

# VYSOKONAPĚŤOVÉ ZKUŠEBNICTVÍ

#3 Napěťové zkoušky

# Zkoušky při vysokém napětí

- Základní normy pro vysokonapěťové zkoušky na zařízeních vn:  
ČSN EN 60052 a 60060
- Základní normy pro vysokonapěťové zkoušky na zařízeních nn:  
ČSN EN 61180
- Velké množství dalších norem specifikující vysokonapěťové zkoušky přímo pro určitá elektrická zařízení (např. bleskojistky, izolátory, transformátory, vypínače, ...)

# Zkoušky při vysokém napětí

- Základní dělení zkoušek z hlediska zkušebního prostředí:
  - Zkoušky za sucha
  - Zkoušky za mokra
  - Zkoušky za umělého znečištění
- Základní dělení zkoušek z hlediska použitého zkušebního napětí:
  - Zkoušky stejnosměrným napětím
  - Zkoušky střídavým napětím
  - Zkoušky impulzním napětím

# Zkoušky za sucha

- Nejčastější a nejjednodušší zkušební prostředí
- Norma přesně definuje atmosférické podmínky (viz dále)

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Referenční atmosféra:
  - Teplota: 20 °C
  - Absolutní tlak: 1013 hPa
  - Absolutní vlhkost: 11 g/m<sup>3</sup>
- Při zkoušce se musí vždy uvést aktuální atmosférické podmínky při kterých bylo měření prováděno
- Měřené napětí  $U$  se musí přepočítat na napětí při referenční atmosféře  $U_0$  pomocí korekčního činitele  $K_t$

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

*Přepočet velikosti naměřeného napětí s ohledem na atmosférické podmínky:*  $U_0 = \frac{U}{K_t}$

- Pokud máme při zkoušce použít přesně dané napětí pro kontrolu napěťové odolnosti systému, musíme přepočítat udané napětí  $U_0$  na napětí nastavované v aktuálních atmosférických podmínkách  $U$  pomocí korekčního činitele  $K_t$

*Velikost nastavovaného napětí s ohledem na atmosférické podmínky:*  $U = U_0 K_t$

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Atmosférický korekční činitel  $K_t$ 
  - Neuplatňuje se pro přeskok po povrchu (platí jen pro přeskok ve vzduchu)

$$K_t = k_1 k_2$$

$k_1$  – korekční činitel hustoty vzduchu

$k_2$  – korekční činitel vlhkosti vzduchu

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Korekční činitel hustoty vzduchu –  $k_1$ 
  - Závisí na relativní hustotě vzduchu  $\delta$

$$k_1 = \delta^m$$

*m – exponent závisující na typu předvýbojů*

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

*t a  $t_0$  – teploty vyjádřené ve stupních Celsia*

*p a  $p_0$  – hodnoty atmosférického tlaku*



# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Korekční činitel vlhkosti vzduchu –  $k_2$ 
  - Závisí na parametru  $k$ , který je dán typem zkušebního napětí a lze jej vypočítat pomocí funkce poměru absolutní vlhkosti  $h$  k  $\delta$

$$k_2 = k^w$$

*w – exponent závisící na typu předvýbojů*

$$DC: \quad k = 1 + 0,014 \left( \frac{h}{\delta} - 11 \right) - 0,00022 \left( \frac{h}{\delta} - 11 \right)^2$$

$$AC: \quad k = 1 + 0,012 \left( \frac{h}{\delta} - 11 \right)$$

$$Impuls: \quad k = 1 + 0,010 \left( \frac{h}{\delta} - 11 \right)$$

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Exponenty  $m$  a  $w$  lze určit pomocí parametru  $g$ , který určuje závislost na typu předvýbojů

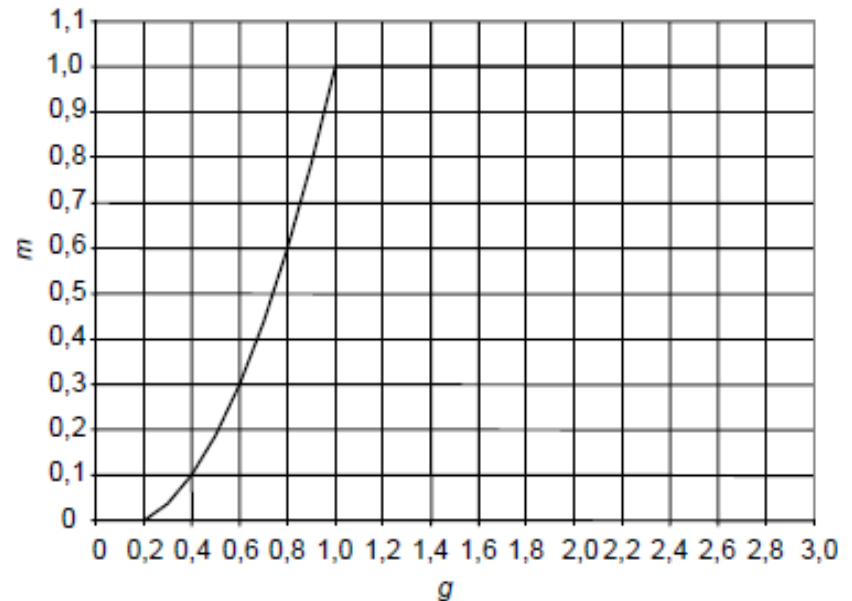
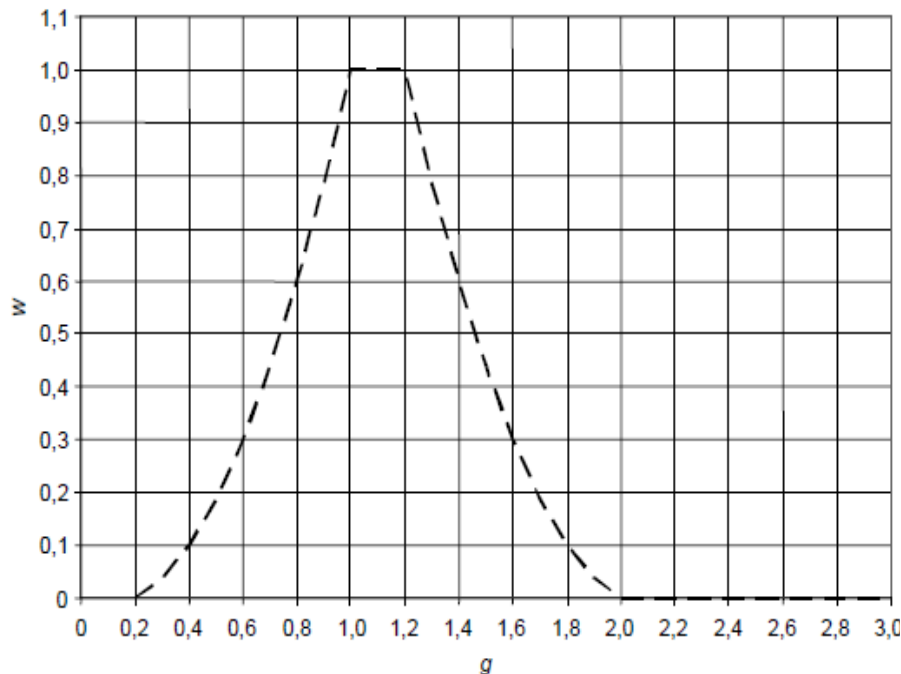
$$g = \frac{U_{50}}{500L\delta k}$$

*$U_{50}$  – je 50% napětí průrazného výboje při skutečných atmosférických podmínkách (když není k dispozici, lze uvažovat  $U_{50} = 1,1U_0$ ), hodnota v kV*

*$L$  – minimální dráha výboje v m*

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu

- Exponenty  $m$  a  $w$  lze určit pomocí parametru  $g$ , který určuje závislost na typu předvýbojů



# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu – příklad

- Příklad:
  - Střídavé napětí přeskoku na kulovém jiskřišti je  $U = 123$  kV. V laboratoři vn je teplota  $t = 23$  °C, atmosférický tlak  $p = 998$  hPa a relativní vlhkost  $R = 69,8$  %. Vzdálenost na kulovém jiskřišti je  $L = 10$  cm.
  - Jaké je normalizované napětí přeskoku?

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu – příklad

*Přepočet relativní vlhkosti vzduchu na absolutní vlhkost vzduchu:*

$$h = \frac{6,11 R e^{\frac{17,6t}{243+t}}}{0,4615(273 + t)} = \frac{6,11 \cdot 69,8 \cdot e^{\frac{17,6 \cdot 23}{243+23}}}{0,4615(273 + 23)} \\ = 14,3 \text{ g/m}^3$$

*Relativní hustota vzduchu:*

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t} = \frac{998}{1013} \cdot \frac{293}{296} = 0,975$$

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu – příklad

*Parametr k pro AC:*

$$k = 1 + 0,012 \left( \frac{h}{\delta} - 11 \right)$$
$$= 1 + 0,012 \left( \frac{14,3}{0,975} - 11 \right) = 1,044$$

*Parametr g:*

$$g = \frac{U_{50}}{500L\delta k} = \frac{123 \cdot 1,1}{500 \cdot 0,1 \cdot 0,975 \cdot 1,044} = 2,66$$

*Výpočet m a w z tabulek nebo grafů:*

$$m = 1, w = 0$$

# Atmosférické podmínky pro přeskok ve vzduchu – příklad

*Korekční činitel hustoty vzduchu:*

$$k_1 = \delta^m = 0,975^1 = 0,975$$

*Korekční činitel vlhkosti vzduchu:*

$$k_2 = k^w = 1,044^0 = 1$$

*Korekční činitel:*

$$K_t = k_1 k_2 = 0,975 \cdot 1 = 0,975$$

*Výpočet normalizovaného změřeného napětí:*

$$U_0 = \frac{123}{0,975} = 126,2 \text{ kV}$$

# Zkoušky za mokra

- Tyto zkoušky mají za cíl simulovat povětrnostní podmínky, kterým je vystaven zkoušený objekt při nepříznivém počasí
- Existuje soubor opatření, který má minimalizovat špatnou opakovatelnost zkoušky



# Zkoušky za mokra

- Testovaný objekt by měl být během zkoušky sprejován vodou o předepsaných podmínkách
  - Teplota vody:  $t_v = \text{teplota okolí} \pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$
  - Vodivost vody:  $\rho_v = 100 \pm 15 \text{ } \mu\text{S/cm}$
  - Spad vody – vertikální složka: 1 až 2 mm/min
  - Spad vody – horizontální složka: 1 až 2 mm/min
- Voda by měla dosedávat na povrch zkoušeného objektu v kapkách
- Neměla by se tvořit mlha

# Zkoušky za mokra

- Voda by měla dopadat na zkoušený objekt za předepsaných podmínek již 15 min před samotným měřením
- Pro korekci na atmosférické podmínky se používá jen korekční činitel hustoty vzduchu  $k_1$  (korekce na vlhkost vzduchu se - logicky 😊 - nepoužívá)

# Zkoušky za umělého znečištění

- Snaha je, aby zkoušky simulovaly nasazení zkoušeného objektu v určitých atmosférických podmínkách v určité lokalitě (u moře, v průmyslových oblastí, v teplých podnebí, v chladných podnebí, ...)
- Zdaleka nereprezentují všechny stavy a situace znečištění v praxi
- Nejsložitější typ zkoušek
- Nejnáročnější na výbavu měřícího pracoviště

# Zkoušky za umělého znečištění

- Tyto zkoušky využívají jedné ze dvou metod
  - Metoda slané mlhy – měřený objekt je jí ostříkován
  - Metoda pevné vrstvy – tato vrstva je na měřený objekt nanesena a má konstantní vlhkost a vodivost, většinou je měřený objekt poté ostříkován čistou mlhou
- Před každou zkouškou musí být povrch zkoušeného objektu očištěn a omyt od všech nežádoucích mastnot a nečistot

# Zkoušky za umělého znečištění

- Nečistoty usazující se na povrchu měřeného objektu se rozdělují do dvou typů
  - Ekvivalentní hustota usazených solí (ESDD = equivalent salt deposit density) udává se v  $\mu\text{g}$  chloridu sodného (NaCl) na  $\text{cm}^2$  povrchu
  - Hustota usazených nerozpustných látek (NSDD = nonsoluble deposit density) udává se též v  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
- Jejich hodnoty pro určení prostředí či pro určení jejich koncentrace ve znečištění při zkouškách je určeno v příslušných normách a doporučeních

# Zkoušky stejnosměrným napětím

- Přiložené napětí nesmí mít činitel zvlnění více než 3%
  - Činitel zvlnění = podíl amplitudy zvlnění k hodnotě zkušebnímu napětí
- Tolerance měřených napětí (neplést s nejistotou měření!)
  - pro zkoušky trvající do 1 min:  $\pm 1 \%$
  - pro zkoušky trvající nad 1 min:  $\pm 3 \%$

# Zkoušky střídavým napětím

- Zkušební napětí musí mít sinusový průběh s kmitočtem mezi 45 Hz až 65 Hz (sítový kmitočet)
- Pro speciální zkoušky se realizují jiné různé a velmi odlišné kmitočty (velmi nízké i vysoké)
- Poměr vrcholové hodnoty amplitudy k efektivní hodnotě se musí rovnat  $\sqrt{2}$  s maximální odchylkou  $\pm 5\%$ 
  - Pro jednotlivé zkušební obvody lze udělit výjimku

# Zkoušky střídavým napětím

- Tolerance měřených napětí (neplést s nejistotou měření!)
  - pro zkoušky trvající do 1 min:  $\pm 1 \%$
  - pro zkoušky trvající nad 1 min:  $\pm 3 \%$
- Zkušební zdroj musí pokrývat přechodové jevy vznikající při zkouškách (např. částečné výboje, zkoušky za deště, ...) tak, aby nebyly poklesy napětí větší než 20 %



# Zkouška výdržným napětím pro AC a DC napětí

- Zkouška realizována stejnosměrným i střídavým napětím
- Přiložené počáteční napětí musí být na dostatečně nízké hodnotě – zabránění vlivu spínacího přepětí
- Optimální a plynulá rychlost zvyšování napětí – asi 2 %  $U$  za sekundu po přiložení 75 %  $U$   
= dostatečně pomalu pro odečet, ale ne moc dlouho pro zbytečné zatěžování napětím blízkým hodnotě  $U$

# Zkouška výdržným napětím pro AC a DC napětí

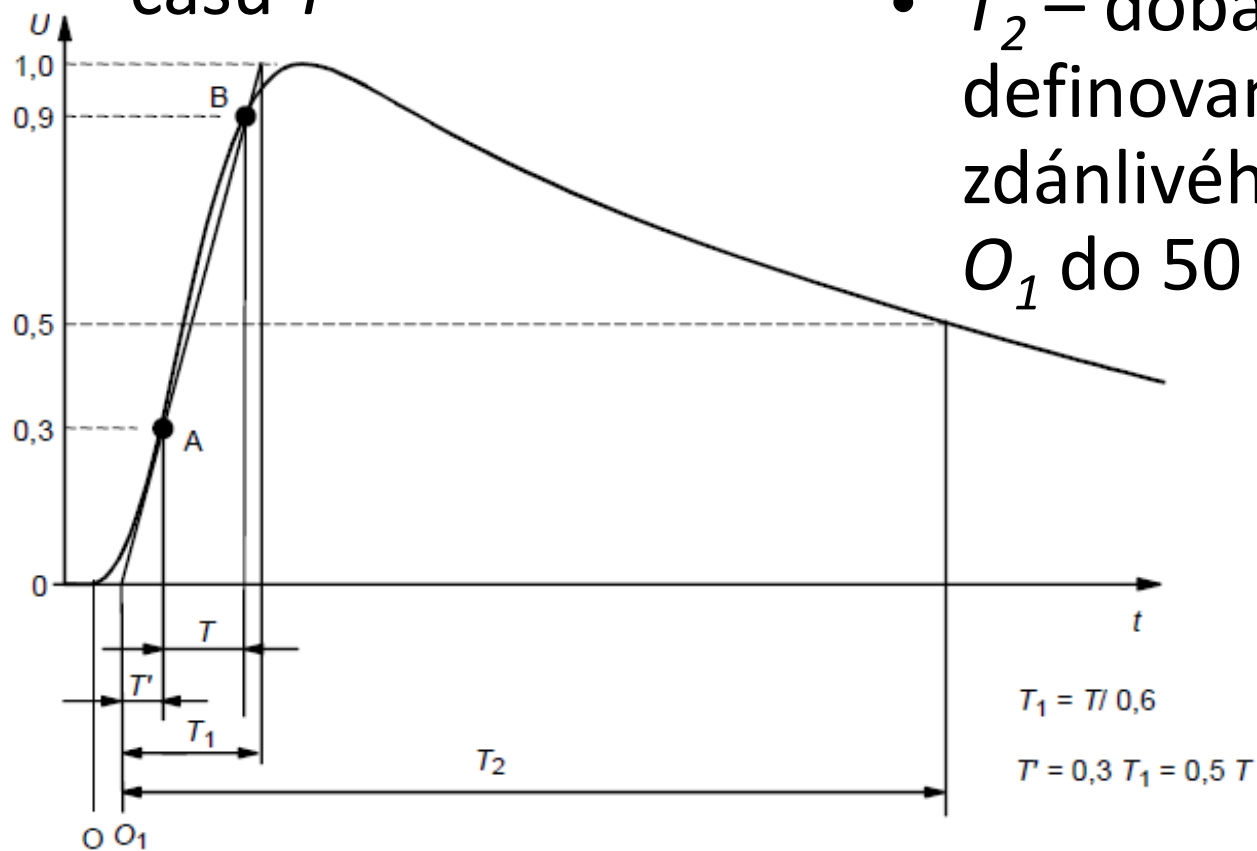
- Výdržné zkušební napětí  $U$  musí zkoušený objekt vydržet po předepsanou dobu
- Není-li stanoveno jinak s ohledem na ustálení stavu rozložení napětí, je trvání zkoušky 60 s
- Poté
  - u stejnosměrného obvodu se napětí odpojí a kapacita zkoušeného obvodu se vybije přes vybíjecí odpor
  - u střídavého obvodu se napětí sníží a poté odpojí tak, aby se zabránilo vzniku nežádoucího přepětí
- Požadavky jsou splněny pokud na zkoušeném objektu nedojde k průrazu

# Zkouška napětím průrazného výboje pro AC a DC napětí

- Napětí musí být přiloženo a plynule zvyšováno jako u zkoušky výdržným napětím
- Napětí se zvyšuje až do průrazu – hodnota napětí při průrazu musí být zaznamenána
- Toto musí být opakováno  $n$ -krát, aby se získal požadovaný dostatečný soubor měření ( $n \geq 10$ )

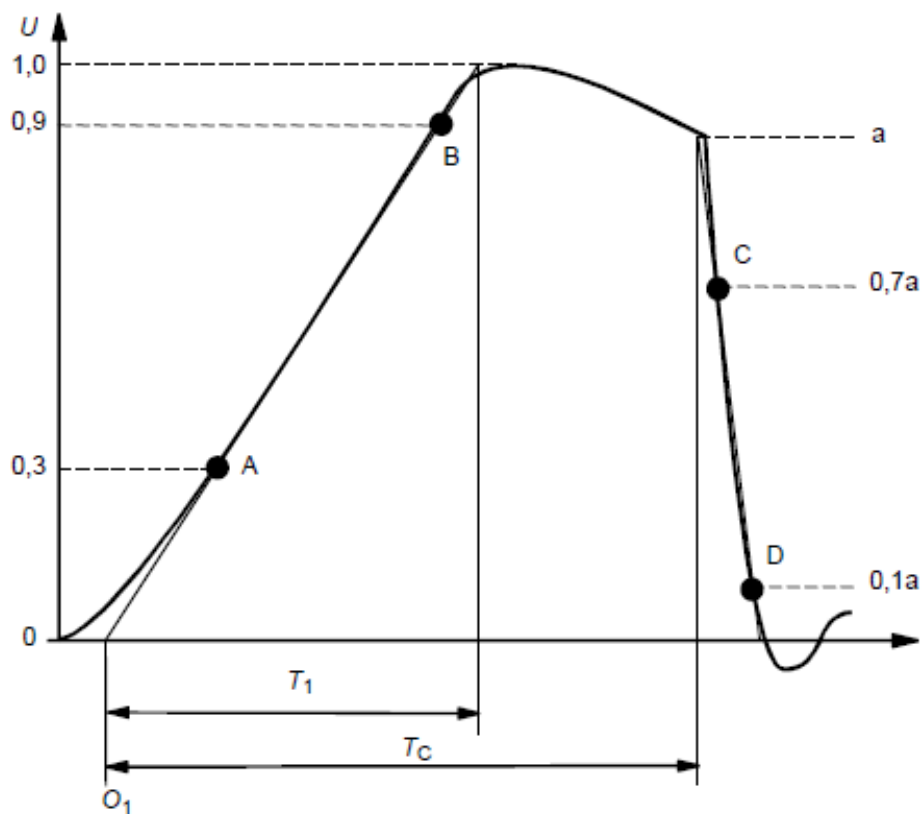
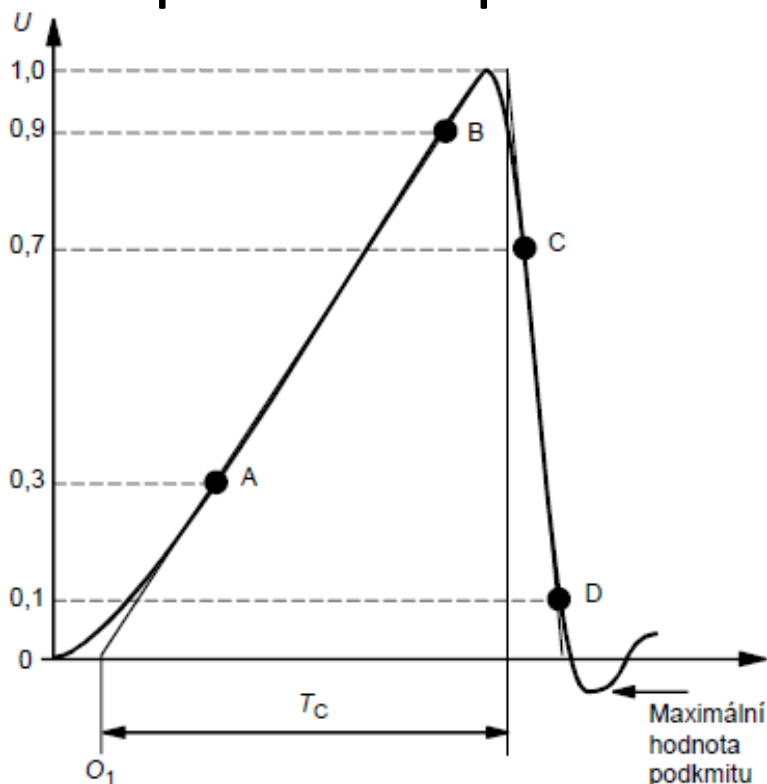
# Zkoušky atmosférickým impulzem

- $T$  – čas za který vlna naroste z 30 % do 90 %  $U$
- $T_1$  – doba čela – definovaná jako 1/0,6 násobek času  $T$
- $T_2$  – doba půltýlu – definovaná jako čas od zdánlivého počátku vlny  $O_1$  do 50 %  $U$  při poklesu



# Zkoušky atmosférickým impulzem

- $T_C$  – doba useknutí – definovaná jako čas od zdánlivého počátku vlny  $O_1$  do useknutí vlny zapříčiněné přeskokem



# Zkoušky atmosférickým impulzem

- Normalizovaný atmosférický impulz má dobu čela  $T_1 = 1,2 \mu s$  a dobu půltýlu  $T_2 = 50 \mu s$  a označuje se jako “impulz 1,2/50”
- Tolerance mezi určenými a skutečně zaznamenanými vlastnostmi vlny:
  - Hodnota zkušebního napětí:  $\pm 3 \%$
  - Doba čela  $T_1$ :  $\pm 30 \%$
  - Doba půltýlu  $T_2$ :  $\pm 20 \%$
  - Velikost překmitu (pokud není stanoveno jinak):  $10 \%$

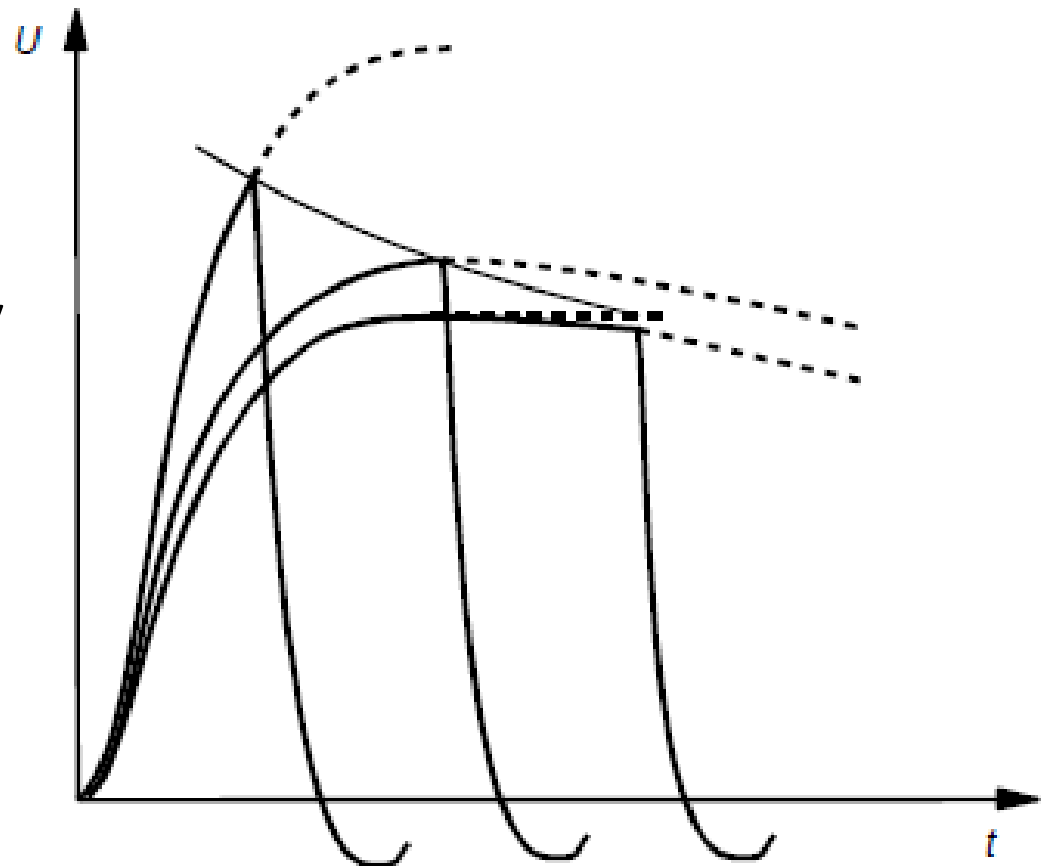
# Zkoušky atmosférickým impulzem

- Lze určit volt-sekundovou charakteristiku měřeného objektu (2 typy):
- Pro lineárně rostoucí impulzní napětí
  - Závislost vybíjecího napětí na době čela  $T_1$
  - Příkladají se pulzy s různou strmostí

# Zkoušky atmosférickým impulzem

- Pro impulzy s konstantním tvarem

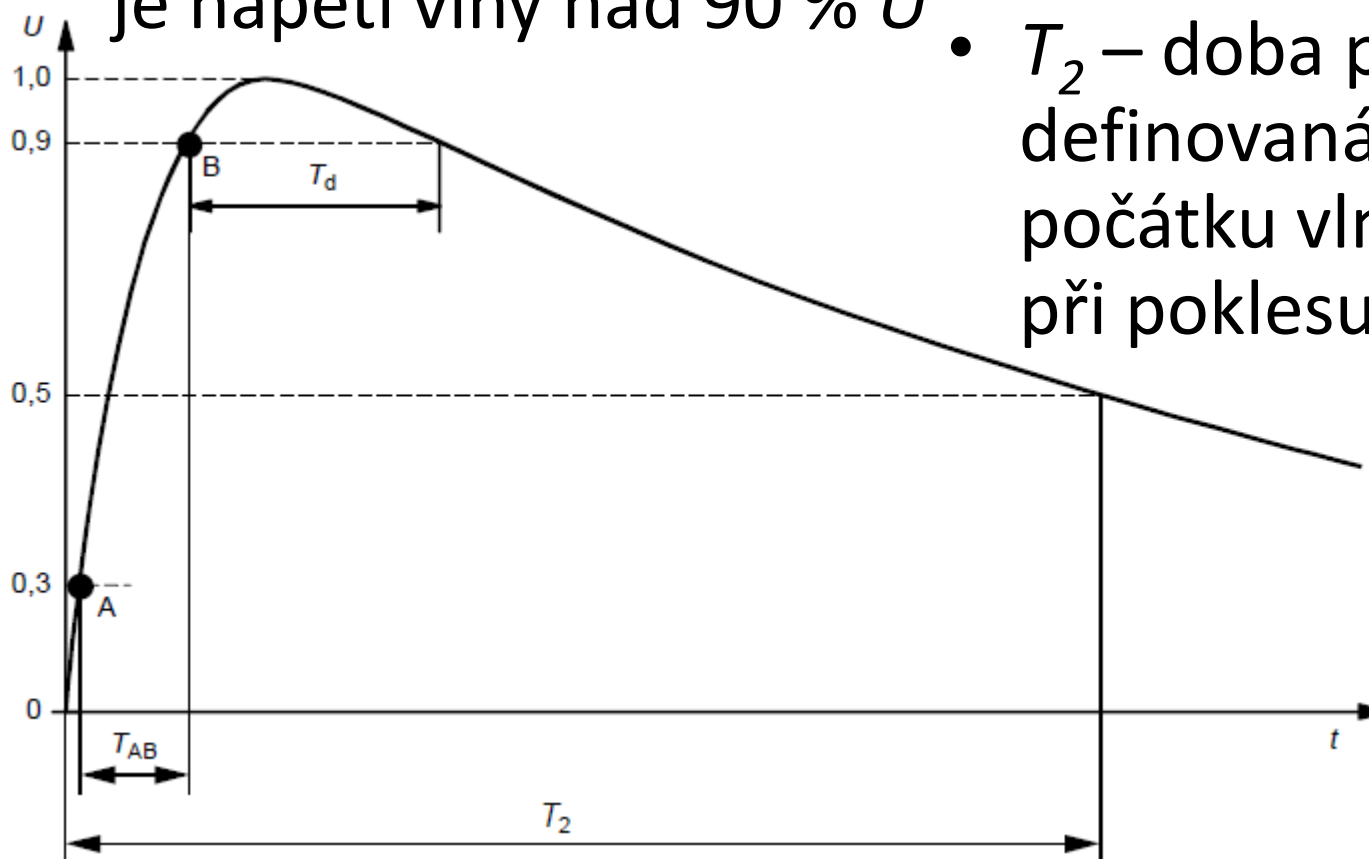
- Závislost napětí průrazu na době useknutí
- Příkladají se pulzy s různě nastavenou vrcholovou hodnotou





# Zkoušky spínacím impulzem

- $T_{AB}$  – čas za který vlna naroste z 30 % do 90 %  $U$
- $T_d$  – doba vrcholu – definovaná jako čas po který je napětí vlny nad 90 %  $U$
- $T_2$  – doba půltýlu – definovaná jako čas od počátku vlny do 50 %  $U$  při poklesu



# Zkoušky spínacím impulzem

- Spínací impuls je impuls s dobou čela minimálně  $20 \mu s$
- $T_p$  – doba do vrcholu – definovaná jako časový interval za který vlna naroste z počátku na maximální hodnotu napětí spínacího impulsu
- Pro normalizovanou vlnu se  $T_p$  určuje (v  $\mu s$ ):

$$T_p = KT_{AB}$$

*kde  $K$  je bezrozměrná konstanta daná:*

$$K = 2,42 - 3,08 \cdot 10^{-3}T_{AB} + 1,51 \cdot 10^{-4}T_2$$

# Zkoušky spínacím impulzem

- Normalizovaný spínací impulz má dobu do vrcholu  $T_p = 250 \mu s$  a dobu půltýlu  $T_2 = 2500 \mu s$  a označuje se jako “impulz 250/2500”
- Tolerance mezi určenými a skutečně zaznamenanými vlastnostmi vlny:
  - Hodnota zkušebního napětí:  $\pm 3 \%$
  - Doba do vrcholu  $T_p$ :  $\pm 20 \%$
  - Doba půltýlu  $T_2$ :  $\pm 60 \%$

# Zkouška výdržným napětím pro impulzy

- Existují 4 různé postupy, mezi kterými se volí s ohledem na zkoušený objekt
- Postup A:
  - Na zkoušený objekt se přikládají tři impulzy určeného tvaru a polarity na hladině stanoveného výdržného napětí
  - Pozitivní výsledek je když nedojde k přeskoku
  - Doporučeno pro zkoušky degradovatelné nebo se samočinně neobnovující izolace

# Zkouška výdržným napětím pro impulzy

- Postup B:
  - Na zkoušený objekt se přiloží 15 impulzů určeného tvaru a polarity na hladině stanoveného výdržného napětí
  - Pozitivní výsledek je když nedojde k přeskoku u samočinně se neobnovující izolace nebo když dojde k maximálně dvěma přeskokům u samočinně se obnovující izolace

# Zkouška výdržným napětím pro impulzy

- Postup C:
  - Na zkoušený objekt se přiloží tři impulzy určeného tvaru a polarity na hladině stanoveného výdržného napětí
  - Pozitivní výsledek je když nedojde k přeskoce
  - Pokud u samočinně se obnovující izolace dojde k jednomu přeskoce, tak se přiloží dalších 9 impulzů a pokud při nich nedojde k přeskoce, tak je výsledek také pozitivní

# Zkouška výdržným napětím pro impulzy

- Postup D:
  - V případě samočinně se obnovující izolace lze vyhodnotit velikosti napětí o 10 % šanci průrazu  $U_{10}$  ( $U_{50}$  pro 50 % šanci průrazu)
  - Tyto zkušební metody umožňují přímé určení  $U_{10}$  a  $U_{50}$  nebo nepřímé určení  $U_{10}$  ze vztahu

$$U_{10} = U_{50}(1 - 1,3s)$$

*kde  $s$  je směrodatná odchylka napětí průrazu*

*(při zkouškách izolace za sucha lze užít  $s = 0,03$  pro atmosférický impulz a  $s = 0,06$  pro spínací impulz)*

# Zkouška výdržným napětím pro impulzy

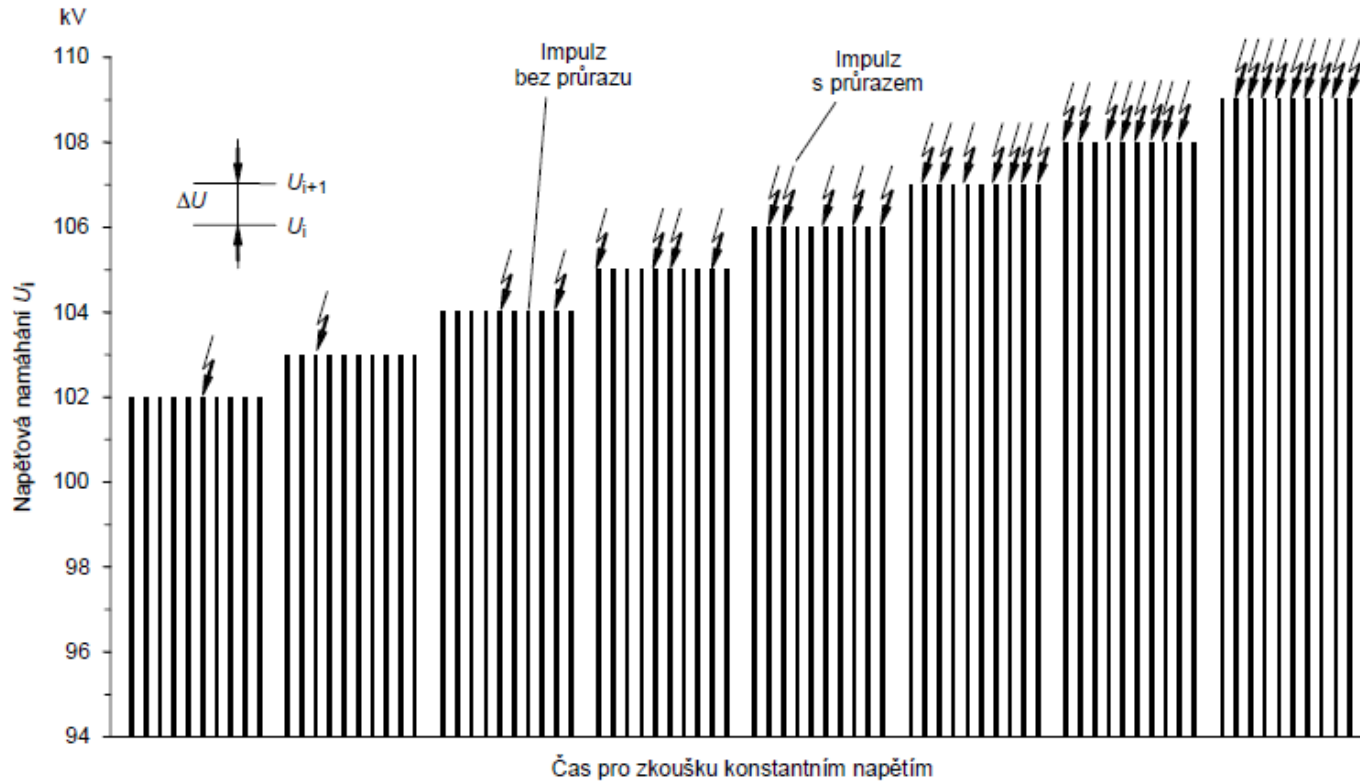
- Postup D:
  - Pokud je  $U_{10}$  menší než stanovené výdržné napětí, zkoušený objekt je vyhovující
  - Pro stanovení  $U_{50}$  lze užít následující dvě metody:
    - Metoda více hladin (s minimálním počtem hladin 4 a s minimálním počtem impulzů na hladině 10)
    - Metoda nahoru-dolů (s 1 impulzem na skupinu a minimálním počtem platných přiložených napětí 20)
  - Pro stanovení  $U_{10}$  lze užít následující metodu:
    - Metoda nahoru-dolů (se 7 impulzy na skupinu a minimálním počtem platných skupin napětí 8)



# Metoda více hladin

- Krok mezi hladinami  $\Delta U$  by měl být v rozsahu od 1,5 % do 3 % odhadnuté hodnoty  $U_{50}$
- Na každé napěťové hladině  $U_i (i=1,2,\dots,m)$  se přikládá se  $n_i$  impulzů
- Tyto impulzy způsobí na každé hladině  $k_i \leq n_i$  přeskoků

# Metoda více hladin



počet napětových namáhání, $i$	1	2	3	4	5	6	7	8
počet přiložení napětí, $n_i$	10	10	10	10	10	10	10	10
počet průrazných výbojů, $k_i$	1	1	2	4	5	7	8	9
četnost průrazných výbojů, $f_i = k_i/n_i$	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9
celkem průrazných výbojů, $g$	1	2	4	8	13	20	28	37

# Metoda více hladin

- Vyhodnocení zkoušky:

*Odhad pravděpodobnosti přeskočení na dané hladině  $p(U_i)$  je zde četnost průrazných výbojů  $f_i$  na příslušné hladině:*

$$p(U_i) = f_i = \frac{k_i}{n_i}$$

*Následně lze sestavit z  $m$  pravděpodobností jednotlivých hladin  $p(U_i)$  distribuční funkci  $p(U)$  a její parametry  $U_{50}$  a*

$$s = U_{50} - U_{16} = U_{84} - U_{50}$$

# Metoda více hladin

- Dříve se pravděpodobnostní funkce  $f(U)$  vynášela na pravděpodobnostní papír a parametry se odečetli
- Dnes se k vykreslení funkce a určení parametrů užívá počítačových programů využívající výpočty pomocí statistických metod maximální věrohodnosti a nejmenších čtverců

# Metoda nahoru-dolů

- Krok mezi hladinami  $\Delta U$  by měl být v rozsahu od 1,5 % do 3 % odhadnuté hodnoty  $U_{50}$
- Příkladá se  $m$  skupin o  $n_i$  stejných impulzech dané napětové hladiny  $U_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ )
- Mezi skupinami se vždy udělá krok  $\Delta U$  na nejbližší hladinu výše či níže
- Minimální počet platných skupin a počet impulzů ve skupině se určuje podle hledané napětové hladiny  $U_p$  dané pravděpodobnosti  $p$

# Metoda nahoru-dolů

- Typ snižování (výdržný postup): Krok  $\Delta U$  na vyšší hladinu se dělá, pokud vůbec nedošlo v aktuální skupině impulzů k přeskočení; pokud došlo k přeskočení, dělá se krok  $\Delta U$  na nižší hladinu
- Typ zvyšování (průrazný postup): Krok  $\Delta U$  na vyšší hladinu se dělá, pokud alespoň jednou nedošlo v aktuální skupině impulzů k přeskočení; pokud došlo k přeskočení při každém impulzu v aktuální hladině, dělá se krok  $\Delta U$  na nižší hladinu

# Metoda nahoru-dolů

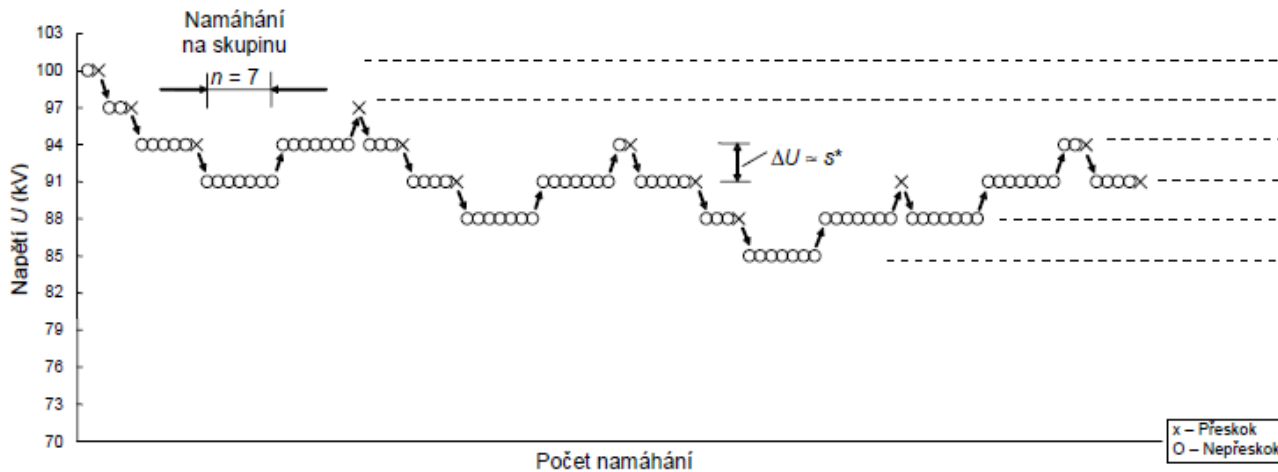
- Výsledkem je počet  $k_i$  skupin použitých na odpovídajících napěťových hladinách  $U_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ )
- První platná hladina  $U_i$ , která se bere v úvahu je ta, ve které se aplikovali minimálně dvě skupiny namáhání
- Celkový počet platných skupin je pak:

$$m = \sum_{i=1}^l k_i$$

*pro napěťové hladiny  $i = 1, \dots, l$*

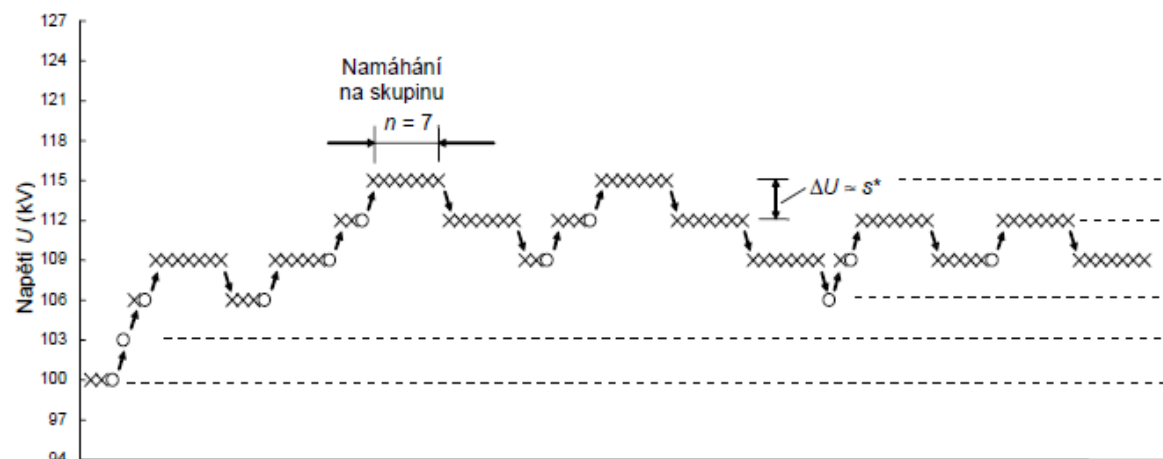
# Metoda nahoru-dolů

Příklad metody nahoru a dolu výdržným a průrazným postupem (určení  $U_{10}$  a  $U_{90}$ )



Počet namáhání

Sníživání



Počet namáhání

Zvyšování

1				18	194	$p = 10\%$	$U_{10} = 91,8 \text{ kV}$	
2	4	2	97					470
5	3	5	94					637
7	2	7	91					352
4	1	4	88					
1			kV					
Počet $k_i$ skupin na $u_i$				Celkový počet $m$ přijatých skupin	Výraz $k_i \cdot u_i$	Pravděpodobnost průrazného napětí $n = 7$	Průrazné napětí $u_p$	
Počet $i = 1, \dots$ / přijatých napětí								
Počet $k_i$ přijatých skupin								
Napětí $u_i$ přijatých skupin								
2	4	2	115	18	230	$p = 90\%$	$U_{90} = 110,2 \text{ kV}$	
6	3	6	112					672
7	2	7	109					763
3	1	3	106					318
1								
1			kV					



# Metoda nahoru-dolů

- Vyhodnocení zkoušky:

*Odhad velikosti napětí dané pravděpodobnosti přeskoku  $p$ :*

$$U_p = \sum_{i=1}^l (k_i U_i) / m$$

*kde  $k_i$  je počet skupin namáhání (o  $n$  přiložených napětích) na každé napěťové hladině  $U_i$ ,  $m$  je celkový počet platných skupin*

*Hladina napětí započítaných skupin by se neměla od  $U_p$  lišit o více než  $2\Delta U$  (eliminace značné chyby).*

# Metoda nahoru-dolů

*Definice pravděpodobnosti pro hledanou napětovou hladinu  $U_p$  je:*

*pro výdržný postup*  $p = 1 - 0,5^{1/n}$

*pro přeskokový postup*  $p = 0,5^{1/n}$

- Příklady počtu přiložených napětí ve skupině  $n$  pro hledanou pravděpodobnost přeskoků  $p$

$n =$	70	34	14	7	4	3	2	1	
$p =$	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	(výdržný postup)
$p =$	0,99	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,50	(výbojový postup)

# Metoda rychlého určení $U_{50}$ pro zkoušky průrazným napětím

- U většiny zkoušek průrazným napětím lze rychle vyhodnotit hodnotu  $U_{50}$  a  $s$  z naměřeného souboru hodnot  $U_i$  z  $n$  měření
- Platí jen pro normální (Gaussovo) rozdělení !

$$U_{50} = \sum_{i=1}^n U_i / n$$

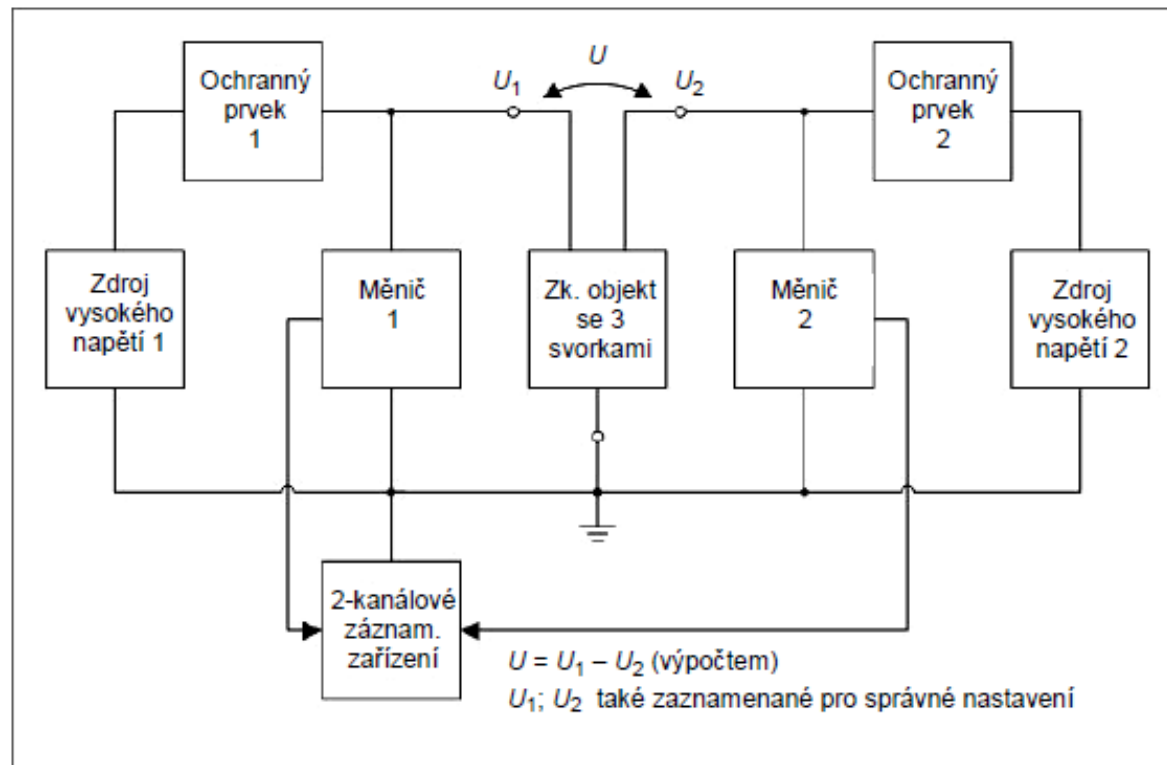
$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(U_i - U_{50})^2}{n - 1}}$$

# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Kombinované napětí = napětí, které se objeví mezi dvěma svorkami zkoušeného třísvorkového objektu (třetí svorka je uzemněna)
- Na obě napěťové svorky jsou přivedena různá napětí, která jsou generována dvěma různými zdroji
- Hodnota kombinovaného napětí je dána maximálním rozdílem potenciálu obou dílčích napětí

# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Schéma obvodu pro zkoušky kombinovaným napětím

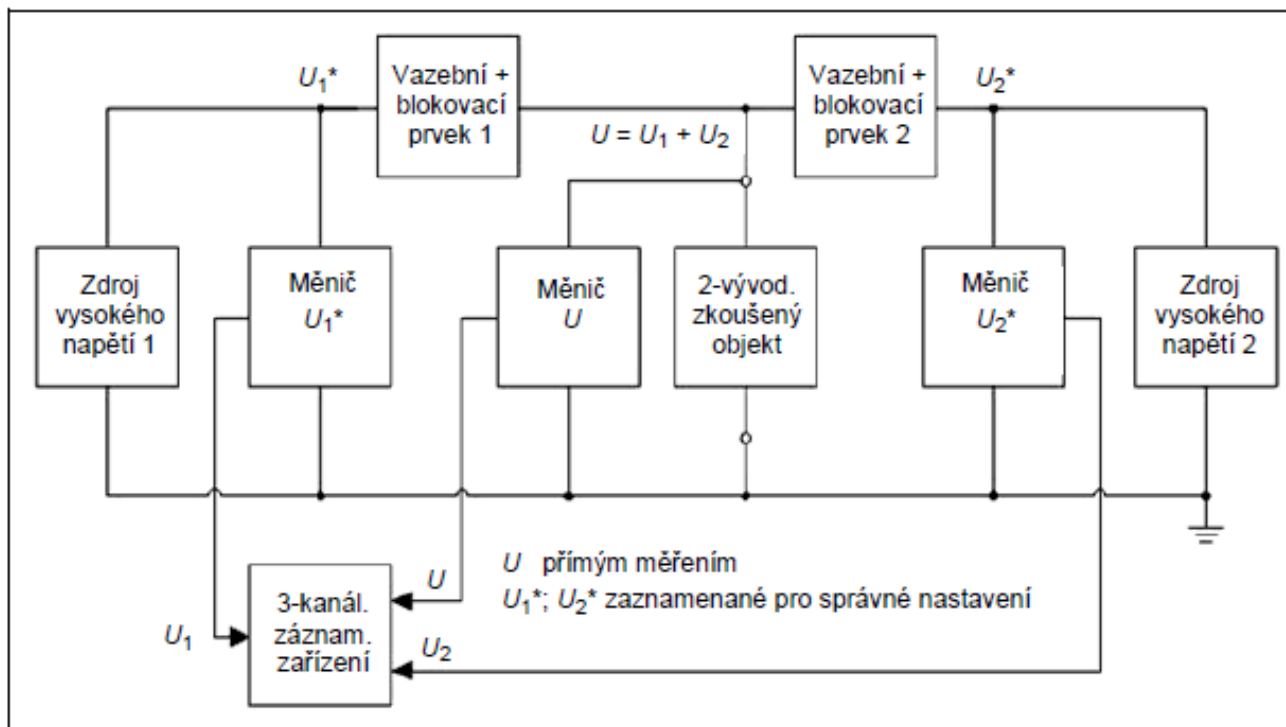


# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Složené napětí = napětí, které se objeví na zkoušeném dvousvorkovém objektu (druhá svorka je uzemněna)
- Napětí je složeno z dvou superponovaných složek zkušebních napětí, které jsou generovány dvěma různými zdroji
- Hodnota složeného napětí je dána maximální absolutní hodnotou napětí naměřenou na zkoušeném objektu

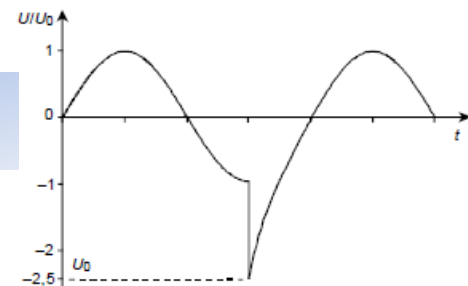
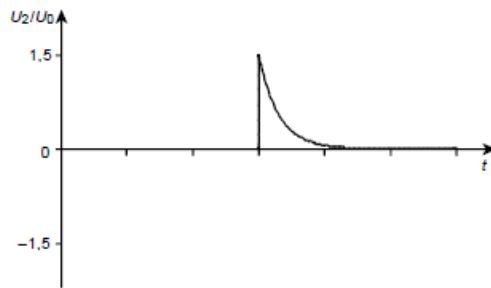
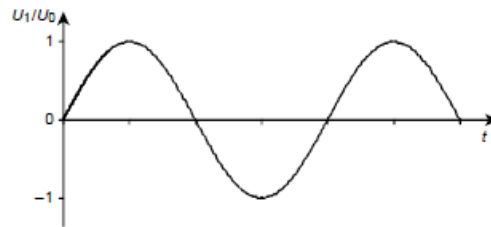
# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Schéma obvodu pro zkoušky složeným napětím



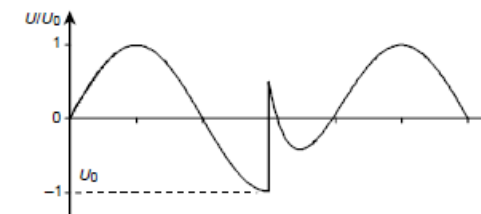
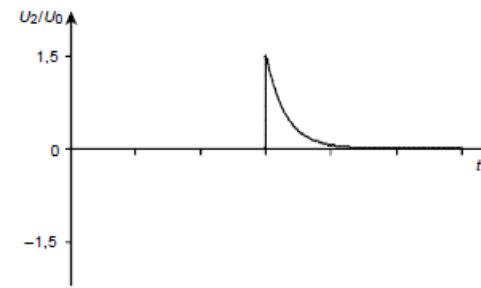
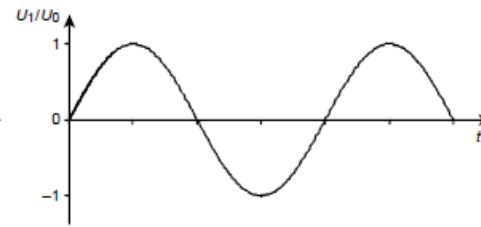
# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Příklad kombinovaného napětí (napětí mezi dvěma svorkami vn)



$$U = U_1 - U_2$$

- Příklad složeného napětí (napětí mezi svorkou vn a zemí)



$$U = U_1 + U_2$$



# Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Při průrazu se musí pomocí ochranných prvků zajistit odpojení od obou zdrojů složek zkušebního napětí
- Zkušební napětí musí být popsáno parametry:
  - Hodnotou napětí
  - Časovým zpožděním mezi jednotlivými složkami  
= časový interval mezi okamžiky, kdy dosahují obě složky napětí svých maximálních hodnot
  - Běžnými parametry jednotlivých složek dle typu napětí (AC, DC, impulz)