
- Nedostačují pro měření kvality el. energie



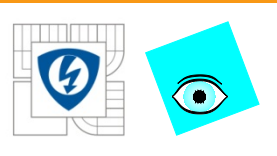
Vzorkovací wattmetry

- Princip: synchronní vzorkování ACV a ACI signálu (návaznost na DCV a čas)
 - Dva vzorkovací DMM pro ACV a ACI (3458A)
 - ACV: napěťové děliče (výstup 0,8V)
 - ACI: proudové bočníky (výstup 0,8V)
 - Vzorkovací frekvence 150 kHz
- Možnost měření různých parametrů spojených s kvalitou el. energie
- Pro kalibrace etalonových elektroměrů i kalibrátorů výkonu



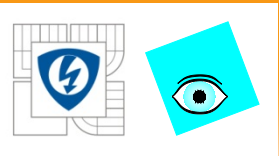
Elektroměrné stanice

- Slouží k ověřování elektroměrů
 - Jádrem je etalonový elektroměr a výkonový zdroj
 - Lze ověřovat i více elektroměrů současně
 - Automatické měření
-
- Cena v řádu několika milionů Kč v závislosti zvolených parametrech



Kalibrátory výkonu

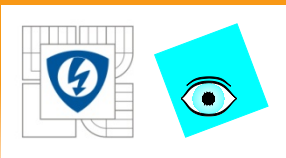
- Výkonový zdroj
- Široký rozsah generovaných ACV a ACI
- Možnost nastavit mnoho dalších parametrů kromě výkonu (harmonické, interharmonické, fluktující harmonické, poklesy, přírůstky, přerušení, ...)
- Používají se pro kalibraci měřidel kvality el. energie
- Fluke 6100A 3-fázový s proudovým extenderem do 80 A cena cca 3,5 mil



Závěrem

- Uchovávání etalonů – vhodné klimatické podmínky
- Převoz etalonů – vhodný přepravní box, nutná dostatečná stabilizace po převozu
- Kalibrace: TUR (test uncertainty ratio) = poměr nejistoty REF ku DUT:

$$\text{TUR} = \text{min. } 1:3$$



Děkuji za pozornost.

18.6.2012

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

