

PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY

ČEZ, E.ON CZ, E.ON distribuce, PRE distribuce, ČEPS, ZSE, ČSRES	Parametry kvality elektrické energie – Část 5: Přechodná přepětí – impulzní rušení	PNE 33 3430-5
		Třetí vydání
<p>Odsouhlasení normy</p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., PRE Distribuce, a.s., E.ON distribuce, a.s. a E.ON Česká republika, a.s.</p> <p>Tato norma stanoví podmínky hodnocení přechodných přepětí v distribučních soustavách, charakteristiky impulzního rušení a požadavky na určení odolnosti elektrických a elektronických zařízení energetiky proti impulznímu rušení.</p> <p>Nahrazení předchozích norem</p> <p>Touto normou se nahrazuje PNE 33 3430-5 z roku 2007.</p> <p>Změny proti předchozí normě</p> <p>V předmluvě byly doplněny nové citované normy a vypuštěny zastaralé normy souboru IEC 1000 a souboru ČSN EN 62305 týkající se ochrany před bleskem, která není předmětem této normy. V souladu se změnami kapitoly 6 byly do kapitoly 2 doplněny definice týkající se kategorií přepětí a následných stavů distribuční soustavy. Protože v ČSN EN 50160 ed.3 nejsou uvedeny žádné charakteristické hodnoty parametrů přechodných přepětí, byl název a text článku 4.1 změněn podle IEC/TR 61000-2-5, která byla revidována a jako další parametr byl v ní definován stupeň rušení. Do tohoto článku byla přesunuta tabulka 1 opravená podle IEC/TR 61000-2-5.</p> <p>Byl změněn název a text kapitoly 6 uvádějící charakteristiky mechanismu vazby mezi výskytem přechodných přepětí a potenciálně poruchových stavů soustav a zařízení. Změna stavu se zjišťuje detekováním složky reziduálního proudu. Výsledná složka reziduálního proudu se porovná s mezemi v IEC 60755 s následným případným včasným odpojením proudovým chráničem nebo se tato složka monitoruje podle ČSN EN 62020. V této kapitole byly kromě stavů distribučních soustav doplněny také stavy připojených obnovitelných zdrojů, u kterých se monitoruje rezistance funkční izolace, izolace uzemnění a také stav ostrovního provozu vyvolaného přechodným přepětím v soustavě a signalizuje se případné odpojení zdroje.</p>		
Ruší: PNE 33 3430-5 ed.2 z roku 2007	Účinnost od: 2013-01-01	

Předmluva

Citované normy

- ČSN IEC 50(161) (33 4201) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita (idt IEC 50(161):1990)
- STN IEC 60050-161 Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita
- ČSN CLC/TS 61836 Solární fotovoltaické energetické systémy – Termíny, definice a značky
- ČSN EN 50160 ed.3 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí
- STN EN 50160 Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej distribučnej siete
- ČSN EN 50438 Požadavky na paralelní připojení mikrogenerátorů s veřejnými distribučními sítěmi nízkého napětí
- ČSN EN 60146-1-1 Polovodičové měniče – Všeobecné požadavky a měniče se síťovou komutací – Část 1-1: Stanovení základních požadavků
- ČSN EN 60071-1 Elektrotechnické předpisy – Koordinace izolace – Část 1: Definice, principy a pravidla
- ČSN EN 60071-2 Elektrotechnické předpisy – Koordinace izolace – Část 2: Pravidla pro použití
- ČSN EN 60664 Koordinace izolace zařízení nízkého napětí
- IEC 60755 Všeobecné požadavky pro ochranné prostředky s reziduálním proudem (do ČSN nezavedena)
- ČSN EN 60990 Metody měření dotykového proudu a proudu ochranným vodičem
- ČSN EN 61000-2-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-2: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
- STN EN 61000-2-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Časť 2-2: Prostredie. Kompatibilné úrovne nízkofrekvenčných rušení šířených vedením a signalizácie vo verejných rozvodných sieťach nízkeho napätia
- ČSN EN 61000-2-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-4: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech
- IEC/TR 61000-2-5 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-4: Prostředí – Popis a klasifikace elektromagnetických prostředí
- STN EN 61000-2-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Časť 2-4: Prostredie. Úrovně kompatibility nízkofrekvenčných rušení šířených vedením v priemyselných podnikoch
- ČSN EN 61000-2-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-12: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích vysokého napětí
- STN EN 61000-2-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Časť 2-12: Prostredie. Úrovně kompatibility pre nízkofrekvenčné rušenie šírené vedením a signalizáciu vo verejných rozvodných sieťach stredného napätia
- IEC/TR 61000-3-15 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3 15: Meze – Určování požadavků na nízkofrekvenční elektromagnetickou odolnost a emisi pro systémy rozptýlené výroby v distribučních soustavách nízkého napětí (připravuje se)
- ČSN EN 61000-4-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-4: Zkušební a měřicí techniky – Rychlé elektrické přechodné děje/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti
- ČSN EN 61000-4-5 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti
- ČSN EN 61000-4-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-12: Zkušební a měřicí techniky – Tlumená sinusová vlna – Zkouška odolnosti
- ČSN EN 61000-4-18 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-18: Zkušební a měřicí techniky – Tlumená oscilační vlna – Zkouška odolnosti
- ČSN IEC 816 Směrnice o metodách měření krátkodobých přechodných jevů na vedeních nízkého napětí a na signálních vedeních
- ČSN EN 61000-4-30 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie

STN EN 61000-4-30 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Časť 4-30: Metódy skúšania a merania. Metódy merania kvality napájania

ČSN EN 61800 Systémy elektrických výkonových pohonů s nastaviteľnou rýchlosťou

STN EN 61800-3 Systémy elektrických výkonových pohonov s nastaviteľnou rýchlosťou. Časť 3: Požiadavky na elektromagnetickú kompatibilitu (EMC) a špecifické skúšobné metódy

ČSN EN 62020 Elektrická príslušenství – Přístroje pro monitorování reziduálního proudu pro domovní a podobné použití (RCM)

ČSN EN 62109-1 Bezpečnost výkonových měničů pro použití ve výkonových fotovoltaických systémech – Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN EN 62109-2 Bezpečnost výkonových měničů pro použití ve výkonových fotovoltaických systémech – Část 2: Zvláštní požadavky pro střídače

ČSN EN 62116 Postup zkoušky opatření zabráňujících ostrovnímu provozu provozovatelem elektrizační soustavy připojených fotovoltaických střídačů

STN EN 62116 Skúšobný postup preventívnych opatrení pre ostrovy funkčne prepojených fotovoltických strie-dačov

IEC 62477 Bezpečnostní požadavky na výkonové polovodičové měničové systémy – Část 1: Všeobecně (přípravuje se)

ČSN 33 0050-604 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie – Provoz

STN 33 0050-604 Medzinárodný elektrotechnický slovník – Kapitola 604: Výroba, prenos a rozvod elektrickej energie. Prevádzka

PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav

PNE 33 3430-7 Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti

Vypracování normy

Zpracovatel: Ing. Jaroslav Šmíd, CSc. – NELKO TANVALD, IČ-63136791

Pracovníci Komise pro technickou normalizaci při ČSRES: Ing. Pavel Kraják a Ing. Jaroslav Bárta

Obsah

	Strana
1	Předmět normy 5
2	Definice 5
3	Charakteristiky přechodných přepětí 7
3.1	Přechodná přepětí způsobená atmosférickými vlivy 7
3.2	Přechodná přepětí způsobená elektrickým spínáním nebo poruchami 8
4	Parametry přechodných přepětí 9
5	Měření přechodných přepětí a proudů 12
5.1	Souhrnné koncepce a požadavky na měření 13
5.2	Kmitočtové a amplitudové charakteristiky přechodných jevů v distribučních soustavách 14
5.3	Metody detekce a místo měření 15
6	Charakteristiky mechanismu vazby mezi výskytem přechodných přepětí a potenciálně poruchovými stavy soustav a zařízení 16
6.1	Kategorie přepětí a jmenovité údaje impulzního výdržného napětí 16
6.2	Šíření přechodných přepětí a jejich následné stavy distribuční soustavy 17
6.3	Šíření přechodných přepětí a jejich následné stavy systémů obnovitelných zdrojů 19
6.4	Stav ostrovního provozu systémů výroby obnovitelné energie 23
7	Citlivost ohrožených zařízení na impulzní rušení 23
7.1	Škodlivé účinky 24
7.2	Poruchy funkce 24
8	Zkoušky odolnosti proti impulznímu rušení 25
8.1	Úroveň odolnosti zařízení 25
8.2	Úroveň odolnosti systému 25
8.3	Třídy prostředí a instalace 25
8.4	Odolnost proti rychlým přechodným jevům/skupinám impulzů 26
8.5	Odolnost proti rázovému impulzu 28
8.6	Odolnost proti tlumené sinusové vlně 29
8.7	Odolnost proti tlumeným oscilačním přechodným jevům 30
8.8	Vyhodnocení výsledků zkoušky 33
8.9	Protokol o zkoušce 33
9	Požadavky pro zlepšení spolehlivosti zařízení připojených do soustav nízkého napětí 33

1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik přechodných přepětí a stanovení požadavků na odolnost zařízení energetiky proti impulzům způsobeným přepětími od spínacích a atmosférických přechodných jevů. Pro každý typ impulzů je v souladu se základními normami EMC uvedeno několik zkušebních úrovní týkajících se různých prostředí a podmínek instalace ohrožených zařízení.

Předmětem tohoto dílu PNE je vytvoření všeobecného podkladu pro vyhodnocování funkce zařízení, je-li vystaveno rušením impulzního charakteru vyskytujícím se na síťových a propojovacích přívozech.

Záměrem není hodnocení isolační pevnosti a odolnosti namáhání vysokým napětím síťového kmitočtu. V této normě není rovněž uvažován přímý úder blesku.

2 Definice

Pro účely této části PNE se používají následující definice (viz též ČSN IEC 50(161)).

2.1 dočasné přepětí (*temporary overvoltage*)

přepětí síťového kmitočtu s relativně dlouhou dobou trvání [ČSN 33 0050-604 Změna Z1, čl. 604-03-12]

POZNÁMKA □ Dočasná přepětí vznikají obvykle při spínání nebo při poruchách (např. náhlé odpojení zátěží, z jednofázové poruchy) nebo v důsledku nelinearity (ferorezonance, harmonická rezonance).

2.2 přechodné přepětí (*transient overvoltage*)

krátkodobé přepětí, oscilační nebo neoscilační, obvykle silně tlumené, netrvající déle než několik milisekund [ČSN 33 0050-604 Změna Z1, čl. 604-03-13]

2.3 spínací přepětí (*switching overvoltage*)

přechodné přepětí, jehož tvar může být pro účely koordinace izolace pokládán za podobný normalizovanému spínacímu napěťovému impulzu [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-29]

2.4 atmosférické přepětí (*lightning overvoltage*)

přechodné přepětí, jehož tvar může být pro účely koordinace izolace pokládán za podobný normalizovanému atmosférickému impulzu [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-30]

2.5 vnitřní přepětí (*internal overvoltage*)

dočasné nebo přechodné přepětí v distribuční soustavě vyplývající ze spínání nebo poruch v této distribuční soustavě [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-31]

2.6 vnější přepětí (*external overvoltage*)

dočasné nebo přechodné přepětí vyskytující se v distribuční soustavě a vyplývající z atmosférických výbojů nebo indukčního jevu [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-32]

2.7 rezonanční přepětí (*resonant overvoltage*): přepětí vyvolané rezonančním kmitáním vzniklým v distribuční soustavě [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-36]

2.8 bleskojistka; svodič přepětí (*lightning arrester; surge diverter; surge arrester*): prvek určený k ochraně elektrických přístrojů před vysokými přechodnými přepětími a pro omezení doby trvání a často i velikosti následného proudu [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-51]

POZNÁMKA □ Stávající vžitě české názvosloví neodpovídá anglickým názvům a jejich výkladu. Termín "svodič přepětí", anglicky "surge diverter" je souhrnný název pro jiskřiště, vyfukovací bleskojistky a bleskojistky jak jiskřišťové, tak bezjiskřišťové.

2.9 rázový impulz (*surge*): přechodná vlna elektrického proudu, napětí nebo výkonu, která se šíří podél vedení nebo obvodu a která je charakterizována rychlým růstem a pomalejším poklesem [IEV 161-08-11 modifikováno] [ČSN EN 61000-4-5, čl. 4.13]

2.10 přechodný jev (*transient*)

výraz pro jev nebo veličinu, které se mění mezi dvěma následnými stabilními stavy během časového intervalu, jenž je krátký ve srovnání s celým uvažovaným časovým obdobím [ČSN IEC 50(161), čl. 161-02-01]

2.11 skupina impulzů (*burst*)

posloupnost omezeného počtu jednotlivých impulzů nebo oscilací s omezeným trváním [ČSN IEC 50(161), čl. 161-02-07]

2.12 doba náběhu (impulzu) (*rise time (of a pulse)*)

časový interval mezi okamžiky, kdy okamžitá hodnota impulzu nejprve dosáhne zadanou spodní a potom zadanou horní úroveň [ČSN IEC 50(161), čl. 161-02-05]

POZNÁMKA V normě ČSN EN 61000-4-12 jsou okamžiky časového intervalu upřesněny na okamžiky, kdy okamžitá hodnota impulzu nejprve dosáhne 10 % a potom 90 % vrcholové hodnoty.

2.13 **dobu čela normalizovaného atmosférického impulzu** (*virtual front duration of a lightning impulse*) smluvně určená doba trvání nahrazující skutečné čelo normalizovaného atmosférického impulzu úsečkou, která prochází dvěma definovanými body tohoto čela [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-19]

2.14 **dobu čela spínacího impulzu** (*impuls time to crest of a switching impulse*)

časový úsek mezi skutečným počátkem spínacího impulzu a jeho maximem [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-21]

2.15 **dobu půltýlu (impulzu)** (*time to half value (of an impulse)*)

časový úsek mezi počátkem impulzního napětí a okamžikem v týlu, kdy napětí pokleslo na polovinu maximální hodnoty [ČSN 33 0050-604, čl. 604-03-22]

2.16 **náběžná doba** (*front time*)

napětí rázového impulzu (*surge voltage*)

náběžná doba T_1 napětí rázového impulzu je virtuální parametr definovaný jako 1,67násobek intervalu T mezi okamžiky, kdy impulz dosahuje 30 % a 90 % vrcholové hodnoty (viz obrázek 10)

proudu rázového impulzu (*surge current*)

náběžná doba T_1 proudu rázového impulzu je virtuální parametr definovaný jako 1,25násobek intervalu T mezi okamžiky, kdy impulz dosahuje 10 % a 90 % vrcholové hodnoty

[ČSN EN 61000-4-5, čl. 3.11]

2.17 **měřicí řetězec** (*measurement chain*)

jeden nebo více elektrických přístrojů navzájem spojených za účelem měření a záznamu elektromagnetického signálu

2.18 **prostředek pro ochranu proti rázovému impulzu (SPD)** (*surge protection device (SPD)*)

ochranný prostředek proti rázovému impulzu, který se používá ke snížení přechodných přepětí

2.19 **zařízení přeměny energie (PCE)** (*power conversion equipment (PCE)*)

elektrické zařízení měnící jeden druh elektrické energie ze zdroje napětí nebo proudu na jiný druh elektrické energie se zřetelem na napětí, proud a kmitočet

2.20 **kategorie přepětí (OVC)** (*overvoltage category (OVC)*)

číselné označení definující klasifikaci podmínek přechodného přepětí [IEC 60664-1]

POZNÁMKA 1 Popis čtyř kategorií přepětí viz 6.1.

POZNÁMKA 2 Přechodné přepětí je definováno jako „přepětí krátké doby trvání několik milisekund nebo méně, oscilační nebo neoscilační, obvykle silně tlumené“ [IEV 604-03-13]. Nemělo by to být zaměňováno s dočasným přepětím (zvýšení napájecího napětí), které je definováno jako „přepětí síťového kmitočtu poměrně dlouhé doby trvání“.

2.21 **výdržné napětí** (*withstand voltage*)

napětí přiložené za předepsaných zkušebních podmínek na vzorek, které nezpůsobí průraz a/nebo přeskok na vyhovujícím vzorku [IEV 212-01-31]

2.22 **reziduální proud** (*residual current*)

vektorový součet proudů tekoucích ve vodičích normálně vedoucích proud obvodu sítě, vyjádřený jako efektivní hodnota

2.23 **proudový chránič (RCD)** (*residual current device (RCD)*)

zařízení, které odpojí obvod kdykoliv zjistí, že reziduální proud není v předepsaném rozmezí

2.24 **přístroj pro monitorování reziduálního proudu (RCM)** (*residual current monitoring device (RCM)*)

zařízení nebo soubor zařízení, které monitorují reziduální proud v elektrické instalaci a které aktivují výstrahu, když reziduální proud překročí pracovní hodnotu [ČSN EN 62020, čl. 3.3.1]

2.25 **rušení šířené vedením** (*conducted disturbance*)

elektromagnetický jev šířící se po vodičích vedení distribuční sítě

POZNÁMKA V některých případech se elektromagnetický jev šíří přes vinutí transformátoru a tudíž mezi sítěmi různých napěťových úrovní. Tato rušení mohou zhoršovat funkci přístrojů, zařízení a systémů, nebo mohou způsobit jejich poškození.

2.26 stupeň rušení (*disturbance degree*)

uvnitř rozsahu úrovní rušení specifikovaná, kvantifikovaná intenzita odpovídající konkrétnímu elektromagnetickému jevu s nímž se setkáme v prostředí, které je předmětem zájmu

3 Charakteristiky přechodných přepětí

Přechodná přepětí mohou být tříděna podle jejich původu:

- a) způsobená atmosférickými vlivy, například bleskem;
- b) způsobená elektrickým spínáním nebo poruchami.

Oba jevy jsou nepředvídatelné a mají převážně náhodný charakter. Jejich četnost výskytu za rok se značně mění podle typu napájecí sítě a místa sledování. Mimoto může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

3.1 Přechodná přepětí způsobená atmosférickými vlivy

Tyto jevy vznikají úderem blesku. Nejvíce se projevují na venkovních vedeních a na úsecích nestíněných kabelů. V místech nejbližších k místu, kde přechodný jev vznikl, může být doba náběhu velmi krátká a amplituda velká. Při šíření přechodného jevu podél vedení se může doba náběhu a poklesu výrazně prodloužit, amplituda se může zmenšit. Typické hodnoty těchto přechodných jevů jsou mikrosekundy pro doby náběhu a 50 μ s až 50 ms pro doby poklesu. U stíněných kabelů a kabelů uložených v místech s nízkým odporem půdy se účinky na vnitřní vodiče redukuje. Tato přepětí mohou být jak jednosměrné impulzy (rázový impulz) tak i oscilačního charakteru.

Četnost výskytu přechodných jevů se mění do značné míry v závislosti na konkrétní distribuční soustavě, množství výskytů a druhu atmosférických vlivů apod. Předpověď pro konkrétní distribuční soustavu je vždycky obtížná a mnohdy nemožná. Četnost je vztažena k úrovni řady impulzů; nízkourovňové řady impulzů jsou převládající nad vysokourovňovými řadami impulzů.

Je podstatné rozlišovat, že řady impulzů napětí pozorované v distribuční soustavě mohou být buď budícím napětím nebo napětím omezeným nějakou přeskokovou vzdáleností v soustavě. Termínem „nechráněný obvod“ se rozumí, že se jedná o obvod, v kterém nebyl instalován žádný ochranný prvek, ale ve kterém přeskoková vzdálenost případně omezí maximální napětí.

Rozložení úrovní řady impulzů je proto ovlivněno jednak mechanismem generujícím řadu impulzů a jednak úrovní přeskokových vzdáleností v soustavě. Toto rozlišení mezi skutečným budícím napětím a napětím omezeným přeskokem je zejména důležité na rozhraní mezi venkovními a vnitřními zařízeními. Venkovní zařízení má obecně větší vzdálenosti a proto i větší přeskokové úrovně: typicky 10 kV, ale možných je až 20 kV. Na rozdíl od toho většina vnitřních instalací v distribučních soustavách nn má přeskokové úrovně asi 6 kV; tato úroveň 6 kV může být proto vybrána jako mezní pro výskyt řad impulzů ve vnitřních instalacích.

3.1.1 Mechanismy, kterými blesk vytváří impulzy napětí

Většina mechanismů, kterými blesk vytváří rázové impulzy napětí, je podle ČSN EN 61000-4-5 ed.2. následující:

- a) přímý úder blesku do venkovního obvodu způsobující vysoké proudy, které buď průchodem přes zemní odpor, nebo průchodem přes impedanci obvodu vytvářejí napětí;
- b) nepřímý úder blesku (tj. úder mezi mraky nebo uvnitř mraků nebo úder do okolních objektů, který vytváří elektromagnetická pole), který indukuje napětí/proudy na vodičích vně a/nebo uvnitř budovy;
- c) průchod zemního proudu blesku, který je výsledkem spojení přímého zemního výboje se společnou zemní cestou uzemňovacího systému instalace.

Při funkci ochrany se může vyskytnout rychlá změna napětí a průchod proudu, které mohou mít vazbu na interní obvody.

Pro venkovní vedení typickým reprezentantem bleskem způsobeného tvaru vlny je jednosměrný rázový impulz s náběžnou dobou asi 1 mikrosekunda a dobou trvání až desítky mikrosekund (odpovídající normalizovaný impulz 1,2/50 μ s). Proudová vlna vyvolaná touto napěťovou vlnou aplikovanou na nelineární přepěťový ochranný prvek je typicky 8/20 μ s .

Typickým reprezentantem tvaru vlny pro přechodné jevy vyskytující se na vnitřních nízkonapěťových vedeních je tlumená oscilační vlna, i když původní vlna blesku je jednosměrná. Uvnitř budovy je počáteční rušení modifikováno přirozenými oscilacemi prvků obvodu a vícenásobnými odrazy. V závislosti na rozměrech obvodu je kmitočet oscilací v rozsahu od asi 5 kHz až asi do 500 kHz, s počáteční náběžnou dobou zlomek mikrosekundy.

Na předávacím místě distribuční soustavy do budovy by reprezentativní popis přechodného jevu měl zahrnovat jak tlumenou oscilační vlnu, tak i kombinovanou jednosměrnou vlnu. Druhotný jev způsobený přeskokem v distribuční soustavě se může vyskytnout a může hlavně modifikovat náběžnou dobu a v menším rozsahu i trvání.

Obvody vystavené nepřímému účinku blesku (induktivní vazbou mezi vedeními) jsou hlavně ovlivněny strmostí náběhu primárního impulzu. Vazební mechanismus, počínaje jeho původním kmitočtovým spektrem, dává vznik oscilacím, jejichž charakteristiky závisí na impedanci uzemňovacích obvodů, na kovových konstrukcích podílejících se na vedení proudu blesku a dále na šíření po příslušném vedení nízkého napětí. Typickým oscilačním impulzem tohoto typu je tlumená sinusová vlna.

Četnost opakování tohoto přechodného jevu je přímo závislá na četnosti výskytu primárního jevu; je čtenější kdykoliv je primární příčinou spínání zatížení ovládacích vedení a méně časté v případě poruch a blesku; výskyt může být v rozsahu od 1/s do 1/měsíc nebo 1/rok.

Doba náběhu a doba trvání přepětové vlny závisí na prostředí a cestě šíření.

Šíření čelní vlny po vedeních je vždy vystaveno odrazům, které jsou způsobeny nepřizpůsobenými impedancemi. Tyto odrazy vytvářejí oscilace, jejichž kmitočet je vztažen k rychlosti šíření. Parazitní parametry (rozptylové kapacity motorů, vinutí transformátorů atd.) jsou dalšími podmiňujícími parametry.

Strmosti náběhu se zpomalují vlivem charakteristik propustnosti vyšších kmitočtů vedením, po němž probíhá šíření; tato alternativa je závažnější pro kratší doby náběhu (řádově 10 ns) a méně závažná pro hodnoty náběžných dob v rozsahu zlomku μ s.

3.2 Přechodná přepětí způsobená elektrickým spínáním nebo poruchami

Přechodná přepětí způsobená elektrickým spínáním nebo poruchami vznikají ze tří základních příčin:

- a) funkcí mechanického nebo polovodičového spínače;
- b) zapnutím proudu závislého na sycení transformátorů se železným jádrem nebo záběrovým proudem motorů;
- c) poruchou v zařízení.

Přechodné jevy způsobené sepnutím nebo poruchou se mohou projevovat jak jednoduchým přepětím nebo poklesem, tak velmi složitými tvary vln způsobenými opakovaným zhasínáním oblouku při vzdalování se mechanických kontaktů nebo postižených částí zařízení při poruše od sebe. Nejzávažnější přechodné jevy vznikají obvykle jako důsledek přerušování obvodu s induktivní zátěží, např. vypnutím pojistkou. V mnoha případech lze použitím speciálních metod, jako překlenutím kontaktů kondenzátory, snížit amplitudy přechodných jevů. Jindy může být dosaženo potlačení užitím polovodičových zařízení. Přechodné jevy mohou mít doby náběhu řádu několika nanosekund v bezprostřední blízkosti spínače (blíže než 1 m). Ve vzdálenosti několika metrů od spínače však budou doby náběhu výrazně prodloužené vlivem útlumu vedení pro vyšší kmitočtové složky. Zapínání transformátorů generuje přechodné jevy, které mohou být řádově několiknásobkem špičkového síťového napětí mají však doby náběhu však mají v řádu desítek mikrosekund (viz ČSN IEC 816).

3.2.1 Spínání v distribuční soustavě

Pro objasnění charakteru impulzního rušení při spínání je účelné nejprve objasnit používané termíny. Předpokládejme, že *uvažované časové období* uvedené v definici 2.10 je doba trvání *spínacího procesu*. Je-li spínání nezatížený obvod, potom během *uvažovaného časového období* dochází v každé půlperiodě síťového napětí ke vzniku *skupiny impulzů* definované v 2.11. Přitom *skupina impulzů* je posloupnost omezeného počtu jednotlivých impulzů nebo oscilací, které se souhrnně nazývají *přechodné jevy* (viz 2.10). Je-li spínání zatížený obvod, potom během *spínacího procesu* dochází k hoření oblouku, které prostřednictvím ionizovaných plynů způsobuje vodivé spojení mezi kontakty a útlum impulzního rušení.

Termíny *kmitočet*, *četnost* a *opakovací kmitočet* byly použity pro rozlišení následujících jevů následovně:

- kmitočet oscilací přechodného jevu
- četnost opakování impulzů ve skupině impulzů
- opakovací kmitočet skupin impulzů

Zapínání vedení spínacím zařízením způsobuje přechodné jevy se strmou náběžnou vlnou s dobou náběhu řádově od desítek nanosekund do několika mikrosekund. Přesná hodnota a polarita odpovídá okamžiku v cyklu, v kterém se vyskytne sepnutí. V případě, že nejsou předem vloženy odpory, může amplituda přechodného jevu dosáhnout špičkové hodnoty fázového napětí v soustavě. Kdykoliv proběhne sepnutí vedení bez zatížení, může největší amplituda na konci vedení dosáhnout dvojnásobku špičkové hodnoty fázového napětí.

Vlivem šíření a odrazy přepětových vln na vedení je první přechodný jev následován, s časovým odstupem závislým na vzdálenosti bodů impedančního nepřizpůsobení, dalšími nižší amplitudy. Tyto přechodné jevy tvoří skupinu impulzů. Přitom každý impulz může mít tlumený oscilační tvar vlny. Na vyhlazování náběhu vlny má značný vliv skin efekt. Jestliže se nevyskytne porucha izolace vedení, odvozená napětí nikdy nepřekročí rychlost náběhu prvního napětového přechodného jevu.

Spínání výkonových transformátorů a reaktorů způsobuje přepětí vlivem rozptylové kapacity vysokonapětových složek, která je řádově nanofarady. Amplituda vzniklých přepětí může být dostatečná k tomu, aby způsobila zafungování pojistek zařízení proti přepětí a výsledná oscilace může mít kmitočtový rozsah od 100 Hz do několika kHz. Funkce ochrany proti přepětí způsobuje velké přechodné proudy ve vysokonapětových obvodech a v uzemňovací soustavě (špičková hodnota desítky kA s rychlostí náběhu až desítky kA za mikrosekundu).

Spínání vedení způsobuje strmé přechodné náběžné vlny s náběžnou dobou řádově desítky nanosekund vlivem malých kapacit v blízkosti zdroje (ve srovnání s vypínačem obvodu). Přechodné jevy šířené na přípojnicích vn a vvn jsou vyhlazovány kapacitami konstrukcí (izolátorové podpěry atd.) a vysokonapětových zařízení (kapacitní transformátory napětí, proudové transformátory atd.). Mohou však také vzniknout tlumené oscilace. Kmitočet oscilace závisí na indukčnosti připojených vysokonapětových obvodů (délka přípojnice) a na kapacitách přípojnice, transformátorů napětí a ostatních prvků a kmitočtové rozsahy jsou od 100 kHz do několika MHz.

Impulzní rušení generované během spínání má typicky opakující se charakter po dobu řádově sekund, přičemž trvání každé elementární oscilace nepřekročí 100 μ s. Četnost opakování impulzů ve skupině impulzů je proměnná a je funkcí vzdálenosti mezi kontakty. Skupiny impulzů se opakují v každé půlperiodě síťového napětí. Opakovací kmitočet skupin impulzů je dvojnásobkem síťového kmitočtu a amplituda může dosáhnout dvojnásobku špičkové hodnoty fázového napětí distribuční soustavy.

Pro spínání v rozvodnách je reprezentativním typem impulzu tlumená oscilační vlna (viz články 8.7.1 a 8.7.2).

Spínání určitých prvků distribuční soustavy (transformátorů, kondenzátorů atd.) může způsobit skokový pokles napětí až na 60 % jmenovitého napětí trvajícím několik desítek milisekund. Přechodné jevy napětí mají obvykle původ ve funkcích, jako jsou přetavení pojistky, funkce vypínače nebo funkce stykačů motorů domácích elektrických spotřebičů, atd.

Důležitým parametrem pro popis přechodného jevu je rychlost náběhu napětí, která je závislá na vzdálenosti zdroje přechodného jevu. Špičky, které jsou způsobeny v nízkonapětové instalaci odběratele, mají někdy vliv na straně vysokého napětí a ovlivňují hlavně sousední distribuční soustavy nízkého napětí napájené ze stejného transformátoru.

Největší rušení jsou způsobena spínáním kapacitních zatížení a vypínáním induktivních zatížení.

a) Spínání kapacitní zátěže

Spínání kapacitní zátěže, např. zářivek s kondenzátorovou kompenzací, způsobuje v distribuční soustavě krátkou proudovou špičku. Průběh síťového napětí se odchyluje od sinusovky a následkem je tlumená oscilace. Špičkové napětí způsobené přechodným jevu může dosáhnout dvojnásobku špičkové hodnoty síťového napětí. Kmitočet oscilace je typicky mezi 5 kHz a 10 kHz. V některých případech se mohou vyskytnout i vyšší kmitočty.

b) Spínání induktivních zatížení

Opětný průraz mezi kontakty spínače vedení způsobuje opakovaná dočasná přepětí s velmi krátkou dobou náběhu a trváním, např. náběžná doba < 1 ns a trvání 10 ns.

Přechodný jev při spínání, všeobecně nazývaný jako rychlý přechodný jev, může být celkově popsán jednak trváním skupiny impulzů, určených hlavně energií akumulovanou v indukčnosti před sepnutím, a dále četností opakování jednotlivých přechodných jevů a proměnnou amplitudou přechodných jevů tvořících skupinu impulzů. Tato amplituda je určena hlavně mechanickými a elektrickými charakteristikami spínacích kontaktů (rychlost kontaktů při rozpínání, napětěová pevnost kontaktů při jejich rozepnutí).

Je třeba vzít na vědomí, že špičková napětí překračující 5 kV mohou být v blízkosti zdroje s četností opakování impulzů každých 15 μ s. Lze očekávat, že typická napětí na straně vedení mohou dosáhnout 2,5 kV. Jak se vzdálenost od zdroje zvětšuje, tvar vlny je modifikován ztrátami šíření, rozptylem a odrazy způsobenými zkreslením na připojených zatíženích.

4 Parametry přechodných přepětí

V normě ČSN EN 50160 ed.3 je v článku 4.3.2.6 uvedena klasifikace přechodných zvýšení napětí. Jsou-li shromážděny statistické údaje, musí se přechodná zvýšení napětí klasifikovat podle tabulky 3 normy ČSN EN 50160.

POZNÁMKA Poruchy distribuční soustavy nebo v instalaci uživatele, které mají přechodný charakter zvýšení napětí o síťovém kmitočtu však nejsou impulzním rušením.

Parametry přechodných přepětí jsou definovány v člancích 2.12 až 2.16. V normě ČSN IEC 816 jsou uvedeny následující charakteristické parametry.

a) Doba náběhu

Doba náběhu charakterizuje přechodný jev v jeho amplitudově/spektrálním vztahu (viz rozvoj do Fourierových řad). Čím kratší je doba náběhu, tím rozsáhlejší jsou rušivé účinky ve spektrální oblasti. Kromě jiného, běžně je riziko zhoršení činnosti zařízení citlivého na rušení závislé na šířce pásma. Uvádí se, že v praxi vztah doba náběhu/amplituda ukazuje, že 5 % rušení má významné složky kolem 10 MHz a pouze 1 % nad 30 MHz (i velmi nízké hladiny v pásmu VHF však mohou rušit rozhlasový příjem).

b) Amplituda

Amplituda je obzvláště významná pro dlouhé přechodné jevy (například $> 1 \mu\text{s}$). Může to být nejdůležitější veličina ve vztahu ke zhoršení vlastností nebo destrukci polovodičových zařízení.

c) Energie

Energie přechodného jevu, ačkoliv se vztahuje k amplitudě, je také závislá na vnitřní impedanci zdroje rušení a je důležitou veličinou s ohledem na destrukci součástek.

d) Doba trvání

Důležitost této veličiny závisí na časové konstantě uvažovaného citlivého zařízení. U logických systémů může být zvýšená pravděpodobnost překlopení obvodů řízených synchronizačními hodinami.

e) Kmitočtový rozsah

Jak je uvedeno v odstavci a), spektrum rušení nemusí být významné nad 10 MHz až 30 MHz (maximum).

f) Četnost opakování impulzů ve skupině impulzů

Znalost četnosti opakování impulzů je důležitá pro odhad rušivých účinků přechodných jevů. U analogových systémů důležitost závisí na časové konstantě citlivého zařízení a může zahrnovat integrační fenomén. U logických systémů může být riziko poruchy podstatně větší, je-li přechodný jev a řídicí signál ve fázi.

4.1 Stupeň rušení jako parametr přechodných přepětí v instalacích

V roce 2011 byla provedena revize IEC/TR 61000-2-5 Ed 2, při které byl kromě doposud používaného termínu „úroveň rušení“ definován nový termín „stupeň rušení“ (viz definice v článku 2.26).

POZNÁMKA Termín stupeň rušení byl v uvedené zprávě použit pro kvantifikování jevů přispívajících k elektromagnetickému prostředí. Tento termín nijak nesouvisí se zkušebními úrovněmi podle kapitoly 8, pro které se podle změny A2 ČSN IEC 50(161) používá následující termín..

161-04-41	zkušební úroveň (zkoušky odolnosti)	immunity test level
	stupeň přísnosti (nedoporučuje se)	severity level (deprecated)
	úroveň zkušebního signálu použitého pro simulaci elektromagnetického rušení při provádění zkoušky odolnosti	the level of a test signal used to simulate an electromagnetic disturbance when performing an immunity test

Při hodnocení odolnosti zařízení proti přechodným přepětím je předmětem zájmu prostředí instalace, v které zařízení umístěno

Typické instalační postupy berou v úvahu zmírnění účinků rušení přechodnými přepětími, které lze získat oddělením, stíněním a potlačěním. Proto je důležité vzít v úvahu vliv těchto postupů při navrhování stupňů rušení v konkrétním místě, kde jsou různé instalační postupy obecně používány. Technická zpráva IEC/TR 61000-2-5 ed. 2 přiřazuje reprezentativní stupně rušení pro různé typy instalací, které by mohly být k dispozici na těchto lokalitách.

Ke komplexnímu a smysluplnému popisu přechodného přepětí se pro každý tvar vlny přepětí vybere možná reprezentace prostředí přechodného jevu, vrcholové napětí naprázdno a nárazový zkratový proud zdroje přechodného jevu.

Občas se prováděly pokusy popsat přechodné jevy podle jejich „energie“ pro usnadnění výběru dimenzování přepětěvé ochrany. Nicméně se dokázalo, že tento způsob je zavádějící, protože přílišné zjednodušení rozložení energie mezi obvodovými prvky závisí na impedanci zdroje (včetně distribuční soustavy), stejně jako na impedanci přepětěvé ochrany potlačující přechodný jev. Neexistuje žádný nezávislý, smysluplný, samostatný

popis přechodného přepětí jen prostřednictvím energie. Energie dodaná do koncového zařízení je významným faktorem, ale záleží na rozdělení mezi zdrojem a zatížením (provozním zařízením nebo přepětíovou ochranou nebo obojím).

V tabulce 1 jsou stupně rušení pro přechodná přepětí vyjádřena napětími obvodu naprázdno, čímž se míní napětí předpokládané při běžných podmínkách typického malého zatížení bez ovlivnění blízkou přepětíovou ochranou. Pro jevy, které závisí na geometrii zapojení kabeláže a na způsobu vazby na zdroj přechodného jevu jsou uvedeny v prvním přiblížení nezávisle na napětí distribuční soustavy. Při spínání obvodů jsou přechodná přepětí přímo úměrná napětí distribuční soustavy.

Obecně platí, že elektromagnetické prostředí v daném místě je určeno kombinací přirozeně se vyskytujících stupňů rušení (v tabulce 1 označených čísly 1 až 4) a uměle vytvořených stupňů rušení a úrovní rušení s níž se každý jev vyskytuje. Uměle vytvořené stupně rušení zahrnují stupeň „A“, u kterého pro splnění specifických požadavků mohou být nezbytná opatření zmírnění nebo kontroly instalačních postupů a stupeň „X“ odpovídající míře rušení vyšší, než se obecně vyskytuje

Tabulka 1 – Stupně rušení a úrovně přechodných přepětí v distribučních soustavách nízkého napětí

Stupně rušení	Přechodné jevy (zdroje)			
	Přeskok na kontaktu ^a	Blesk ve vzdálenosti <1 km ^a	Blesk ve vzdálenosti >1 km ^a	Funkce pojistky ^b
	Hodnoty přechodných přepětí v časové oblasti			
	Nanosekundy	Mikrosekundy	Milisekundy	
	Přeskok na kontaktu	Blesk ve vzdálenosti <1 km ¹⁾	Blesk ve vzdálenosti >1 km ¹⁾	Funkce pojistky ²⁾
	5 ns ^c	1 (s ^c	10 (s ^c	0,1 ms ^c
	50 ns ^d	50 (s ^d	1000 (s ^d	1 ms ^d
	Skupiny impulzů ^e	Vícenásobný ^e	Vícenásobný ^e	Ojedinělý ^e
	ms ^f	ms ^f	s ^f	Jednorázový jev ^f
	50 Ω ^g	1-10 Ω ^g	20-300 Ω v	0,2-2 Ω ^g
Úrovně rušení				
A (řízený)	Podle požadavků na zařízení			
1	0,5 kV	1 kV	0,5 kV	-
2	1 kV	2 kV	1 kV	0,5 U _{max}
3	2 kV	4 kV	1,5 kV	1,0 U _{max}
4	4 kV	8 kV	2 kV	2,0 U _{max}
A (nadměrný)	Hodnoty přechodných přepětí			

^a Uvedené hodnoty jsou napětí naprázdno (tj. v době výskytu nebyla připojena velká zátěž ani ochrana proti přepětí). Tyto hodnoty reflektují vnější původ a mechanismus vazby těchto přechodných přepětí, které jsou nezávislé na síťovém napětí. Jedná se o indukované proudy přenášené vodiči v budově, nejedná se o proud blesku; přímý úder do budovy může způsobit větší proudy.

^b Uvedené hodnoty jsou napětí naprázdno přechodných jevů vyskytujících se ve vrcholu sinusovky síťového napětí. Tyto přechodné jevy, které jsou generovány interně, jsou úměrné síťovému napětí.

^c Náběžná doba impulzu přechodného přepětí.

^d Doba trvání ve výšce poloviny výšky impulzu přechodného přepětí.

^e Četnost výskytu

^f Doba trvání celého jevu složeného z více přechodných přepětí.

^g Impedance zdroje

5 Měření přechodných přepětí a proudů

Přechodné jevy se mohou vyskytnout ve všech střídavých napájecích soustavách. Tradičně byly charakterizovány jako „Přechodná přepětí“; v mnoha případech však přechodné proudy mohou být důležitější (viz závěr článku 5.4).

POZNÁMKA Na vysokých kmitočtech se napětí nemůže definovat jako křivkový integrál E-pole, protože tento integrál je závislý na cestě (pro vedení distribuční soustavy je závislý na kmitočtových charakteristikách jejich impedancí). Takže pro impulzy s velmi rychlým náběhem (s rozsáhlým obsahem spektra vysokých kmitočtů) použití napětí jako sledované veličiny při měření není vhodné.

Norma IEC 61000-4-33 poskytuje základní popis metod a prostředků (např. přístrojové vybavení) pro měření odezev na parametry elektromagnetických jevů velkého výkonu. Tyto odezvy mohou zahrnovat: elektrická (*E*) a/nebo magnetická (*H*) pole (např. dopadající pole nebo dopadající plus rozptýlená pole uvnitř zkoušené soustavy) a proud *I* (např., indukovaný přechodným polem uvnitř vedení zkoušené soustavy);

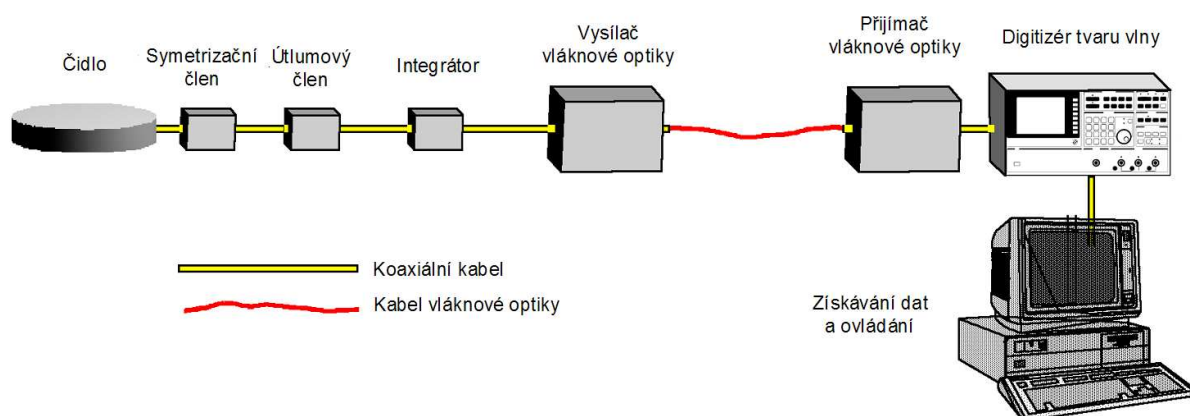
Tyto měřené veličiny jsou všeobecně komplikované časově závislé tvary vln, které je možno popsat přibližně několika skalárními parametry nebo „sledovanými veličinami“. Tyto parametry zahrnují:

- největší amplitudu odezvy,
- dobu náběhu tvaru vlny,
- dobu poklesu tvaru vlny (nebo dobu trvání),
- šířku impulzu.

5.1 Souhrnné koncepce a požadavky na měření

Měření veličin přechodných odezev se realizuje použitím několika prvků zpracování signálů přechodných jevů spojených způsobem následující po sobě. Odkazuje se na ně jako na „měřicí řetězec“ (viz 2.17), přitom tento soubor zařízení detekuje, zpracovává, přenáší a zaznamenává měřené odezvy přechodných jevů tak, aby se po zkoušce mohly použít k analýze měřené veličiny nebo elektrického chování zkoušeného systému.

Obrázek 1 znázorňuje typický přístrojový řetězec, který se použije pro měření odezev přechodných jevů velkého výkonu (např. elektromagnetického pole od blesku).



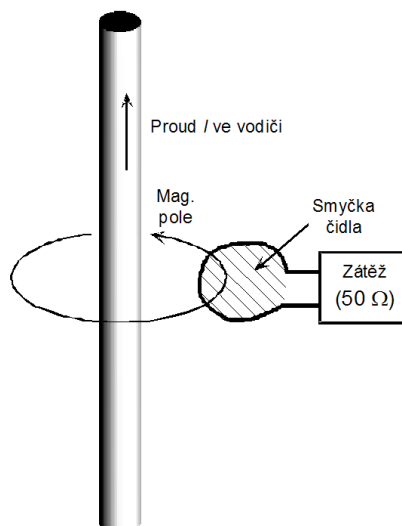
Obrázek 1 – Znázornění typického přístrojového řetězce používajícího koaxiální kabely a optická vlákna

Kromě čidel elektromagnetického pole v oblasti výskytu blesku se mohou také použít čidla pro měření přechodného proudu tekoucího vodiči vedení v této oblasti. To se provádí měřením místního magnetického pole obklopujícího vodič a pak jeho vztažením k proudu vodiče. Základní koncepce tohoto typu čidla je znázorněna na obrázku 2. Vhodnou volbou parametrů se může vytvořit odezva přímo na proud.

V kmitočtové oblasti je indukované napětí naprázdno ve snímací smyčce dáno vztahem

$$\tilde{V}_{oc}(\omega) = j\omega\tilde{\Phi}(\omega) = j\omega M\tilde{I}(\omega)$$

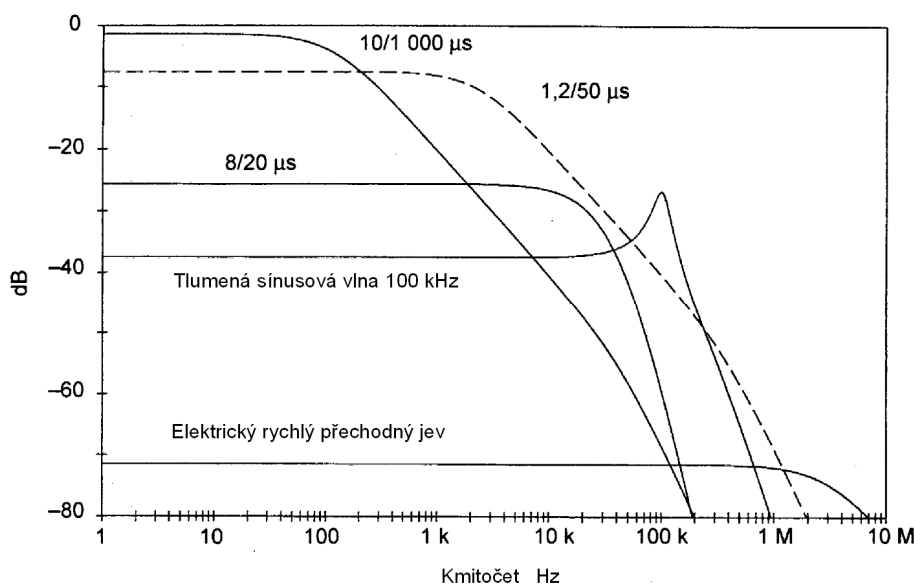
kde $\tilde{I}(\omega)$ je proud vodičem a M je vzájemná impedance mezi vodičem a snímací smyčkou. U tohoto typu čidla výstup je všeobecně nesymetrická zátěž 50Ω , takže symetrizační člen není nutný.



Obrázek 2 – Zjednodušená koncepce čidla pro měření proudů ve vodiči

5.2 Kmitočtové a amplitudové charakteristiky přechodných jevů v distribučních soustavách

Přechodné jevy ve střídavých distribučních soustavách se vyskytují v širokém rozsahu tvarů vln, amplitud a dob trvání. Je obtížné je popsat jednoduchým souborem parametrů, avšak získání jejich grafických znázornění umožňuje rozřadit je do několika typických tvarů vln podle ČSN EN 61000-4-30 ed.2, které se používají pro účely zkoušky. Obrázek 3 znázorňuje kmitočtové spektrum několika reprezentativních zkušebních tvarů vln všeobecně používaných. Tato informace je užitečná při vývoji algoritmů nezbytných pro vhodnou redukci analogových signálů do digitálních záznamů a zpracování dat těchto jevů.



Obrázek 3 – Kmitočtové spektrum typických reprezentativních zkušebních tvarů vlny přechodných jevů

Pro napětí i proud obsahují spektra společných zkušebních tvarů vlny přechodných jevů ve střídavých distribučních soustavách kmitočty, které jsou v rozsahu do přibližně 10 MHz (trvajících 200 μ s) s velkými amplitudami do 1 MHz (trvajících 2 ms). Pro připojení uživatele na konci střídavé distribuční soustavy jsou amplitudy obvyklých zkušebních tvarů vlny v rozsahu do 6 kV a do 5 kA.

Frekvence vzorkování musí být alespoň dvojnásobkem maximálního kmitočtu ve tvaru vlny; anti-aliasing filtr musí mít odpovídající vhodné charakteristiky.

5.3 Metody detekce a místo měření

Výsledky měření přechodného jevu závisí jak na skutečném charakteru přechodného jevu, tak i na parametrech vybraných uživatelem v souladu s možnostmi přístroje. Pokud hlavním předmětem zájmu je izolace, provádí se měření přechodného jevu všeobecně mezi fází a uzemněním. Pokud hlavním předmětem zájmu je poškození přístroje, provádí se měření přechodného jevu všeobecně mezi fázemi nebo mezi fázovým a nulovým vodičem.

Některé metody detekce a příklady aplikace zahrnují

- komparativní metodu: pokud se překročí pevná absolutní prahová hodnota, přechodný jev se detekuje, například ochranné prostředky proti rázovému impulzu (SPD) (*surge protective devices*), které jsou citlivé na celkové napětí;
- metodu obálky: podobně jako při komparativní metodě, avšak s odstraněnou základní složkou před analýzou, například v případech kapacitně vázaných přechodných jevů;
- metodu klouzajícího okna: okamžité hodnoty se porovnávají s odpovídajícími hodnotami předcházejícího cyklu, například nízkofrekvenční spínací přechodné jevy souvisící s kondenzátorovými bateriemi používanými pro kompenzaci účinníku;
- metodu du/dt : pokud se překročí pevná absolutní prahová hodnota dv/dt , například chybným spouštěním obvodů výkonové elektroniky nebo nelineárním rozložením na vinutí indukčnosti;
- metodu efektivní hodnoty: použitím velmi rychlého vzorkování se vypočte efektivní hodnota pro intervaly mnohem menší než je perioda základní složky a porovná se s prahovou hodnotou, například pokud jsou žádoucí další výpočty jako je rozptyl energie v SPD nebo přenos náboje;
- jiné metody včetně kmitočtové – amplitudových měření (rychlá Fourierova transformace, wavelet (vlnková) transformace atd.).

5.4 Klasifikační metody a parametry

Byl-li přechodný jev uvedenými metodami detekován, může se klasifikovat. Některé klasifikační metody a parametry zahrnují

- vrcholové napětí a /nebo proud; vrcholová hodnota je také ovlivněna intervalem měření;
- napětí překmitnutí;
- strmost nárůstu (du/dt nebo di/dt) čela impulzu;
- parametry kmitočtu;
- dobu trvání; tento parametr se pro tlumení, nepravidelnost tvaru vlny atd. obtížně definuje;
- tlumení;
- kmitočet výskytu;
- energii a výkon, dostupný nebo předávaný;
- nepřetržité přechodné jevy (každou periodu, jako krátkodobý pokles) nebo jednorázové přechodné jevy (nepředvídatelné).

Všechny tyto číselné parametry jsou užitečné při vývoji klasifikačního systému pro statistický popis prostředí přechodného jevu.

Naproti tomu zejména pokud se jedná o odstraňování poruch, grafické znázornění může popsat mnohé z těchto obtížně vyjádřitelných parametrů.

5.5 Účinek ochranných prostředků proti rázovému impulzu na měření přechodného jevu

Ochranné prostředky proti rázovému impulzu (SPD) jsou paralelně připojené součástky, které jsou vodivé, je-li překročeno prahové napětí. Používají se všeobecně pro omezení přechodných napětí. Je možné se s nimi setkat v modulárních prostředcích síťové filtrace a často jsou součástí citlivého elektronického přístroje, jako třeba osobního počítače.

Protože všechny SPD v obvodu distribuční soustavy jsou připojeny paralelně, bude ten s nejnižším omezovacím napětím (v rámci svých funkčních schopností) omezovat všechna přechodná přepětí na své omezovací napětí a odvede největší část přechodného proudu ovlivňujícího zařízení. V souvislosti s tím měření přechodných přepětí v mnoha prostředích – kanceláře, laboratoře, továrny atd. – je omezeno: často se jednoduše měří jenom prahová hodnota napětí jednoho z mnoha přítomných SPD.

Z tohoto důvodu je při zjišťování závažnosti přechodných jevů ve střídavé distribuční soustavě často lepší měřit přechodný proud než přechodné napětí.

6 Charakteristiky mechanismu vazby mezi výskytem přechodných přepětí a potenciálně poruchovými stavy soustav a zařízení

Předpokládá se, že přechodná přepětí, o kterých je zde pojednáváno, vniknou do zařízení citlivého na rušení především vedením. Vznikají nějakou spínací akcí na připojeném napájecím vedení. Spínání může být na jakémkoliv místě buď v blízkosti (na bezprostředně navazujícím nízkonapěťovém rozvodu) nebo na vzdálenějším místě vedení vysokého napětí. Přechodné jevy mohou také vzniknout z atmosférických příčin, např. bleskem, a to buď přímým úderem do vedení vysokého napětí, nebo úderem do země a indukci do vedení. Pokud je zařízení citlivé na rušení umístěné blízko zdroje rušení, převažuje induktivní vazba.

V tomto případě jsou účinky vazby popsány třemi základními parametry:

- útlumovou charakteristikou vedení jako funkcí kmitočtu vedení;
- charakterem zatížení vedení;
- geometrií ve vztahu k zemi.

Poněvadž vedení jsou zřídka kdy zatížena jejich charakteristickou impedancí, lze očekávat výskyt mnohonásobných odrazů na vedení na každé nespojitosti, např. v místě připojení odběru. Odrazové charakteristiky se velmi výrazně uplatňují při tvarování přechodných jevů, zejména u těch, které vznikají při spínacích operacích. Důsledkem jsou oscilace o kmitočtu obvykle v rozsahu desítek kHz až desítek MHz, které způsobují, že v amplitudovém spektru leží maximum na tomto kmitočtu.

Podobné oscilace mohou také vzniknout v důsledku přechodných jevů způsobených spotřebiči a šířených vedením. Vzdálenost mezi nespojitostmi je však menší, a proto oscilační kmitočty mohou být daleko vyšší. Je však třeba poznamenat, že útlum vedení vzrůstá s kmitočtem, takže oscilace mohou být pozorovány pouze u přechodných jevů měřených na místech relativně blízkých ke zdroji.

V úvahu se musí také vzít možnost vazby v důsledku indukce (jak induktivní, tak kapacitní vazba) mezi silovým vedením a sdělovacím vedením. To je zejména důležité v průmyslových závodech, kde jsou silové kabely a kabely signální a řídicí položeny vedle sebe v relativně dlouhých souběžích. Obecně může být takový vazební mechanismus redukován použitím kroucených párů nebo koaxiálních kabelů a uložení kabelů do kovových trubek závitově spojených.

Jiným zdrojem vazby je konečná impedance země. Mnoho přechodných jevů se například šíří na vedeních jako nesymetrické napětí a zpětný proud teče zemí. Jestliže dráha proudu zemí nemá velmi nízkou impedanci nebo místa připojení na zem jsou blízko k podobným místům připojení citlivých obvodů, mohou vzniknout významné rozdíly zemního potenciálu. Aby se snížil účinek nesymetrické vazby, lze použít vyvážených symetrických obvodů. Jakákoliv malá nevyváženost v citlivých obvodech pak však může být kritická.

6.1 Kategorie přepětí a jmenovité údaje impulzního výdržného napětí

Pojem kategorie přepětí se vztahuje na každý jednotlivý obvod včetně síťových obvodů, obvodů zákazníků odbírajících energii a obvodů systémů výroby energie z obnovitelných zdrojů, ať už připojených k síti, nebo izolovaných od sítě, a to takto:

V případě zařízení nebo obvodů napájených ze sítě jsou podle souboru norem ČSN EN 60664 uvažovány čtyři kategorie:

- Kategorie IV (OVC IV) se vztahuje na zařízení trvale připojené na počátku instalace (směrem od hlavního rozváděče). Příkladem jsou elektroměry, primární jističe a ostatní zařízení připojená přímo na venkovní vedení

POZNÁMKA 1 Síťové obvody venkovních PCE nejsou nutně považovány za kategorii přepětí OVC IV. Například bod, ve kterém se venkovní PCE elektricky připojuje, je OVC III pak síťový vstup/výstup PCE se považuje za OVC III, i když PCE je venku. Kde je však nutné připojení dlouhým venkovním vedením mezi bodem připojení OVC III a fyzickým umístěním PCE, mohou se přechodné jevy zvýšit zpětně na úroveň OVC IV a PCE dimenzované na OVC III nemusí být vhodné. Poznamenejme, že je OVC musí být podle ČSN EN 62109-1 uvedeno v instalační informaci poskytnuté s PCE.

- Kategorie III (OVC III) se vztahuje na pevné zařízení směrem po proudu a na hlavní rozváděč. Příklady jsou spínací a další zařízení v průmyslové instalaci;

- Kategorie II (OVC II) se vztahuje na zařízení, které není trvale připojeno k instalaci. Příkladem jsou spotřebiče, přenosné nástroje a jiná zařízení připojovaná do zásuvky;
- kategorie I (OVC I) se vztahuje na zařízení připojovaná k obvodu, ve kterém byla uplatněna opatření za účelem snížení přechodných přepětí na nízkou úroveň.

Základní izolace připojovaných obvodů (např. podle obrázku 4) se musí navrhnout a zkoušet na odolnost proti impulzním výdržným napětím a dočasným přepětím.

Tabulka 2 využívá napětí obvodu systému a kategorie přepětí k definování impulzního výdržného napětí a dočasného přepětí.

Tabulka 2 – Impulzní výdržné napětí a dočasného přepětí

Sloupec 1	2	3	4	5	6
Napětí systému Zkratkou rms jsou označeny efektivní hodnoty fázového napětí v distribuční soustavě a zkratkou d.c. stejnosměrná napětí systému obnovitelného zdroje V	impulzní výdržné napětí V				Síťový obvod Dočasné přepětí (Vrchol / r.m.s.) (viz poznámka 3) V
	Kategorie přepětí				
	I	II	III	IV	
50 V rms nebo 71 V d.c.	330	500	800	1 500	1 770 / 1 250
100 V rms nebo 141 V d.c.	500	800	1 500	2 500	1 840 / 1 300
150 V rms nebo 213 V d.c.	800	1 500	2 500	4 000	1 910 / 1 350
300 V rms nebo 424 V d.c.	1 500	2 500	4 000	6 000	2 120 / 1 500
600 V rms nebo 849 V d.c.	2 500	4 000	6 000	8 000	2 550 / 1 800
1 000 V rms nebo 1 500 V d.c.	4 000	6 000	8 000	12 000	3 110 / 2 200
POZNÁMKA 1 Interpolace není povolena v síťových obvodech. POZNÁMKA 2 Poslední řádek se vztahuje pouze na jednofázové systémy, nebo na sdružené napětí v třífázových systémech. POZNÁMKA 3 Tyto hodnoty jsou odvozeny pomocí vzorce (1 200 V + napětí systému) z IEC 60664-1.					

6.2 Šíření přechodných přepětí a jejich následné stavy distribuční soustavy

Přechodná přepětí mimořádně namáhají izolaci obvodů jak distribuční soustavy, tak i všech instalací a zařízení k distribuční soustavě připojených. Následkem toho jsou stavy těchto obvodů, které mohou přetrvávat i po doznění přechodných přepětí. Pro vyloučení nebo alespoň minimalizování poruch distribuční soustavy je nutno uvedené stavy detekovat a uplatňovat opatření pro omezení jejich vlivu. Nejzávažnější z těchto stavů jsou poklesy izolační rezistance a zvýšené hodnoty reziduálního proudu.

Ke sledování přechodných přepětí a jimi vyvolaných následných stavů charakterizovaných průtokem reziduálního proudu u jednotlivých síťových obvodů, obvodů zákazníků odbírajících energii a obvodů systémů výroby energie z obnovitelných zdrojů slouží proudového chrániče (RCD) podle IEC 60755 nebo monitorování reziduálního proudu (RCM) podle ČSN EN 62020.

Zařízení RCD a RCM se používají k zajištění ochrany proti poruchám izolace ve střídavých napájecích obvodech v některých domácích a průmyslových instalacích a kromě toho i k zajištění jakýchkoliv ochranných zařízení instalovaných zařízením.

Porucha izolace nebo přímý dotyk s určitým typem obvodů PCE může způsobit průtok reziduálního proudu a tak zmenšit schopnost RCD a RCM zajišťovat tuto ochranu pro jiné zařízení v instalaci.

Reziduální proud ve střídavém vstupním a/nebo výstupním obvodu se měří s použitím měřidla nebo síťového analyzátoru nebo jiným přístrojem, který dokáže detekovat složku reziduálního proudu. Výsledná složka reziduálního proudu se porovná s mezemi stanovenými podle potřeby v IEC 60755 nebo IEC 62020.

6.2.1 Šíření k zákazníkům odbírajícím energii a požadavky na izolaci mezi obvodem a jeho okolím

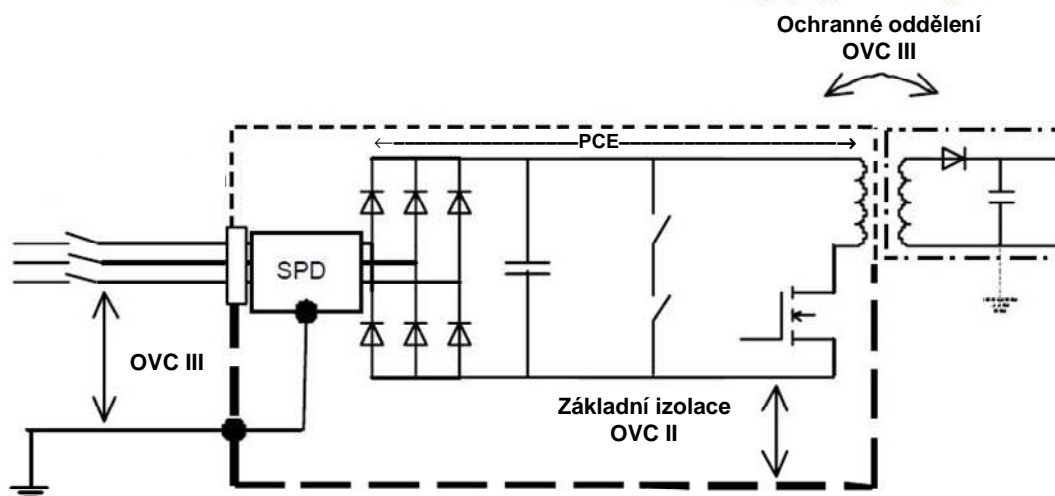
Některé normy zařízení obsahují specifické požadavky, odvozené ze základních nebo jiných příslušných norem, zatímco jiné vycházejí z jiných norem zařízení s dodatky a změnami v případě potřeby. Každý přístup má své

výhody, a konečné výsledky jsou podobné. Nicméně instalace zařízení u zákazníků odbírajících energii používají často zařízení přeměny energie (PCE), které jsou velmi podobné s ohledem na funkční bezpečnost i na jeho výstup připojených strojů. Ukázalo se proto, že by byl prospěšný konzistentní přístup v nové příslušné normě. V současné době komise IEC TC 22 připravuje IEC 62477 týkající se bezpečnostních požadavků na výkonové polovodičové měničové systémy. Tato norma zkoumá stávající normy, které mají bezpečnostní aspekty související mimo jiné i s přechodnými přepětími (například soubor norem IEC 61800 týkající se systémů elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí) a kombinuje požadavky do jednoho soudržného dokumentu.

Základní, přídatná a zesílená izolace mezi obvodem (viz obrázek 4) a jeho okolím musí být podle IEC 62477 navrženy podle:

- impulzního napětí; nebo
- dočasného přepětí; nebo
- pracovního napětí obvodu.

Impulzní napětí a dočasná přepětí se musí navrhnout podle tabulky 2.



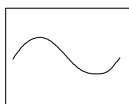
Legenda

- Ochrana před přímým dotykem
- Přístupné vodivé části
- .-.-.-.- Ochranné oddělení
- SPD Ochranný prostředek proti rázovému impulzu (např. opatření ke snížení přechodných přepětí)
- OVC Kategorie přepětí podle 6.1.

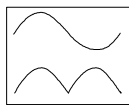
Obrázek 4 – Příklad vyhodnocení základní izolace obvodů připojených k síťovému napájení

6.2.2 Výběr typu RCD ve střídavých obvodech

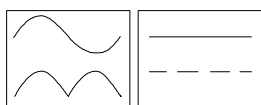
V normě ČSN EN 62109-1 jsou definovány tři typy RCD (viz 2.23 a 6.2) vhodné k jeho spouštění odlišnými tvary vln reziduálního proudu, které se označují následujícími značkami:



Typ AC: – citlivý na střídavý proud



Typ A: – citlivý na střídavý a na pulzující proud

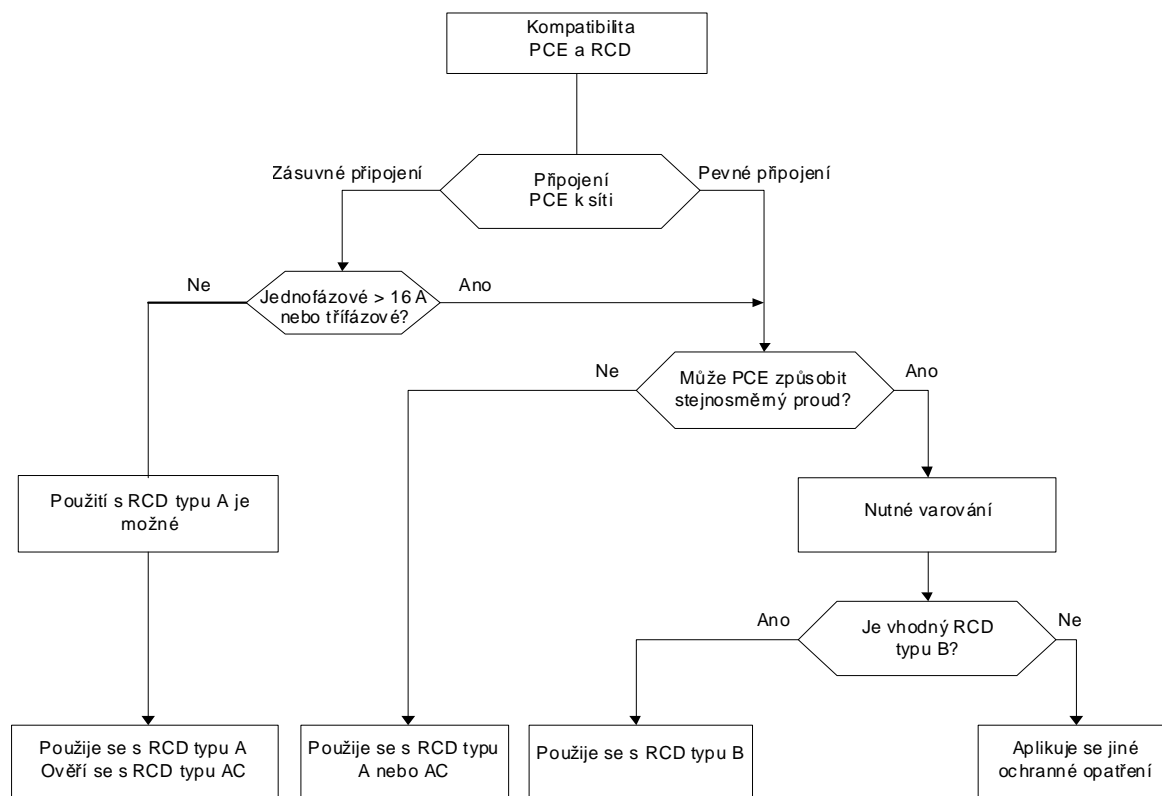


Typ B: – citlivý na univerzální proud

V závislosti na soustavě obvodů napájení a typu RCD může být zařízení přeměny energie PCE a RCD kompatibilní nebo nekompatibilní.

Pokud může mít provoz za normálních nebo poruchových podmínek za následek vyhlazenou stejnosměrnou složku proudu protékajícího přes RCD, je PCE (viz 2.19) považováno za neslučitelné s RCD typu A a AC. V takových případech se požaduje RCD nebo RCM typu B, pokud za obvyklých nebo poruchových podmínek jiné kroky nezabrání stejnosměrné složce proudu.

Vývojový diagram na obrázku 5 pomůže s výběrem typu RCD, použije-li se PCE zapojené za RCD (viz obrázek 4).



Obrázek 5 – Vývojový diagram vedoucí k výběru typu RCD/RCM zapojeného před PCE

6.3 Šíření přechodných přepětí a jejich následné stavy systémů obnovitelných zdrojů

S ohledem na dostupnost příslušných norem je tento článek zaměřen na fotovoltaické (PV) energetické systémy. Ke sledování přechodných přepětí a jimi vyvolaných následných stavů jednotlivých obvodů PV systémů obnovitelných zdrojů slouží proudového chrániče (RCD) nebo monitorování reziduálního proudu (RCM).

Porucha izolace nebo přímý dotyk s určitým typem obvodů střídače PV systému může způsobit nevyhovující izolační rezistanci součástí PV systému a průtok reziduálního proudu se stejnosměrnou složkou a tak zmenšit schopnost RCD a RCM typu A nebo typu AC zajišťovat ochranu pro jiné zařízení v instalaci (viz ČSN EN 62109-1, článek 7.3.8).

6.3.1 Detekce abnormálních stavů součástí PV systému

Střídače mohou nebo nemusí poskytnout galvanické oddělení PV pole od sítě a pole může nebo nemusí mít jednu stranu obvodu uzemněnu. Střídače musí splňovat požadavky uvedené v tabulce 3 pro příslušné kombinace izolace střídače a uzemnění pole.

Tabulka 3 – Požadavky na izolaci střídače a na uzemnění PV pole

Uzemnění pole:	Neuzemněné ^a nebo funkčně uzemněné	Neuzemněné nebo funkčně uzemněné	Uzemněné
Izolace střídače:	Neizolovaný	Izolovaný	Izolovaný
Minimální požadavky na izolaci střídače	Neaplikují se	Základní nebo zesílená ^b izolace a Typové zkoušení svodového proudu pro určení požadavků na izolační rezistanci uzemnění pole a níže uvedená detekce reziduálního proudu	
Měření rezistance izolace uzemnění pole	Činnost po poruše: indikuje se porucha a nedojde k připojení k síti	Činnost po poruše: U střídačů s izolací vyhovující mezím pro svodové proudy jak pro nebezpečí úrazu tak i pro nebezpečí požáru při výše uvedených „Minimálních požadavcích na izolaci střídače“, se indikuje porucha U střídačů s izolací nevyhovující výše uvedeným hodnotám minimálního svodového proudu, se indikuje porucha a připojení k síti se neprovede	Nepožaduje se ^d
Detekce reziduálního proudu PV pole	Buď a) je mezi střídačem a sítí RCD ^c nastavený na 30 mA nebo b) se monitoruje jak nepřetržitý nadměrný reziduální proud tak i nadměrné náhlé změny Činnost po poruše: vypne se střídač, odpojí se od sítě a indikuje se porucha	Neplatí pro střídače s izolací vyhovující mezím svodového proudu pro nebezpečí jak úrazu tak i požáru při výše uvedených „Minimálních požadavcích na izolaci střídače“. Střídače s izolací nevyhovující mezím svodového proudu pro nebezpečí jak úrazu tak i požáru vyžadují monitorování náhlých změn reziduálního proudu nebo použití RCD Střídače s izolací nevyhovující mezím svodového proudu pro nebezpečí jak úrazu tak i požáru vyžadují monitorování nadměrného nepřetržitého reziduálního proudu nebo použití RCD Činnost po poruše: vypne se střídač, odpojí se od sítě a indikuje se porucha.	
<p>^a Pokud je připojení pole na uzemnění na síťové straně střídače automaticky odpojováno (připojení na uzemnění nulovým vodičem), pak se pole považuje za neuzemněné.</p> <p>^b U střídače určeného pro použití s polem klasifikace rozhodujícího napětí DVC-A se požaduje použití alespoň zesílené izolace (ochranné oddělení) mezi polem a obvody DVC-B a -C jako v síti.</p> <p>^c U některých typů střídačů se požaduje RCD typu B.</p> <p>^d V době publikování nová informace signalizovala, že by pro uzemněná pole byla prospěšná další ochrana nabízející se měřením rezistance izolace uzemnění pole před připojením střídače na síť. Toto přídavné zvýhodnění může značně snížit riziko nebezpečí požáru na uzemněných polích způsobeného zemními poruchami při nevhodné instalaci systému, uváděním do provozu nebo údržbě vedoucí k nedetekovaným prvním zemním poruchám následovaným dalšími zemními poruchami.</p>			

6.3.2 Detekce rezistance izolace pole u střídačů pro neuzemněná pole

Střídače pro použití s neuzemněnými PV poli musí mít před zahájením provozu prostředky na měření DC izolační rezistance od PV vstupu (pole) k uzemnění nebo musí být poskytnuty pokyny k instalaci.

Je-li izolační rezistance menší než $R = (V_{MAX PV}/30 \text{ mA})$ ohmů, střídač:

- musí izolované střídače signalizovat poruchu, indikace poruchy se musí zachovat, dokud se rezistance izolace pole neobnoví na hodnotu vyšší, než je výše uvedená mezní hodnota;
- neizolované střídače nebo střídače s izolací, která není ve shodě s mezemi svodového proudu podle minimálních požadavků na izolaci střídače v tabulce 3, musí signalizovat poruchu a nesmí se připojit k síti; střídač může pokračovat v provádění měření, může zastavit signalizování poruch a může se připojit k síti v případě, že rezistance izolace pole se obnoví na hodnotu vyšší, než je výše uvedená mezní hodnota.

Měřicí obvod musí být schopen detekovat izolační rezistanci pod výše uvedenou mezí za normálních podmínek a při zemní poruše v PV poli.

6.3.3 Detekce reziduálního proudu pole

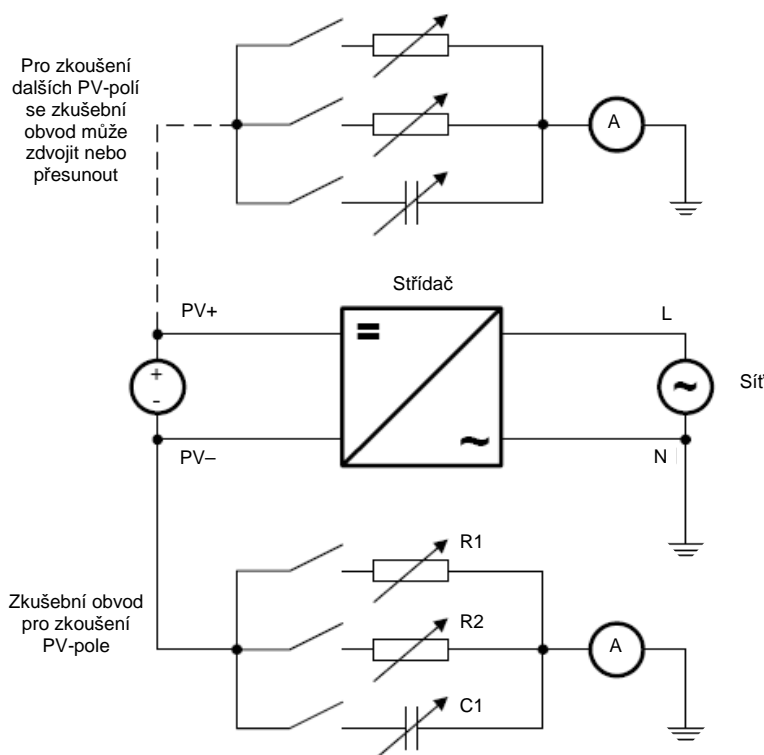
Neuzemněná pole mohou způsobit nebezpečí úrazu elektrickým proudem, pokud dojde k dotyku živých částí a je možný průchod dotykového proudu. U neizolovaného střídače nebo u střídače s izolací, která není dostatečná k omezení dotykového proudu, připojení sítě k uzemnění (tj. uzemněný nulový vodič) poskytuje zpětnou cestu dotykovému proudu, pokud se osoba nechtěně dotkne současně živých částí pole a uzemnění. Požadavky v ČSN EN 62109-2 poskytují dodatečnou ochranu proti tomuto nebezpečí úrazu elektrickým proudem prostřednictvím použití proudových chráničů (RCD) nebo monitorováním náhlých změn reziduálního proudu s výjimkou izolovaného střídače, kde zajištěná izolace při ověření zkouškou omezuje dosažitelný dotykový proud na méně než 30 mA.

Neuzemněná a uzemněná pole mohou způsobit nebezpečí požáru, pokud dojde k zemnímu spojení, které umožňuje nadměrný průtok proudu vodivými částmi nebo konstrukcemi, které nejsou určeny pro přenos proudu. Požadavky v tomto oddílu poskytují dodatečnou ochranu proti tomuto nebezpečí požáru použitím proudového chrániče RCD nebo monitorováním trvalého nadměrného reziduálního proudu, s výjimkou izolovaného střídače, kde zajištěná izolace omezuje dotykový proud na méně než:

- efektivní hodnotu 300 mA u střídačů se jmenovitým trvalým výstupním výkonem ≤ 30 kVA, nebo
- efektivní hodnotu 10 mA na každý kVA jmenovitého trvalého výstupního výkonu střídačů se jmenovitým trvalým výstupním výkonem > 30 kVA.

6.3.4 Typová zkouška dotykového proudu 30 mA pro izolované střídače

Shoda s mezí 30 mA podle 6.3.3 se zkouší se střídačem připojeným a provozovaným za podmínek referenční zkoušky mimo toho, že DC napájení střídače, nesmí mít žádné spojení s uzemněním a síťové napájení střídače musí mít jeden pól uzemněn. To je přijatelné (a může to být nutné), aby se zabránilo fungování detekce izolační rezistance pole během této zkoušky. Obvod měření dotykového proudu podle obrázku 6 normy IEC 60990 se postupně připojuje od každé svorky pole k uzemnění. Výsledný dotykový proud se zaznamená a porovná se s mezí 30 mA pro určení požadavků na izolační rezistanci uzemnění pole a na detekci reziduálního proudu pole v tabulce 3.



Při zkoušce trvalého reziduálního proudu se pomocí R1 vytvoří základní proud těsně pod bodem rozpojení a R2 se zapne, aby proud překročil bod rozpojení. Kondenzátor C1 je nepoužije.

Při zkoušce náhlé změny reziduálního proudu se pomocí C1 vytvoří základní proud a R1 nebo R2 se zapne, aby se způsobila požadovaná hodnota náhlé změny proudu. Další rezistor se nepoužije.

Obrázek 6 – Příklad zkušebního obvodu pro zkoušku detekce reziduálního proudu

6.3.5 Typová zkouška reziduálního proudu s ohledem na nebezpečí požáru pro izolované střídače

Shoda s mezí 300 mA nebo 10 mA na každý kVA podle 6.3.3 se zkouší se střídačem připojeným a provozovaným za referenčních podmínek zkoušky mimo toho, že DC napájení střídače, nesmí mít žádné spojení s uzemněním a síťové napájení střídače musí mít jeden pól uzemněn. To je přijatelné (a může to být nutné), aby se zabránilo fungování detekce izolační rezistance pole během této zkoušky. Ampérmetr se připojuje od každé svorky PV vstupu střídače k uzemnění, jeden po druhém. Použitý ampérmetr musí měřit skutečnou efektivní hodnotu a obě AC a DC složky proudu s šířkou pásma nejméně 2 kHz.

Proud se zaznamená a porovná s mezí pro určení požadavků na izolační rezistanci uzemnění pole a na detekci reziduálního proudu pole v tabulce 3.

6.3.6 Ochrana použitím proudového chrániče RCD

Požadavek na další ochranu podle 6.3.3 je možné splnit zajištěním RCD s nastavením reziduálního proudu na 30 mA, který se nachází mezi střídačem a sítí. Výběr typu RCD pro zajištění kompatibility se střídačem musí být ve shodě s pravidly pro výběr RCD podle 6.2.2 a obrázku 5. RCD může být nedílnou součástí střídače nebo může být zajištěn dodavatelem instalace, pokud podrobné údaje o výkonnosti, typu a umístění RCD jsou uvedeny v návodu k montáži.

6.3.7 Ochrana monitorováním reziduálního proudu

Pokud to vyžaduje tabulka 4, střídač musí zajišťovat monitorování reziduálního proudu, které funguje vždy, když je střídač připojen k síti s prostředky automatického odpojení zapnutými. Prostředky monitorování reziduálního proudu musí měřit celkovou efektivní hodnotu (jak AC tak i DC složky) proudu.

Jak je uvedeno v tabulce 4 u různých typů střídačů, typů polí a úrovní izolace střídače mohou se požadovat detekce trvalého nadměrného reziduálního proudu, nadměrných náhlých změn reziduálního proudu nebo obojího při následujících mezích:

- a) Trvalý reziduální proud: střídač se musí odpojit během 0,3 s a porucha se musí signalizovat, pokud trvalý reziduální proud překračuje:
 - maximum 300 mA pro střídače s jmenovitým nepřetržitým výstupním výkonem ≤ 30 kVA;
 - maximum 10 mA na každý kVA jmenovitého trvalého výstupního výkonu střídačů s jmenovitým nepřetržitým výstupním výkonem > 30 kVA.
- b) Náhlé změny reziduálního proudu: střídač musí odpojit od sítě do doby uvedené v tabulce 4 a poruchu musí signalizovat, pokud náhlé zvýšení efektivní hodnoty reziduálního proudu překračuje hodnotu v tabulce.

Tabulka 4 – Meze doby odezvy na náhlé změny reziduálního proudu

Náhlá změna reziduálního proudu	Maximální doba odpojení střídače od sítě
30 mA	0,3 s
60 mA	0,15 s
150 mA	0,04 s

Reziduální proud ve střídavém vstupním a/nebo výstupním obvodu se měří s použitím měřidla nebo síťového analyzátoru nebo jiným přístrojem, který dokáže detekovat pouze stejnosměrnou složku reziduálního proudu. Výsledná stejnosměrná složka reziduálního proudu se porovná s mezemi stanovenými podle potřeby v IEC 60755 nebo IEC 62020.

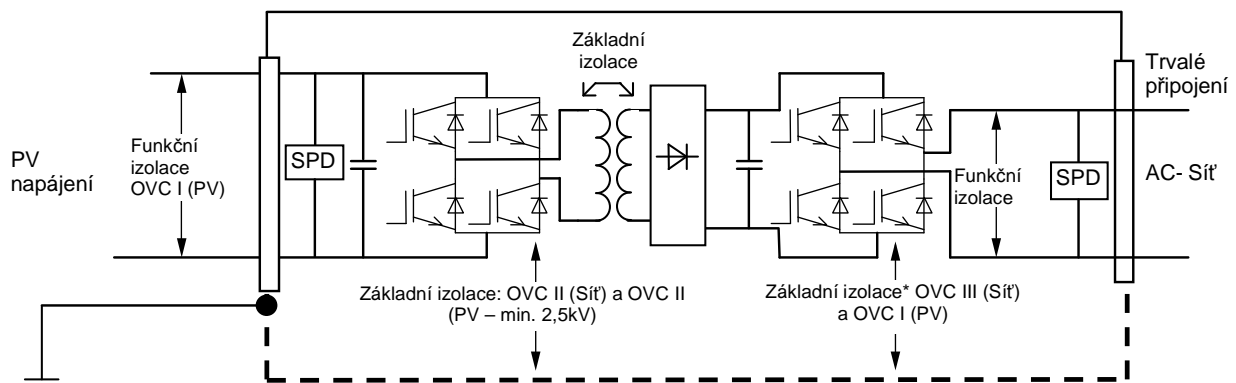
6.3.8 Příklad požadavků na určení OVC a jmenovitých údajů impulzního výdržného napětí

Uvažujme PCE s izolací mezi sítí a PV obvody podle ČSN EN 62109-1, přičemž PV obvod (základní izolace OVC II) pracuje na systémovém napětí 1 500 V d.c. a síťový obvod (OVC III) pracuje na systémovém napětí 150 V r.m.s. Na základě tabulky 2 jmenovitý údaj impulzního výdržného napětí PV obvodu je pak 6 000 V (obvod proti uzemnění) před posouzením vlivu sítě. Jmenovitý údaj impulzního výdržného napětí sítě je 2 500 V (obvod proti uzemnění) před posouzením vlivu PV obvodu.

- Impulzy ze síťového obvodu přítomné na PV obvodu jsou podle izolace o jednu OVC zmenšeny na 1 500 V na základě systémového napětí 150 V r.m.s v OVC II.

- Jmenovitý údaj, který má být použit na PV obvodu je 6 000 V (vyšší ze dvou hodnot).
- Impulzy z tohoto PV obvodu na síťovém obvodu jsou podle izolace o jednu OVC zmenšeny na 4 000 V na základě systémového napětí 1 500 V r.m.s v OVC I.
- Jmenovitý údaj, který má být použit na síťovém obvodu je 4 000 V (vyšší ze dvou hodnot).
- Výše uvedené jmenovité údaje impulzního výdržného napětí jsou od obvodů proti uzemnění. Uvnitř obvodů, se OVC snižuje o jednu kategorii ve srovnání s OVC od obvodů proti uzemnění. Proto v rámci PV obvodu jmenovitý údaj, který má být použit, je 4 000 V na základě napětí PV systému ve výši 1 500 V d.c. a OVC II se sníží na OVC I. Jmenovitý údaj, který se má použít na síťovém obvodu je 2 500 V na základě dalšího snížení o jednu úroveň 4 000 V impulzů (obvod proti uzemnění) od PV strany.

Na následujícím obrázku 7 jsou uvedeny příklady uplatnění požadavků kategorií přepětí podle 6.1.



Funkční izolace: Funkční izolace je založena na max. impulzním napětí omezeném charakteristikou obvodu včetně SPD. SPD neumožňuje žádné snížení základní izolace, protože se nachází mezi fázemi.

U základní i funkční izolace transformátor zajišťuje galvanickým oddělením snížení OVC o jednu úroveň, jak pro síť, tak i pro PV napájení.

Obrázek 7 – PV střídač oddělený transformátorem (základní izolace) přičemž ke snížení impulzního přepětí na funkční izolaci je zapojen SPD

6.4 Stav ostrovního provozu systémů výroby obnovitelné energie

Ostrovní provoz je stav, ve kterém je část elektrizační soustavy, která obsahuje jak zatížení tak i generování, izolovaná od zbytku elektrizační soustavy. Toto je stav části elektrizační soustavy, ke kterému může dojít také následkem impulzního přepětí. Možnosti vzniku provozu je třeba minimalizovat, protože provozovatel veřejné distribuční soustavy nemůže kontrolovat napětí a kmitočet v ostrovu a je možnost poškození zařízení zákazníků i provozovatele distribuční soustavy. Postup pro vyhodnocení funkce opatření zabraňujících ostrovnímu provozu provozovatelem elektrizační soustavy připojených fotovoltaických systémů je uveden v PNE 33 34 30-4.

7 Citlivost ohrožených zařízení na impulzní rušení

Jisté typy elektrického zařízení jsou potenciálně citlivé vůči přechodným jevům, pokud nebyla použita preventivní opatření pro zajištění odolnosti v prostředí. Z dlouhodobých zkušeností při používání kabelů, konektorů, kondenzátorů, izolačních materiálů, transformátorů, vypínačů atd. byly stanoveny meze, které zaručují odolnost vůči přechodným napětím. Pro mnoho součástí jsou definovány přepětíové zkoušky. Pro zařízení obsahující polovodičové součásti se však mohou projevit nejrůznější projevy citlivosti na rušení včetně katastrofálních poškození a dočasné nesprávné funkce. Některé z těchto jevů jsou diskutovány dále samostatně, protože zařízení pro měření a analýzu přechodných jevů jimi nesmí být ohroženo.

Poruchy zařízení související s tlumenou sinusovou vlnou na zdrojích síťového napájení závisí na fázovém úhlu přechodného jevu vzhledem k sinusovce střídavého napětí. Dojde-li při ohrožení tlumenou sinusovou vlnou k přeskočení jiskry v ochranném prvku, může se vyskytnout následný proud. Následný proud je proud z připojeného výkonového zdroje, který protéká během a po vzniku vybíjecího proudu ochranným prvkem nebo při jakémkoliv přeskočení jiskry ve zkoušeném zařízení.

U polovodičů se tento jev objeví v souvislosti s vodivým stavem polovodičových prvků zkoušeného zařízení v okamžiku výskytu tlumené sinusové vlny. Parametry polovodiče, které mohou toto ovlivnit, zahrnují přímé a zpětné charakteristiky zotavení a funkci sekundárního průrazu.

Při shodě fáze se polovodičové prvky nejpravděpodobněji poruší, jsou-li zapojeny ve vstupních silových obvodech. Ostatní prvky v různých místech zkoušeného zařízení mohou být také vystaveny takovýmto poruchám, jestliže některé nebo všechny přechodné jevy jimi procházejí.

7.1 Škodlivé účinky

Poškození je převážně omezeno na polovodičové zařízení, ačkoliv z důvodu extrémně vysokých amplitud přechodných jevů, např. blízkých úderů blesků, se mohou vyskytnout izolační poruchy i jiných součástí. Výkonová polovodičová zařízení připojená přímo na napájecí vedení jsou namáhána plným napětím přechodného jevu. Zařízení adekvátně dimenzovaná jsou však vybírána na základě dřívějších zkušeností s poruchami zařízení. Polovodičová zařízení řídicích a nízkonapěťových obvodů mají na napájecí vedení pouze nepřímou vazbu, avšak k poškození může dojít, protože zařízení pracuje s nízkými napětími a proudy. Tyto vazební mechanismy umožňují vysokofrekvenční složky přechodných jevů a v mnoha aplikacích se dají obtížně odhadnout, takže preventivní opatření k ochraně zařízení vyžadují pečlivé uvážení. Příklady škodlivých účinků jsou dány níže.

7.1.1 Polovodičová výkonová zařízení

Tato zařízení mohou být poškozena napěťovými přechodnými jevy (špičkami) o velmi krátké době trvání, asi 1 ns. Pravděpodobnost poškození je funkcí amplitudy přechodného jevu, trvání, polarity, doby náběhu, pozice na vlně napájecího napětí, atd., rovněž i funkcí parametrů zařízení. Počáteční porucha zařízení je obvykle doprovázená výbojem o vysokém proudu z napájení, který způsobí katastrofální poškození. Typická zařízení, u kterých se projevila náchylnost k takovým poruchám, jsou usměrňovací diody v elektronických přístrojích a tyristory užívané pro řízení rychlosti motorů.

7.1.2 Signální a řídicí obvody

Do těchto obvodů vnikají přechodné jevy o nižších amplitudách, protože obvody nejsou obvykle přímo vázány na napájecí rozvod nízkého napětí. Jevy pronikají pomocí vazebního mechanismu mezi nimi a stejnosměrnými napájecími obvody, dále indukci do signálních a řídicích obvodů.

Tyto obvody obsahují různá polovodičová zařízení náchylná k poruchám i od přechodných jevů o relativně nízkých hladinách. Příkladem jsou integrované obvody, některé diskrétní součástky (polem řízené tranzistory a diody pro speciální účely, jako jsou tunelové diody).

7.2 Poruchy funkce

Přechodné jevy vzniklé na napájecích vedeních nízkého napětí mohou způsobit různé poruchy funkce zařízení nejrůznějších druhů. Vedení nízkého napětí může i nemusí mít vazbu na signální vedení. Některé z těchto poruch mohou mít i nebezpečné důsledky, např. požár nebo explozi v chemických továrnách nebo náhlé změny rychlosti otáčení motorů. Většina poruch funkce je však relativně neškodná, způsobující pouze dočasné projevy přijatelné pro uživatele, např. malé přechodné změny v měřených údajích.

V praxi jsou pozorovány dva různé typy přechodných jevů na napájení, které nejčastěji způsobují poruchy funkce: napěťové špičky s dobou trvání řádově 1 μ s a krátkodobé nebo delší poklesy napětí (snížení trvajících po dobu asi 10 ms a delší). Poklesy napětí jsou předmětem PNE 33 34 30-4.

7.2.1 Účinky napěťových špiček

a) Číslicové systémy

Zařízení, které obsahuje číslicové systémy (jako počítače, mikroprocesory, přístroje), může být ovlivněno napěťovými špičkami, které jsou vazbou přeneseny do logických obvodů a poruší data. Jejich účinky mohou být překonány různými korekčními technikami. V extrémních případech však poruchy mohou způsobit vážné důsledky (například nesprávnou řídicí činnost, "zamrznutí" programu, nechtěnou změnu programu a zavedení nesprávných dat do paměti).

b) Řídicí systémy

Zařízení řídicích systémů může být ovlivněno indukovanými špičkami napětí způsobujícími poruchy funkce systému.

c) Přístrojová technika

Nesprávné údaje některých typů zařízení mohou být způsobeny napěťovými špičkami.

d) Výstražné a bezpečnostní systémy

Nežádoucí činnost nebo chyba v činnosti těchto systémů může být iniciována napěťovými špičkami.

e) Zařízení obsahující výkonové polovodičové prvky

Řízení rychlosti otáček motorů polovodiči může být ovlivněno napěťovými špičkami. Typicky se projevuje náhlým vzrůstem rychlosti. Řízení topení není osamělými napěťovými špičkami příliš ovlivněno. Opakované špičky však mohou způsobit velké změny teploty.

8 Zkoušky odolnosti proti impulznímu rušení

Cílem norem zkoušek odolnosti je vytvoření obecné a reprodukovatelné základny pro vyhodnocení odolnosti elektrického a elektronického zařízení vystaveného přechodným přepětím. Zkušební metody dokumentované v těchto normách popisují konzistentní metody určení odolnosti zařízení nebo systému proti definovanému jevu.

Rozlišují se dva druhy zkoušek: na úrovni zařízení a na úrovni systému.

8.1 Úroveň odolnosti zařízení

Zkouška se musí provést v laboratoři na jednotlivém zkoušeném zařízení. Odolnost zařízení takto zkoušeného se týká úrovně odolnosti zařízení.

Zkušební napětí nesmí překročit stanovenou isolační pevnost tak, aby izolace odolala namáhání vysokým napětím.

8.2 Úroveň odolnosti systému

Zkouška provedená v laboratoři se týká zkoušeného zařízení EUT, ale odolnost EUT nezajišťuje nutně odolnost většího systému, který toto EUT obsahuje. Pro zajištění úrovně odolnosti systému se doporučuje zkouška na systémové úrovni, která simuluje skutečnou instalaci. Simulovaná instalace musí obsahovat individuální EUT a musí také obsahovat ochranné prvky (SPD), pokud jsou vyžadovány návodem pro aplikaci systému nebo dohodnuty s provozovatelem systému/soustavy. Použije se skutečná délka a typ všech propojovacích vedení, které mohou ovlivňovat celkovou úroveň ochrany systému.

Jednoduché přidání externího SPD, které není koordinováno s ostatními interními SPD, by nemuselo mít žádoucí účinek, mohlo by zmenšit účinek na ochranu celého systému nebo by mohlo ochranu celého systému zlepšit.

Další informace je možno najít v IEC normách ochranných prostředků proti rázovému impulzu souborů IEC 61643 a IEC 62305 (Ochrana proti elektromagnetickému impulzu způsobenému bleskem).

Cílem zkoušky je pokud možno co nejvěrnější simulování instalačních podmínek, ve kterých by EUT mělo později fungovat.

Za reálných podmínek instalace se mohou aplikovat vyšší úrovně napětí, avšak energie rázového impulzu bude omezena ochrannými prostředky podle jejich charakteristik proudového omezení.

Záměrem zkoušky úrovně systému je také ukázat, že sekundární účinky způsobené ochrannými prvky (změna tvaru vlny, režimu, amplitudy napětí a proudů) nezpůsobí nepřijatelné účinky na EUT. Pro kontrolu, že při specifickém zkušební napětí nedochází k žádnému poškození v rámci EUT, je nutné provést zkoušky s progresivně zvyšovanými zkušebními napětími až do požadované hodnoty. Toto specifické zkušební napětí je určeno pracovními body ochranných součástí nebo ochranných prostředků uvnitř EUT

8.3 Třídy prostředí a instalace

Zkušební úrovně odolnosti by měly být vybrány podle nejrealističtější instalace a podmínek prostředí. Tyto úrovně jsou uvedeny v níže uvedených člancích pro jednotlivé druhy přechodných přepětí.

Zkoušky odolnosti navazují na tyto úrovně, aby se zajistila funkční úroveň pro prostředí, ve kterém se předpokládá provoz zařízení.

Při zkouškách ovládacích, signálových a datových vstupů/výstupů EUT se použijí poloviční hodnoty zkušebního napětí aplikované na napájení.

Na základě obecných instalačních zkušeností je doporučený výběr zkušebních úrovní podle požadavků elektromagnetického prostředí následující:

a) Úroveň 1: Dobře chráněné prostředí

Instalace je charakterizována následujícími znaky:

- potlačení všech rušení ve spínaných napájecích a ovládacích obvodech;
- oddělení vedení napájecích (střídavých a stejnosměrných) od ovládacích a měřicích obvodů přicházejících z jiných prostředí náležejících k vyšším stupňům přísnosti;

- stíněné napájecí kabely se stíněním uzemněným na obou koncích k referenční zemi instalace a ochrana napájení filtrováním.

Reprezentantem tohoto prostředí může být počítačový sál.

Použitelnost této úrovně pro zkoušení je omezena na napájecí obvody při typových zkouškách a na uzemňovací obvody a na skříně zařízení při zkouškách po instalaci.

b) Úroveň 2: Chráněné prostředí

Instalace je charakterizována následujícími znaky:

- částečné potlačení rušení v napájecích a ovládacích obvodech, které jsou spínány pouze prostřednictvím relé (ne stykači);
- nedokonalé oddělení průmyslových obvodů náležejících průmyslovému prostředí od jiných obvodů náležejících k prostředí vyšších stupňů přísnosti;
- fyzické oddělení nestíněných napájecích kabelů a ovládacích kabelů od signálových a komunikačních kabelů.

Reprezentantem tohoto prostředí může být velín nebo terminálová místnost průmyslového závodu nebo elektrárny.

c) Úroveň 3: Typické průmyslové prostředí

Instalace je charakterizována následujícími znaky:

- není potlačení rušení v napájecích a ovládacích obvodech, které jsou spínány pouze prostřednictvím relé (ne stykači);
- nedokonalé oddělení průmyslových od jiných obvodů náležejících k prostředí vyšších stupňů přísnosti;
- jednoúčelové kabely určené pro napájení, ovládání, signálová a komunikační vedení;
- nedostatečné oddělení mezi napájecími, ovládacími, signálovými a komunikačními kabely;
- zemní systém mohou představovat vodivá potrubí, uzemňovací vodiče v kabelových žlabech (připojené k ochrannému uzemnění) a zemnicí mříže.

Reprezentanty tohoto prostředí mohou být prostory zařízení průmyslového procesu.

d) Úroveň 4: Nepříznivé průmyslové prostředí

Instalace je charakterizována následujícími znaky:

- není potlačení rušení v napájecích a ovládacích obvodech, které jsou spínány prostřednictvím relé a stykačů;
- není oddělení průmyslových obvodů náležejících k nepříznivému průmyslovému prostředí od jiných obvodů náležejících k prostředí vyšších stupňů přísnosti;
- není oddělení mezi napájecími, ovládacími, signálovými a komunikačními kabely;
- jsou použity vícežilové sdružené kabely pro ovládací a signálová vedení.

Reprezentanty tohoto prostředí mohou být venkovní průmyslová zařízení, kde nejsou aplikována žádná zvláštní instalační opatření, prostory elektráren, reléové místnosti vysokonapěťových venkovních a plynem izolovaných rozvodů do provozního napětí 500 kV (při typickém způsobu instalace).

e) Úroveň 5: Zvláštní situace, které se musí analyzovat.

Větší či menší elektromagnetické oddělení zdrojů rušení od obvodů zařízení, kabelů, vedení atd. a kvalita instalace mohou vyžadovat použití nižší nebo vyšší úrovně prostředí, než je popsáno výše. Je třeba poznamenat, že vedení pro zařízení s vyšší úrovní prostředí mohou vstupovat do prostředí s nižšími stupni přísnosti.

8.4 Odolnost proti rychlým přechodným jevům/skupinám impulzů

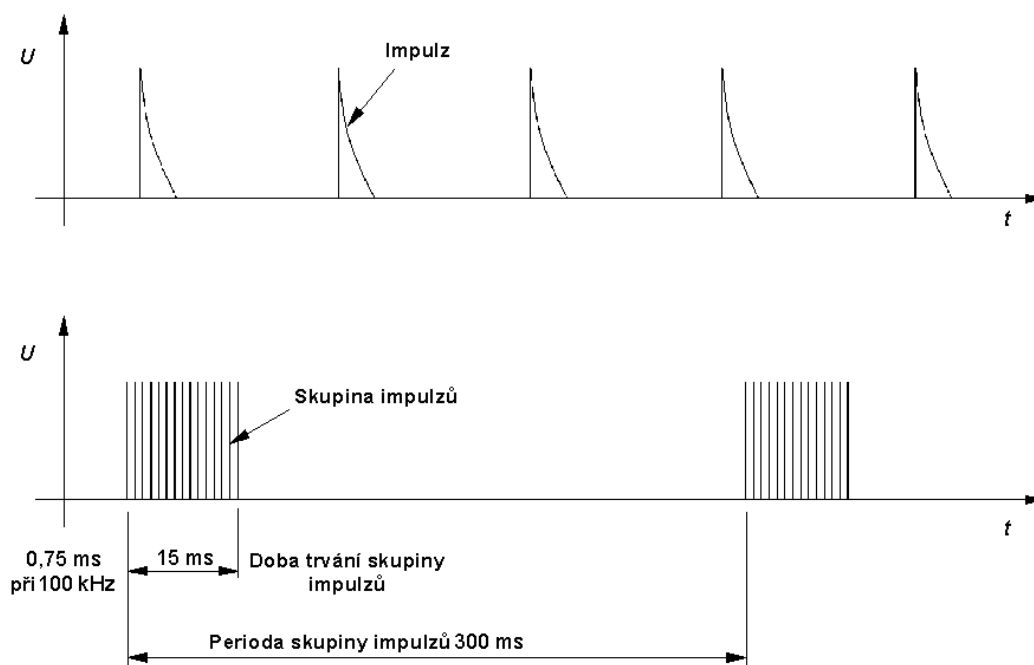
Požadavky na odolnost a postupy zkoušky týkající se rychlých elektrických přechodných jevů/skupin impulzů uvádí norma ČSN EN 61000-4-4 ed. 2.

Tato norma definuje:

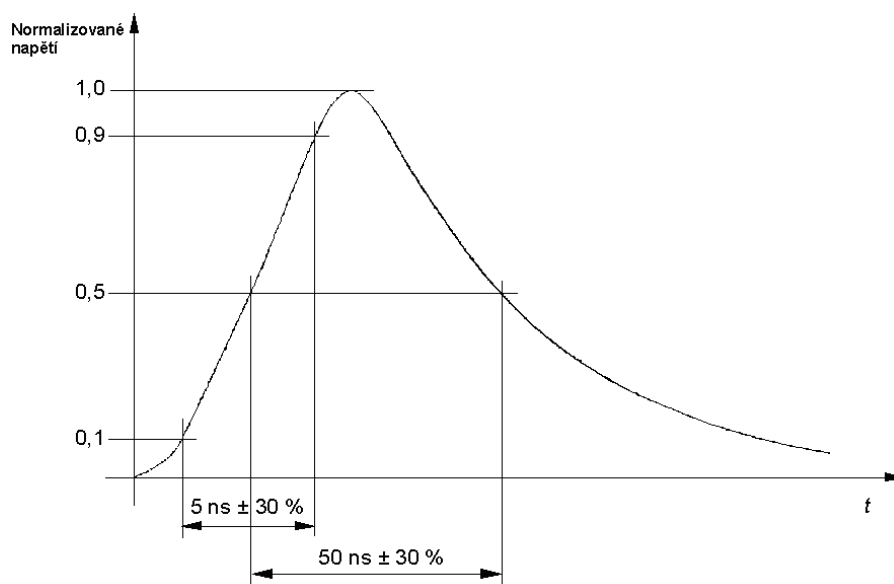
- tvar vlny zkušebního napětí;
- rozsah zkušebních úrovní;

- zkušební zařízení;
- postupy ověření zkušebního zařízení;
- zkušební sestavu;
- postup zkoušky.

Tato norma udává specifikace pro zkoušky prováděné v laboratoři a pro zkoušky po instalaci.



Obrázek 8 – Obecný průběh rychlého přechodného jevu/skupiny impulzů



Obrázek 9 – Tvar vlny jednoho impulzu do zátěže 50 Ω

Přednostní zkušební úrovně pro zkoušku rychlými elektrickými přechodnými jevy, které jsou použitelné na napájecí a uzemňovací vstupy jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 – Zkušební úrovně

Úroveň	Na vstupu/výstupu napájení, PE	
	Vrcholové napětí kV	Opakovací kmitočet impulzů kHz
1	0,5	5 nebo 100
2	1	5 nebo 100
3	2	5 nebo 100
4	4	5 nebo 100
X ^a	Speciální	Speciální

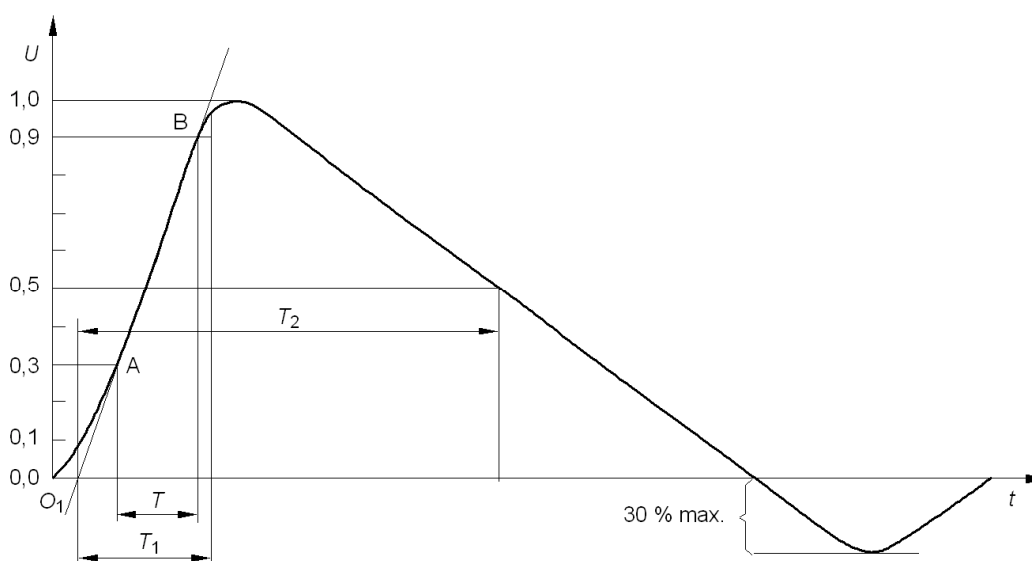
^a□„X“ je otevřená úroveň. Tuto úroveň je třeba určit ve specifikaci konkrétního výrobku.

POZNÁMKA 1 Tradičně se používá opakovací kmitočet 5 kHz; 100 kHz je však bližší realitě. Výrobové komise by měly určit, které kmitočty jsou vhodné pro specifické výrobky nebo typy výrobků.

Zkušební úrovně se musí vybrat podle podmínek instalace; třídy instalace jsou uvedeny v článku 8.3.

8.5 Odolnost proti rázovému impulzu

Požadavky na odolnost zařízení proti jednosměrným rázovým impulzům způsobeným přepětími od spínacích a atmosférických přechodných jevů, zkušebních metod a rozsah doporučených úrovní zkoušky zařízení uvádí norma ČSN EN 61000-4-5 ed. 2. Je v ní definováno několik zkušebních úrovní týkajících se různých prostředí a podmínek instalace.



Náběžná doba: $T_1 = 1,67 \times T = 1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$

Doba na poloviční hodnotu: $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20 \%$.

Obrázek 10 – Vlna napětí naprázdno rázového impulzu 1,2/50 μs

Přednostní rozsah zkušebních úrovní je uveden v tabulce 6.

Tabulka 6 – Zkušební úrovně

Úroveň	Zkušební napětí naprázdno $\pm 10\%$ kV
1	0,5
2	1,0
3	2,0
4	4,0
X	Speciální
POZNÁMKA X může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň může být stanovena v normě výrobku.	

Zkušební úrovně se musí vybrat podle podmínek instalace (viz 8.3).

POZNÁMKA V současné době se připravuje revize IEC 61000-4-5 ed. 3, podle které budou různé zkušební úrovně mezi fázovými vodiči a mezi fázovým vodičem a uzemněním.

8.6 Odolnost proti tlumené sinusové vlně

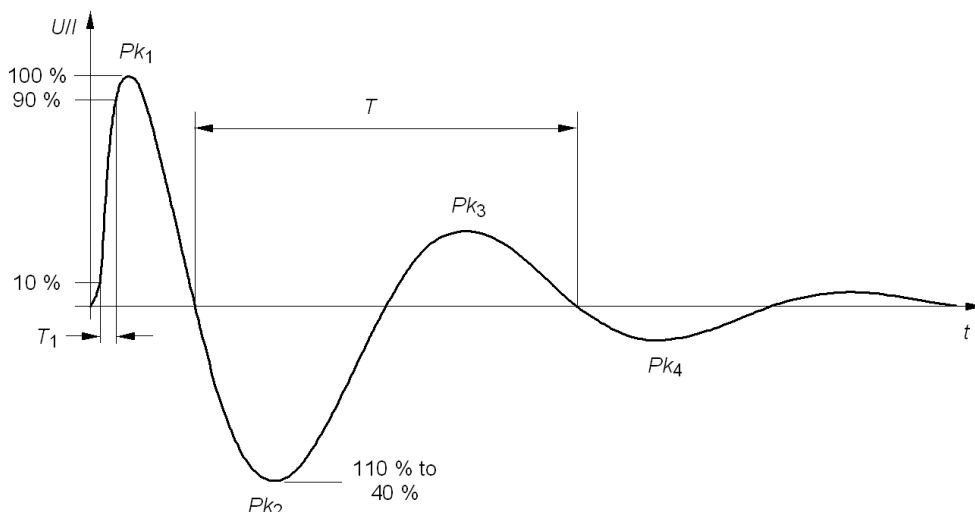
Požadavky na odolnost zařízení a zkušebních metod odolnosti elektrických a elektronických zařízení při provozních podmínkách proti neopakujícím se tlumeným oscilačním přechodným jevům (tlumeným sinusovým vlnám) vyskytujícím se v nízkonapěťových napájecích, ovládacích a signálních vedeních napájených z veřejných a neveřejných distribučních soustav jsou uvedeny v normě ČSN EN 61000-4-12 ed. 2.

Tlumená sinusová vlna (popsaná obrázkem 11) je typický oscilační jev indukovaný v nízkonapěťových kabelech, který je způsoben spínáním elektrických obvodů a reaktivních zátěží, poruchami a průrazem izolace obvodů. Jedná se ve skutečnosti o nejrozšířenější jev vyskytující se v distribučních soustavách.

Šíření vlny ve vedeních (napájecích a signálních) je vystaveno odrazům, způsobeným nepřizpůsobením impedance (vedení jsou zakončena jejich vlastními zátěžemi nebo připojena na ochranné prostředky, na vstupní filtry vedení atd.). Tyto odrazy vytvářejí oscilace, jejichž kmitočet závisí na rychlosti šíření. Přítomnost parazitních parametrů (rozptylové kapacity součástí jako jsou vinutí motorů, transformátorů atd.) je další z podmiňujících faktorů.

Přednostní zkušební úrovně pro tlumenou sinusovou vlnu aplikovanou na napájecích, signálních a ovládacích vstupech/výstupech zařízení jsou uvedeny v tabulce 7. Zkušební úroveň je definována jako první vrchol (maximum nebo minimum) na zkušebním tvaru vlny (Pk_1 na obrázku 11).

Pro napájecí, signální a ovládací vstupy/výstupy se mohou použít různé úrovně. Úrovně použité pro signální a ovládací vstupy/výstupy se nesmí lišit o více než jednu úroveň od té, která je použita pro napájecí vstupy.



Legenda

T_1 Doba náběhu
 T Perioda oscilace

POZNÁMKA Pro tvar vlny proudu je specifikován jen vrchol Pk_1 .

Obrázek 11 – Tvar tlumené sinusové vlny (napětí naprázdno a proud nakrátko)

Tabulka 7 – Zkušební úrovně pro tlumenou sinusovou vlnu

Úroveň	Mezi vodičem a uzemněním kV	Mezi vodiči kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
X ^a	x	x

^a X může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň může být stanovena v normě výrobku.

Použitelnost zkoušky tlumenou sinusovou vlnou se musí řídit specifikací výrobku.

Zkušební úrovně by se měly z tabulky 7 vybrat podle nejvíce realistických podmínek instalace a prostředí.

Zkoušky odolnosti jsou s těmito úrovněmi zharmonizovány pro stanovení úrovně funkce zařízení v prostředí, v kterém se očekává, že toto zařízení bude pracovat, přičemž se berou v úvahu primární jevy a instalační postupy, které určují třídy elektromagnetického prostředí.

Výběr zkušebních úrovní by se měl provádět na základě aplikovatelnosti v daném místě nebo instalaci.

8.7 Odolnost proti tlumeným oscilačním přechodným jevům

Jevy tlumené oscilační vlny se rozdělují do dvou částí. Na první část se odkazuje jako na pomalou tlumenou oscilační vlnu a zahrnuje kmitočty oscilací mezi 100 kHz a 1 MHz. Na druhou část se odkazuje jako na rychlou tlumenou oscilační vlnu a zahrnuje kmitočty oscilací nad 1 MHz. Příčina těchto dvou typů tlumených oscilačních vln jsou popsány níže.

8.7.1 Informace o vlastnostech pomalé tlumené oscilační vlny

Tento jev je reprezentativní pro spínání odpojovačů ve venkovních rozvodnách vvn/vn a týká se zejména spínání sběrnic vvn. Je rovněž rušivým pozadím v průmyslových závodech.

Vypínací a zapínací operace odpojovačů vvn v rozvodnách způsobují přechodné jevy se strmou čelní vlnou s dobou trvání řádově několik desítek nanosekund.

Čelní vlna napětí má průběh, který zahrnuje odrazy způsobené nepřizpůsobením charakteristické impedance příslušných obvodů vvn. V souvislosti s tím jsou přechodné jevy napětí a proudu na sběrnicích vvn charakterizovány základním kmitočtem oscilace, který závisí na délce obvodu a na době šíření.

Kmitočet oscilace je pro venkovní rozvodny v rozsahu od asi 100 kHz do několika megahertz v závislosti na vlivu výše zmíněných parametrů a na délce sběrnic, které se mohou měnit od několika desítek metrů do stovek metrů (může se vyskytnout 400 m).

V souvislosti s tím může být kmitočet oscilace 1 MHz považován za reprezentativní pro většinu situací. Pro velké rozvodny vvn se však považuje za vhodný kmitočet 100 kHz.

Kmitočet opakování se mění od několika hertz do několika kilohertz v závislosti na vzdálenosti mezi spínacími kontakty: to znamená, že pro blízké kontakty je maximální kmitočet opakování, zatímco pro vzdálenosti kontaktů blízké se uhašení oblouku je minimální kmitočet opakování. Pro každý fázový vodič je dvojnásobkem síťového kmitočtu.

Vybrané četnosti opakování 40/s a 400/s představují proto kompromis, který bere v úvahu různé doby trvání jevů, vhodnost různých uvažovaných kmitočtů a problém týkající se energie, které jsou zkoušené obvody vystaveny.

V průmyslových závodech mohou být opakující se oscilační přechodné jevy generovány spínacími přechodnými jevy.

8.7.2 Informace o vlastnostech rychlé tlumené oscilační vlny

Během činnosti rozepínání nebo spínání odpojovače dojde mezi oběma pohybujícími se kontakty k velkému počtu opětovných průrazů způsobených pomalým pohybem kontaktů. Proto spínání odpojovače generuje velmi rychlé přechodné jevy, které se šíří jako postupné vlny po sběrnicích rozvodny. Elektrická délka stíněných vodičů a délka sběrnic naprázdno určuje kmitočty oscilací přechodných přepětí.

U rozveden izolovaných vzduchem (AIS) budou tyto přechodné jevy vyzařovat elektromagnetické pole v prostředí rozvodny. Měření prokázala, že v těchto rozvodnách mohou být také přechodné jevy s kmitočty vyššími než 1 MHz.

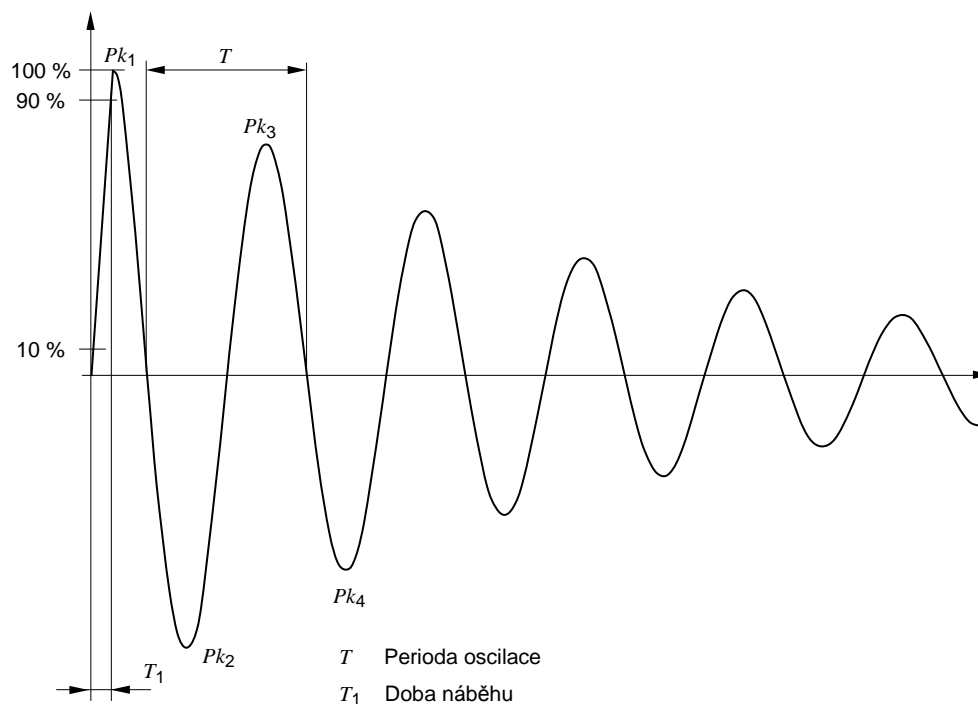
U rozveden izolovaných plynem (GIS), budou se tyto přechodné jevy šířit uvnitř kovových krytů naplněných plynem SF₆. Vlivem skin efektu se přechodné jevy vysokého kmitočtu udrží uvnitř krytu a nezpůsobí žádné problémy. Na nespojitostech krytu se však část přechodných jevů přenesou na vnější povrch potrubí krytu. Následně potenciál krytu stoupne a protékající proud na povrchu krytu vyzařuje elektromagnetické pole v prostředí rozvodny. Nárůst přechodného potenciálu uzemnění je přímo zdrojem přechodných nesymetrických proudů v sekundárních obvodech. Vyzařované elektromagnetické pole indukuje také nesymetrické proudy v sekundárních obvodech.

Prostředí rozveden vvn (GIS, avšak také AIS) se však nyní stává mnohem nepříznivější, než tomu bylo v minulosti, což je způsobeno zmenšením vzdáleností v souvislosti se zmenšováním celkových rozměrů rozveden, použitím plynem izolovaných rozveden (GIS) a instalací elektronických zařízení blíže ke spínačům.

Proto se ukázalo, že oscilační kmitočty 3 MHz, 10 MHz a 30 MHz rychlých tlumených oscilačních vln jsou vhodnější pro respektování reálného prostředí jak některých AIS, tak i všech GIS.

Kmitočet opakování se mění mezi několika hertzy a mnoha kilohertzy v závislosti na vzdálenosti mezi spínacími kontakty: to znamená, že při blízkých kontaktech maximální kmitočet opakování, zatímco při vzdálenosti mezi spínacími kontakty blízké zaniknutí oblouku je minimální kmitočet opakování v každé fázi dvojnásobkem síťového kmitočtu.

S ohledem na vyšší rychlosti opakování měřené v GIS byla vybrána rychlosti opakování 5 000/s. Tato rychlost reprezentuje kompromis (tak vysoký, aby pokryl měřené rychlosti), přičemž se berou v úvahu různé doby trvání jevů, vhodnost různých uvažovaných kmitočtů a problémy týkající se energie, kterou jsou zkoušené obvody namáhány.



Obrázek 12 – Tvar tlumené oscilační vlny (napětí naprázdno)

Přednostní zkušební úrovně pro tlumenou oscilační vlnu aplikovanou na napájecích vstupech zařízení jsou uvedeny v tabulkách 8 a 9. Zkušební úroveň je definována jako první vrchol (maximum nebo minimum) na zkušebním tvaru vlny (Pk_1 na obrázku 12).

Tabulka 8 – Zkušební úrovně pro pomalou tlumenou oscilační vlnu (100 kHz nebo 1 MHz)

Úroveň	Nesymetricky kV	Symetricky kV
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2 ^a	1
4	-	-
x ^b	x	x

^a Pro zařízení rozvodny se hodnota zvětší na 2,5 kV.
^b x může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi. Tato úroveň může být stanovena v normě výrobku.

Tabulka 9 – Zkušební úrovně pro rychlou tlumenou oscilační vlnu (3 MHz, 10 MHz nebo 30 MHz)

Úroveň	Nesymetricky kV
1	0,5
2	1
3	2
4	4
x	x

8.8 Vyhodnocení výsledků zkoušky

Výsledky zkoušky odolnosti musí být klasifikovány na základě ztráty funkce nebo zhoršení provozu zkoušeného zařízení, ve vztahu k úrovni funkce definované výrobcem nebo žadatelem o zkoušku, nebo musí být předmětem dohody mezi výrobcem a zákazníkem kupujícím výrobek. Doporučené třídění je následující:

- a) normální funkce v mezích stanovených výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem;
- b) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které přestane po zastavení rušení a sama se obnovuje normální funkce zkoušeného zařízení bez zásahu operátora;
- c) dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, vyžadující zásah operátora nebo opětné nastavení;
- d) ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které není obnovitelné, což je způsobeno poškozením technického vybavení nebo programového vybavení nebo ztrátou dat.

Specifikace výrobce může definovat účinky na EUT, které mohou být považovány za nevýznamné a proto přípustné.

Toto třídění může být použito jako návod při formulování funkčních kritérií komisemi zodpovědnými za kmenové normy, normy výrobku a normy skupiny výrobků nebo jako rámec pro dohodu o funkčních kritériích mezi výrobcem a zákazníkem kupujícím výrobek, například tam, kde není žádná vhodná kmenová norma, norma výrobku nebo norma skupiny výrobků.

8.9 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce odolnosti obsahuje všechny informace potřebné pro opětné provedení zkoušky:

- body specifikované v plánu zkoušky požadovaném kapitolou 8 norem ČSN EN 61000-4-4 ed.2, ČSN EN 61000-4-5 ed.2, ČSN EN 61000-4-12 ed.2 a ČSN EN 61000-4-18;
- identifikace zkoušeného zařízení a jakéhokoli přidruženého zařízení, např. obchodní značka, typ výrobku, výrobní číslo;
- identifikace zkušebního zařízení, např. ochranná značka, typ výrobku, číslo série;
- jakékoliv zvláštní podmínky prostředí, při kterých byla zkouška provedena, např. stínící kryt;
- jakékoliv specifické podmínky nutné k umožnění provedení zkoušky;
- funkční úroveň definovaná výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem kupujícím výrobek;
- funkční kritérium specifikované v kmenové normě, normě výrobku nebo v normě skupiny výrobků;
- jakékoliv účinky na EUT pozorované během nebo po aplikování zkušebnímu rušení a doba trvání, po kterou tyto účinky setrvávají;
- zdůvodnění rozhodnutí zda zařízení při zkoušce obstálo/neobstálo (založené na funkčním kritériu specifikovaném v kmenové normě, normě výrobku nebo v normě skupiny výrobků nebo dohodnutém mezi výrobcem a zákazníkem kupujícím výrobek);
- jakékoliv specifické podmínky pro použití, například délka nebo typ kabelu, stínění nebo uzemnění nebo provozní podmínky EUT, které jsou požadovány k dosažení shody.

9 Požadavky pro zlepšení spolehlivosti zařízení připojených do soustav nízkého napětí

S ohledem na následné trvalé poškození zařízení je spolehlivost zařízení dána zejména odolností proti rázovému impulzu, který má nejvyšší energii ohrožující úroveň odolnosti izolace. Zkoušky pro určení odolnosti elektronických zařízení a systémů proti napětí a proudu rázových impulzů popisuje zkušební norma IEC 61000-4-5. Zařízení nebo systém určený ke zkoušení je považován za černou skříňku a výsledky zkoušek se posuzují podle následujících kritérií:

- a) normální funkce;
- b) dočasná ztráta funkce nebo dočasné zhoršení provozu nevyžadující zásahu operátora;
- c) dočasná ztráta funkce nebo dočasné zhoršení provozu vyžadující zásahu operátora;
- d) ztráta funkce s trvalým poškozením zařízení (která znamená neúspěšnou zkoušku).

Vzhledem k tomu, že zkoušky podle IEC 61000-4-5 vyšetřují úplný rozsah možných účinků poměrně nízkých proudů rázových impulzů na elektronická zařízení a systémy, včetně trvalého poškození a destrukce zařízení

a systémů, jsou i jiné související zkušební normy, které se tolik nesoustřeďují na dočasnou ztrátu funkce, ale spíše na skutečné poškození nebo destrukci zařízení.

IEC 60664-1 se soustřeďuje na koordinaci izolace zařízení v soustavách nízkého napětí a IEC 61643-1 je zkušební norma pro ochranné prostředky proti rázovému impulzu připojené v distribučních soustavách nízkého napětí. Kromě toho obě tyto normy se soustřeďují na účinek dočasného přepětí na zařízení. IEC 61000-4-5 a další normy v souboru norem IEC 61000 účinek dočasného přepětí na zařízení nebo systémy v úvahu neberou.

Trvalé poškození je stěžejší kdy přijatelné, protože jeho následkem je prostoj systému a náklady na jeho opravu nebo náhradu. Tento typ poruchy je obvykle způsoben nedostatečnou nebo žádnou ochranou proti rázovému impulzu, což umožňuje, aby vysoká napětí a nadměrné proudy rázového impulzu způsobily v obvodech zařízení přerušování činnosti, poruchy součástek, trvalý průraz izolace a rizika vzplanutí, kouře nebo úrazu elektrickým proudem. Je však také nežádoucí dopustit jakoukoliv ztrátu nebo zhoršení funkce zařízení nebo systému, zejména pokud činnost zařízení nebo systému je kritická a musí zůstat během působení rázového impulzu v provozu.

Při zkouškách popsaných v IEC 61000-4-5 musí velikost úrovně aplikovaného zkušebního napětí (třídy instalace) a následný proud rázového impulzu mít přímý účinek na odezvu zařízení. Jednoduše řečeno čím je vyšší úroveň napětí rázového impulzu, tím je vyšší pravděpodobnost ztráty nebo zhoršení funkce, pokud zařízení nebylo dimenzováno na zajištění postačující odolnosti proti rázovému impulzu.

Při zkoušce ochranných prostředků proti rázovému impulzu (SPD) použitých v soustavách nízkého napětí norma IEC 61643-1, třída zkoušky III, specifikuje generátor kombinované vlny s efektivní výstupní impedancí 2Ω , který vytváří tvar vlny proudu nakrátko $8/20 \mu\text{s}$ a tvar vlny napětí naprázdno $1,2/50 \mu\text{s}$. Norma IEC 61000-4-5 používá pro zkoušku odolnosti napájených zařízení a systémů proti rázovému impulzu stejný generátor kombinované vlny avšak s odlišnými vazebními prvky a někdy také s přídatnou sériovou impedancí. Význam zkušební úrovně napětí (třídy instalace) podle této normy a vrcholová hodnota napětí naprázdno U_{oc} podle IEC 61643-1 jsou ekvivalentní. Toto napětí určuje vrcholovou hodnotu proudu nakrátko na svorkách generátoru. S ohledem na rozdíly v metodách nemusí být výsledky zkoušky přímo porovnatelné.

Odolnosti zařízení a systémů proti rázovému impulzu se může dosáhnout vestavěnými součástkami nebo prostředky ochrany proti rázovému impulzu (SPD) nebo vnějšími SPD. Jedno z nejdůležitějších kritérií výběru SPD je úroveň ochranného napětí U_p definovaného a popsaného v IEC 61643-1. Tento parametr by se měl koordinovat s výdržným napětím zařízení U_w podle IEC 60664-1 a toto je maximální napětí, které se očekává na svorkách SPD během zkoušek při specifických podmínkách. U_p se v IEC 61643-12 používá jen pro koordinaci s výdržným napětím zařízení U_w . Tato hodnota úrovně ochranného napětí při porovnatelném namáhání by měla také být pod úrovní napětí odolnosti při tomto porovnatelném namáhání zařízení zkoušeném podle IEC 61000-4-5, toto se však v současnosti neřeší zejména proto, že tvary vln nejsou vždy mezi těmito dvěma normami porovnatelné.

Úroveň odolnosti zařízení proti rázovému impulzu podle IEC 61000-4-5 jsou všeobecně nižší než úroveň odolnosti izolace podle IEC 60664-1, pozornost by se však měla věnovat účinkům dočasných přepětí podle IEC 60364-4-44 na SPD (nebo na vestavěné ochranné součástky proti rázovému impulzu), které mají nepřiměřeně nízkou ochrannou úroveň. Je však také možné zvolit SPD, který bude chránit před poruchou zařízení, které během působení rázového impulzu zůstane funkční a odolá většině podmínek dočasných přepětí.