

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/m³
- 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 δ

$$k_1 = \delta^m$$

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 δ

$$k_2 = k^w$$

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

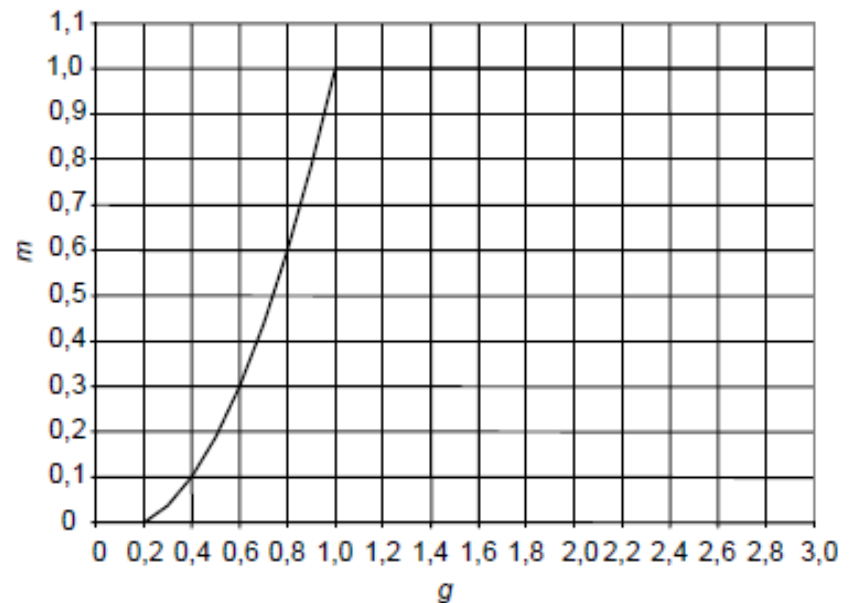
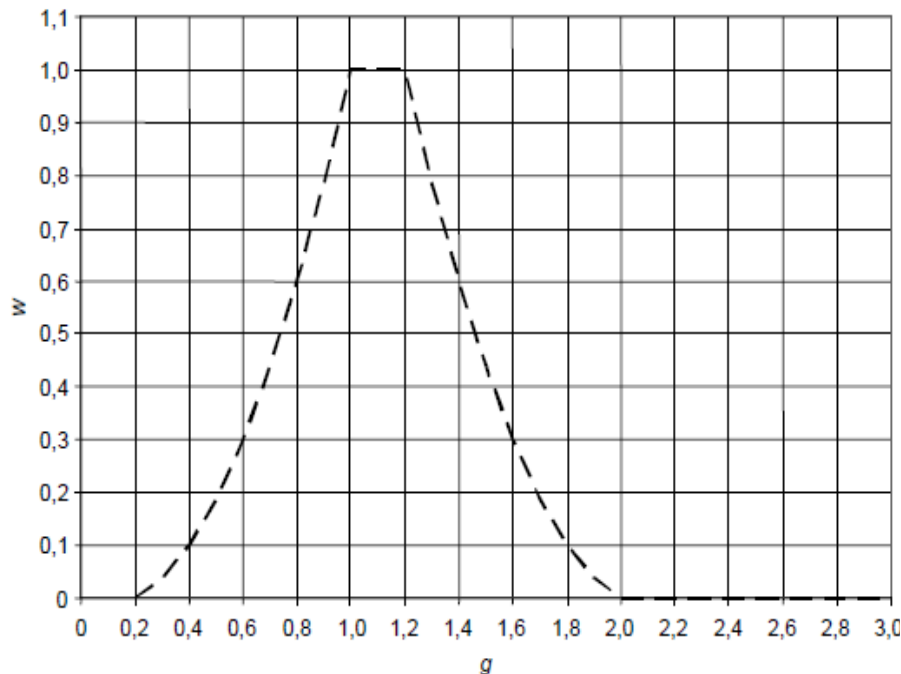
$$g = \frac{U_{50}}{500L\delta k}$$

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 μg chloridu sodného (NaCl) na 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

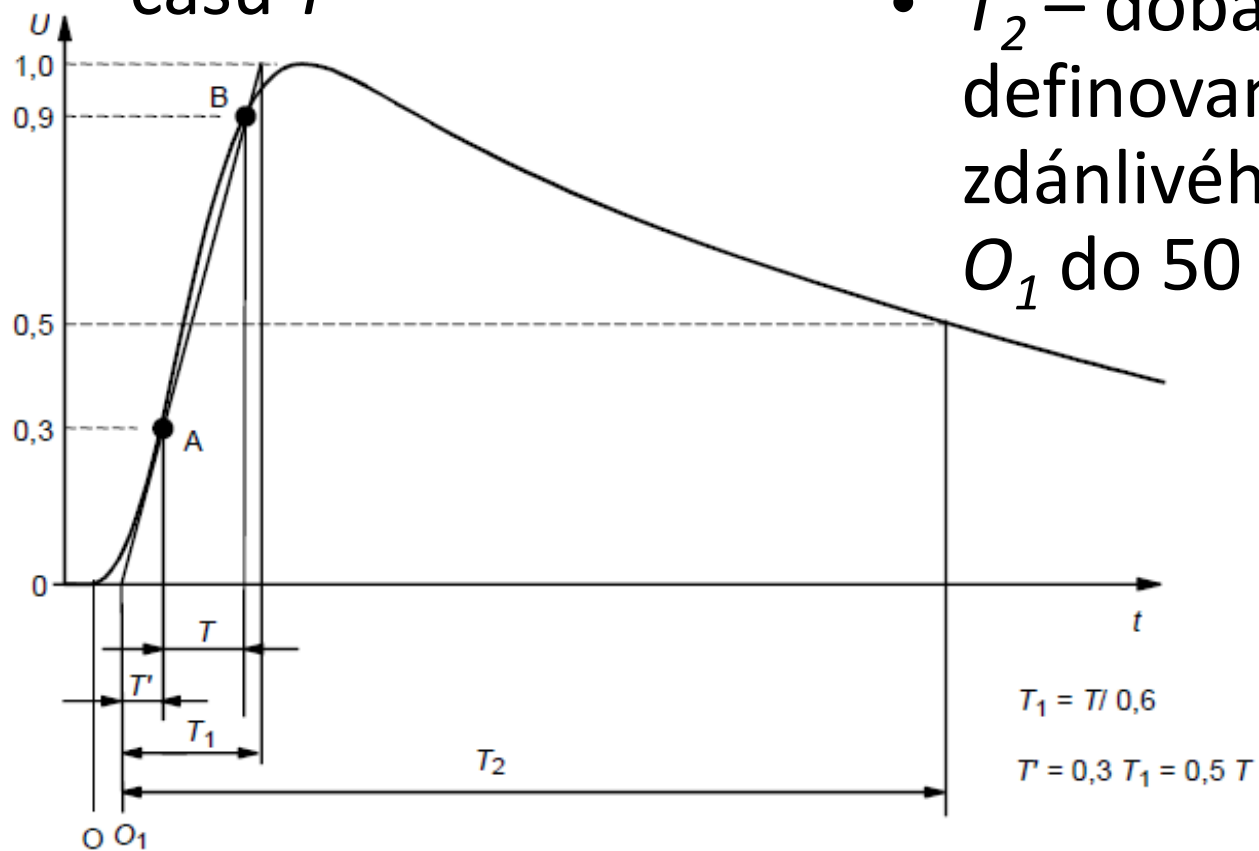
- Výdržné zkušební napětí U musí zkoušený objekt vydržet po předepsanou dobu
- Není-li stanoveno jinak s ohledem na ustálení stavu rozložení napětí, je trvání zkoušky 60 s
- Poté
 - u stejnosměrného obvodu se napětí odpojí a kapacita zkoušeného obvodu se vybije přes vybíjecí odpor
 - u střídavého obvodu 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 ($n \geq 10$)

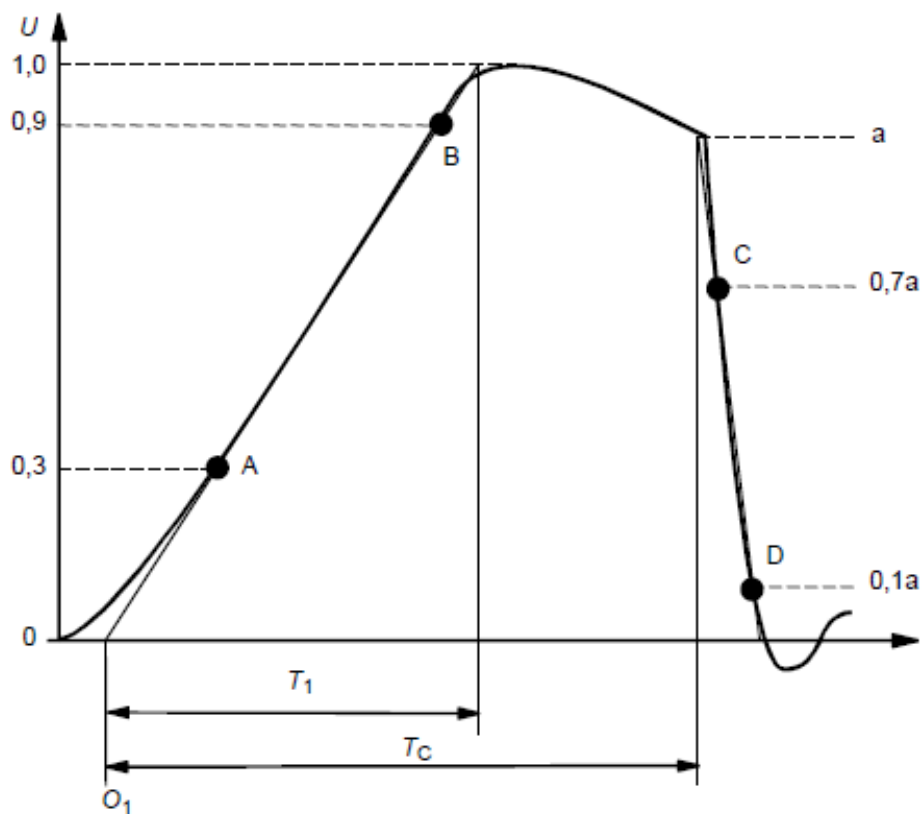
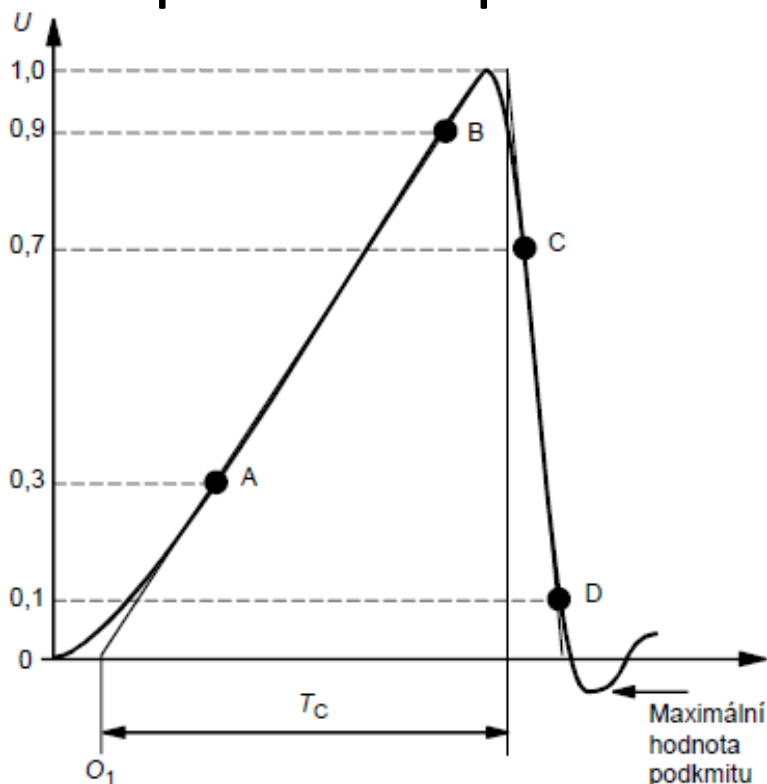
Zkoušky atmosférickým impulzem

- 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%

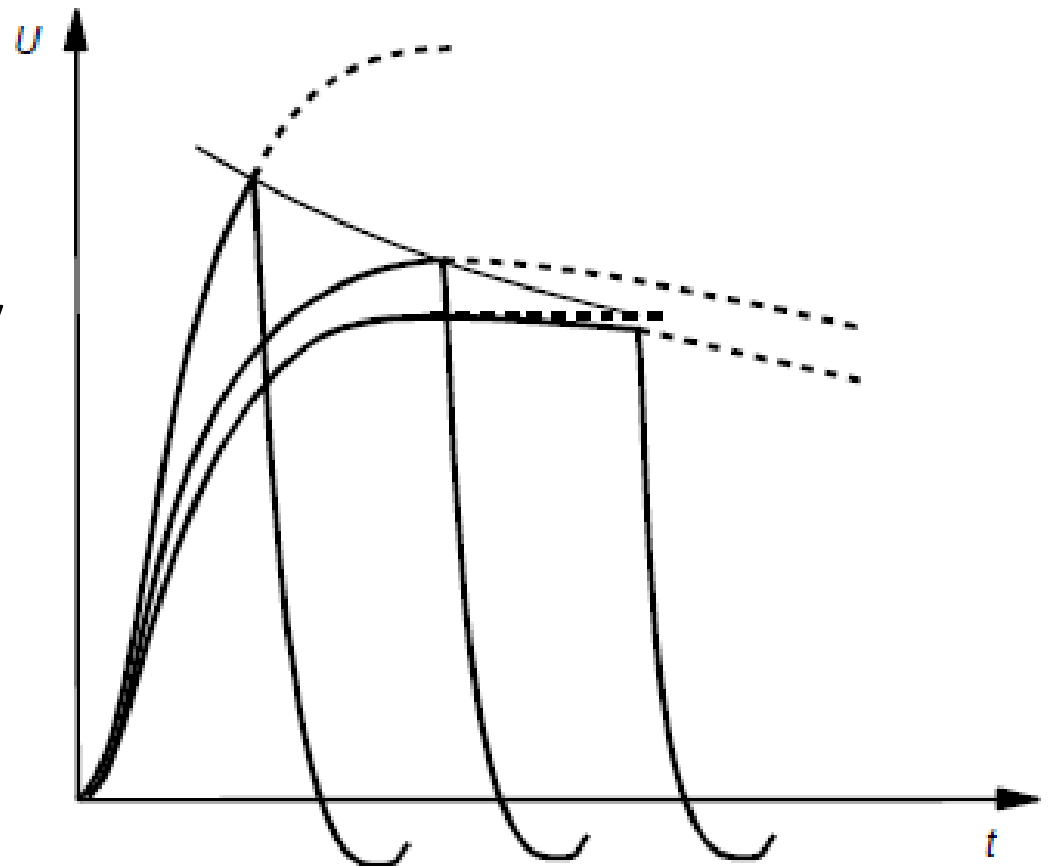
Zkoušky atmosférickým impulzem

- 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

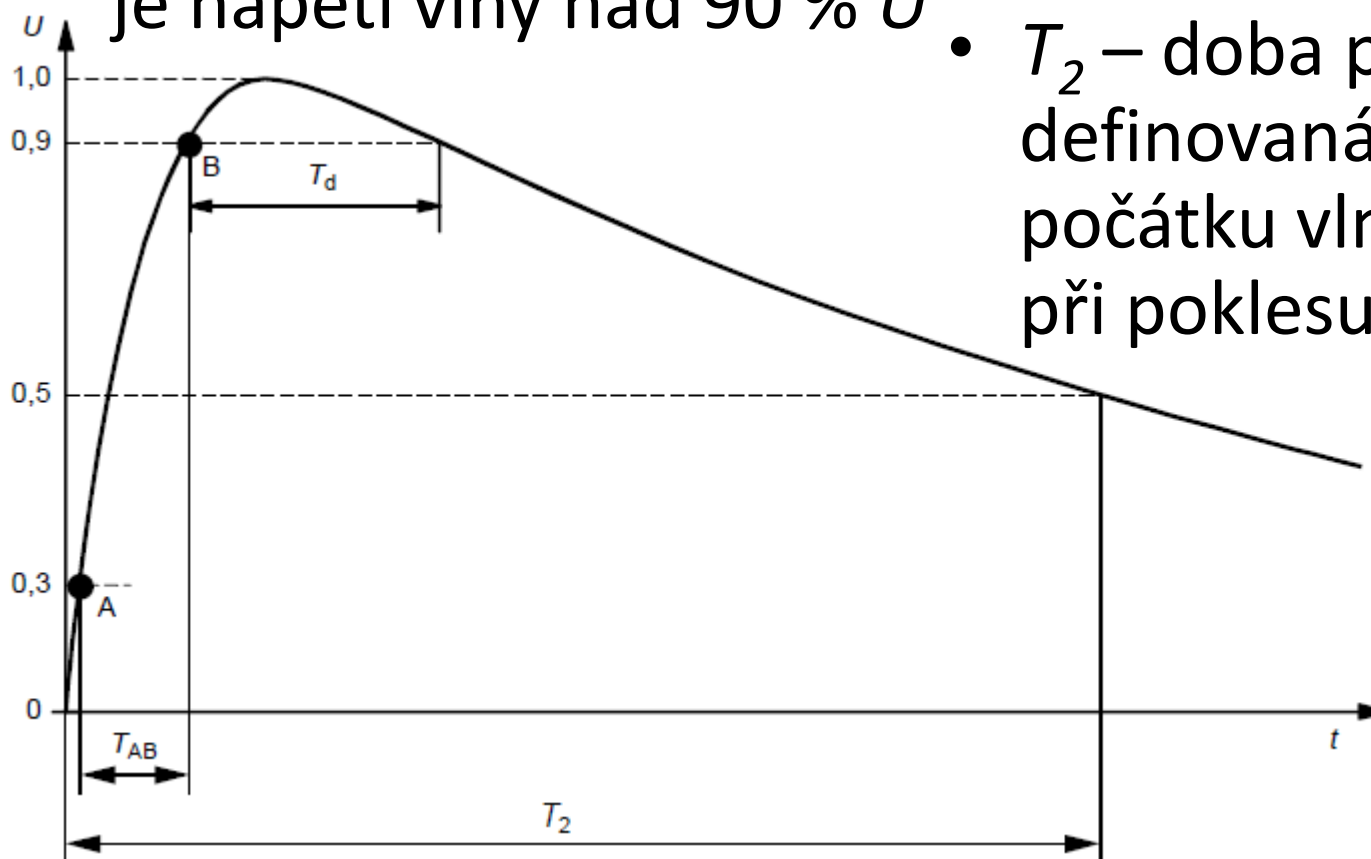
- Pro impulzy s konstantním tvarem

- 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 μs):

$$T_p = KT_{AB}$$

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 přeskoku
 - Pokud u samočinně se obnovující izolace dojde k jednomu přeskoku, tak se přiloží dalších 9 impulzů a pokud při nich nedojde k přeskoku, 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)

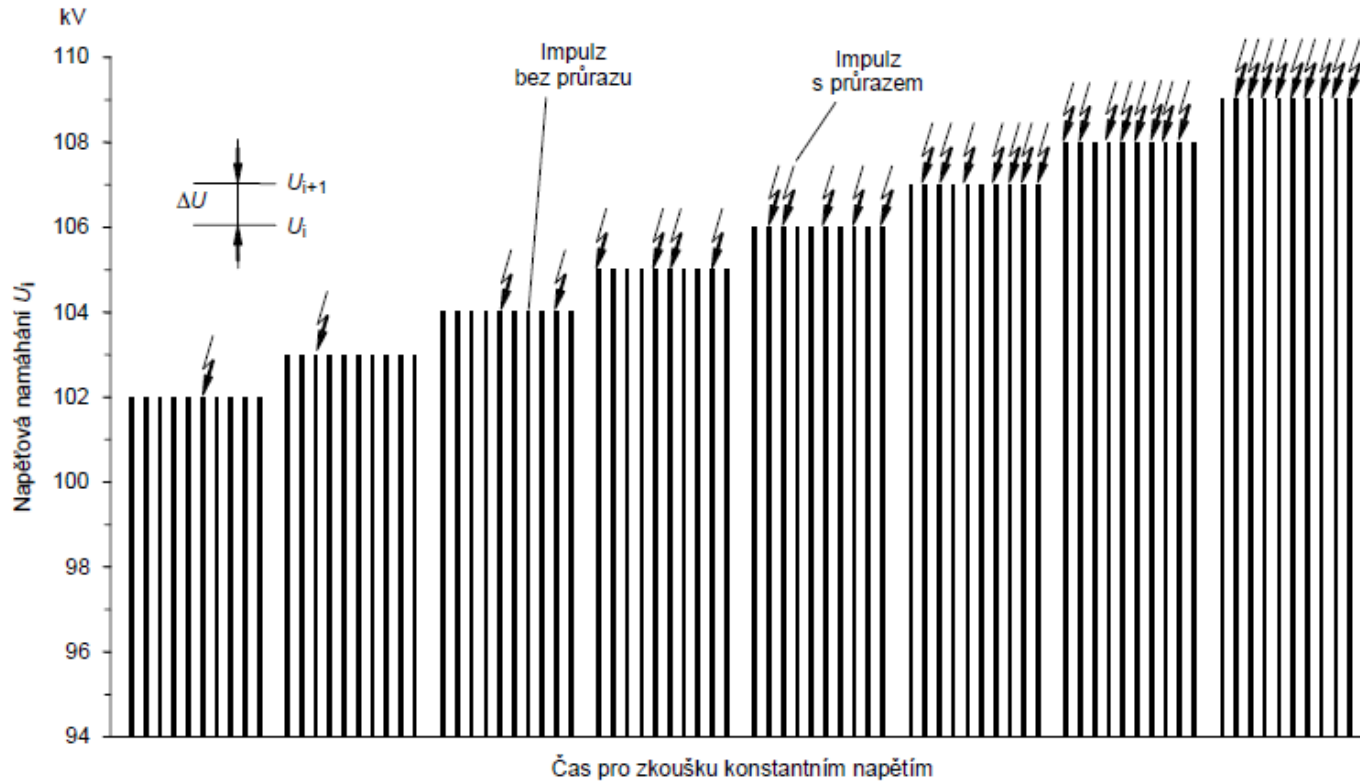
Zkouška výdržným napětím pro impulzy

- 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 ΔU 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 odečetly
- 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 ΔU 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 ΔU 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 ΔU na vyšší hladinu se dělá, pokud vůbec nedošlo v aktuální skupině impulzů k přeskočení; pokud došlo k přeskočení, dělá se krok ΔU na nižší hladinu
- Typ zvyšování (průrazný postup): Krok ΔU 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 ΔU na nižší hladinu

Metoda nahoru-dolů

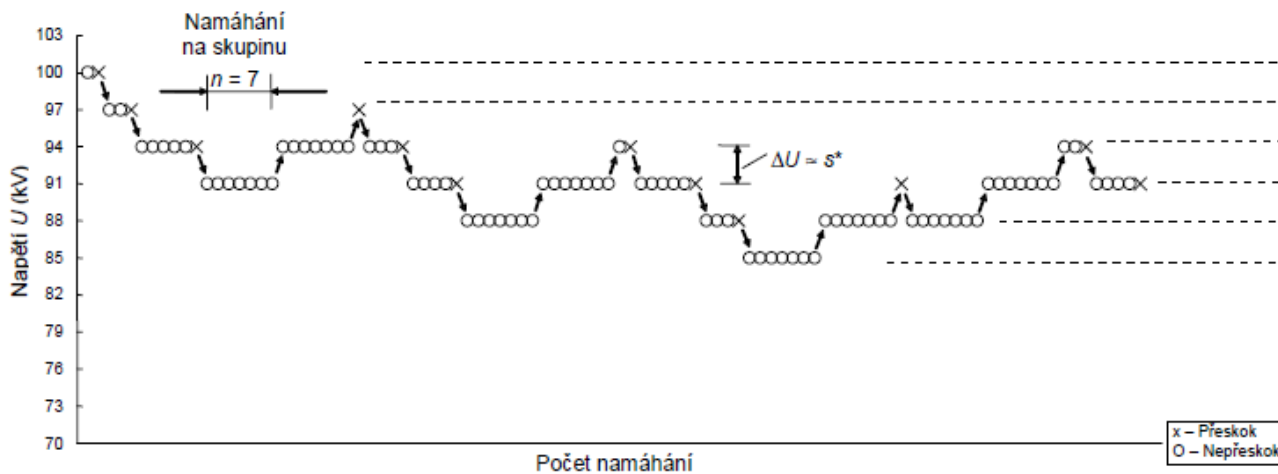
- Výsledkem je počet k_i skupin použitých na odpovídajících napěťových hladinách U_i ($i=1,2,\dots,m$)
- První platná hladina U_i , která se bere v úvahu je ta, ve které se aplikovali minimálně dvě skupiny namáhání
- Celkový počet platných skupin je pak:

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

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

Metoda nahoru-dolů

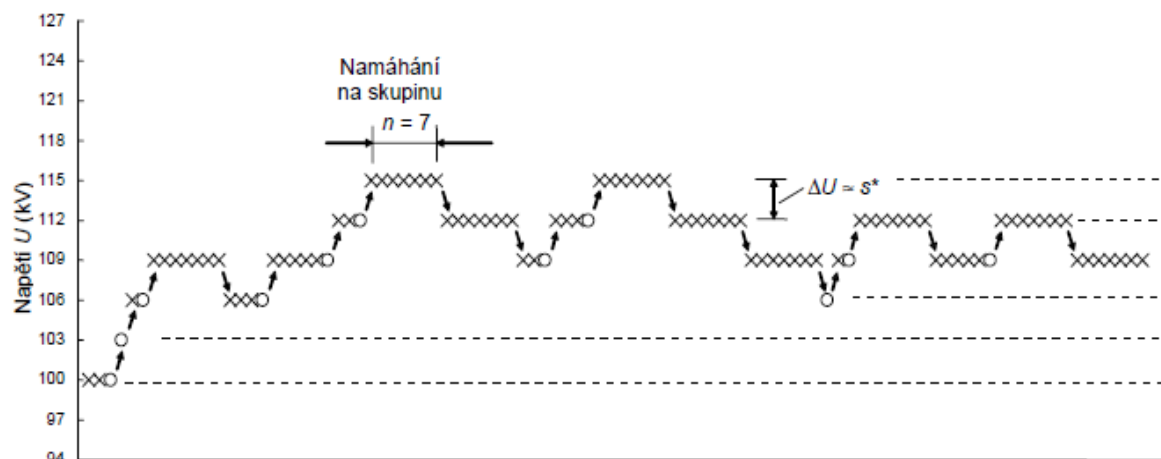
Příklad metody nahoru a dolu výdržným a průrazným postupem (určení U_{10} a U_{90})



Počet namáhání

Sníživání

x - Přeskok
o - Nepřeskok



Počet namáhání

Zvyšování

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

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

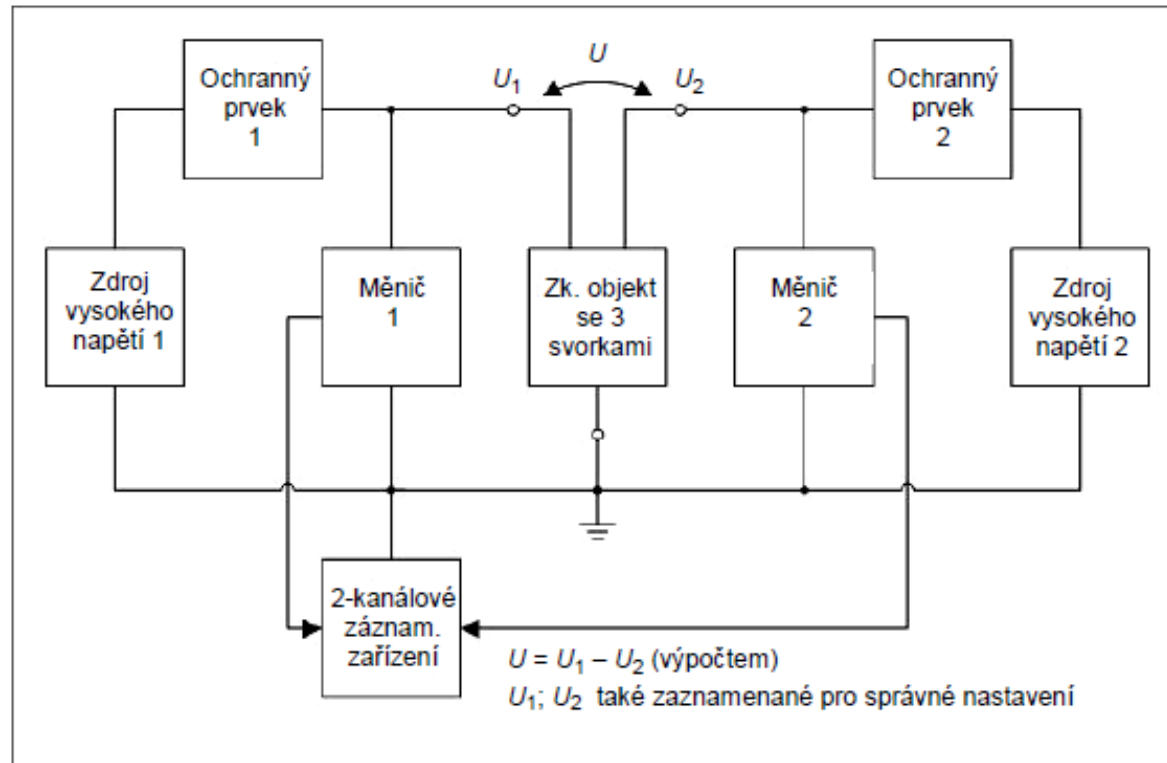
$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(U_i - U_{50})^2}{n - 1}}$$

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

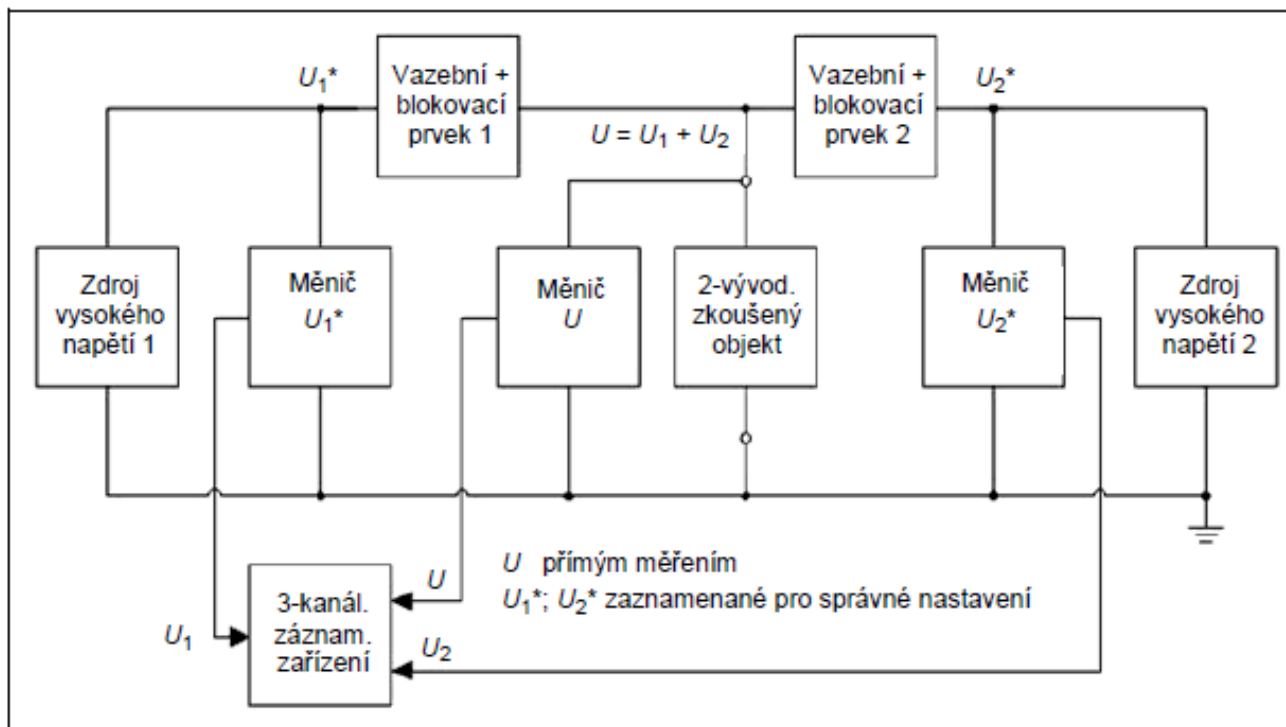


Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- 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

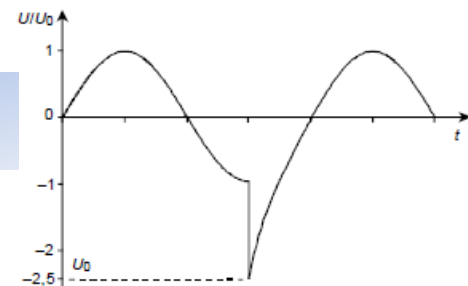
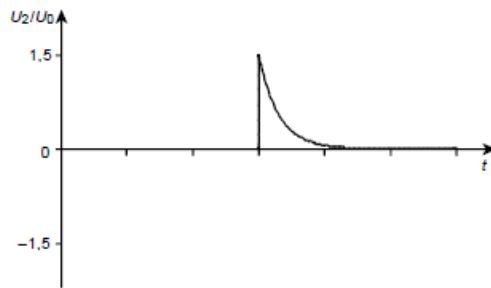
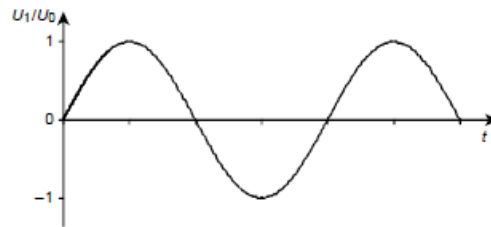
Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- Schéma obvodu pro zkoušky složeným napětím



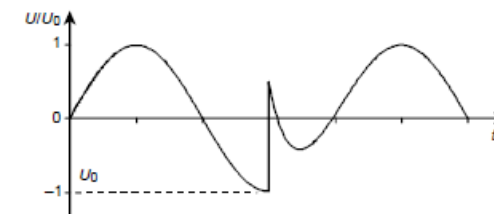
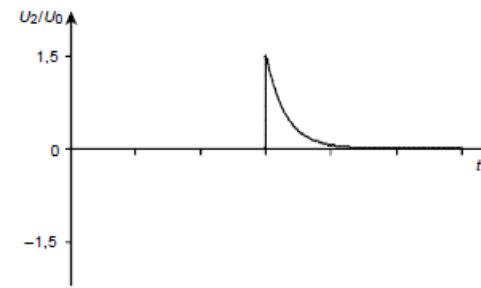
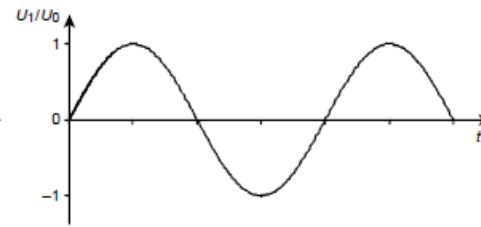
Zkoušky s kombinovaným a složeným napětím

- 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)