



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# PARAMETRIZACE MEZNÍCH KŘIVEK ODOLNOSTI ELEKTRICKÝCH SPOTŘEBIČŮ NA KRÁTKODOBÉ POKLESY A VÝPADKY NAPĚTÍ

PARAMETERIZATION OF ELECTRIC APPLIANCES IMMUNITY CURVES  
TO VOLTAGE DIPS AND SHORT INTERRUPTIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

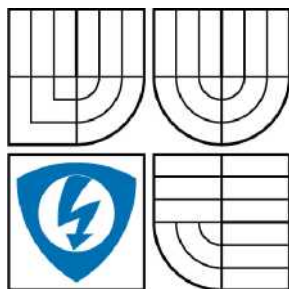
Bc. JAN ŠLEZINGR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ DRÁPELA, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

## Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Elektroenergetika

**Student:** Šlezinger Jan Bc.

**ID:** 88582

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2007/2008

**NÁZEV TÉMATU:**

### Parametrizace mezních křivek odolnosti elektrických spotřebičů na krátkodobé poklesy a výpadky napětí

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Krátkodobé poklesy a výpadky napětí vs. odolnost spotřebičů
2. Měření odolnosti spotřebičů na poklesy a výpadky napětí
3. Parametrizace kritériálních mezních křivek odolnosti
4. Metodika měření a měření pro vybrané typy 1f spotřebičů

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

**Termín zadání:** 17.12.2007

**Termín odevzdání:** 28.5.2008

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Jan Šlezinger

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 15.4.1984, Ústí nad Orlicí

(dále jen "autor")

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

(dále jen "nabyvatel")

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Parametrizace mezních křivek odolnosti elektrických spotřebičů

na krátkodobé poklesy a výpadky napětí

Vedoucí/školitel VŠKP: Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

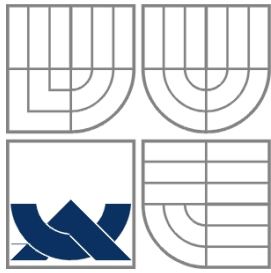
Autor

Bibliografická citace práce:

ŠLEZINGR, J. Parametrizace mezních křivek odolnosti elektrických spotřebičů na krátkodobé poklesy a výpadky napětí. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2008, 57 stran.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Diplomová práce**

**Parametrizace mezních křivek  
odolnosti elektrických spotřebičů  
na krátkodobé poklesy a výpadky  
napětí**

**Jan Šlezinger**

**vedoucí: Ing. Jiří Drápela, PhD.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2007**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication**

**Department of Electrical Power Engineering**

**Master's Thesis**

**Parameterization of electric  
appliances immunity curves to voltage  
dips and short interruptions**

by

**Jan Šlezinger**

**Supervisor: Ing. Jiří Drápela, PhD.**

**Brno University of Technology, 2007**

**Brno**

**ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá popsáním parametrů kritériálních mezních křivek odolnosti jednofázových spotřebičů na krátkodobé poklesy a výpadky napětí. Mezní křivka je závislost nejmenší možné velikosti efektivní hodnoty napětí pro splnění daného kritéria funkce na době trvání napěťové události. Křivky odolnosti se liší pro každý elektrický spotřebič a v závislosti na velikosti a průběhu síťového napětí, zatížení zdroje a průběhu napěťové události. Cílem práce je navržení měřicí metodiky a provedení parametrických měření kritériálních mezních křivek odolnosti pro vybrané typy spotřebičů.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Pokles napětí; výpadek napětí; kritériální mezní křivka; spínaný napájecí zdroj



**ABSTRACT**

This master's thesis work deal with diagnosis parameters immunity curves uniphase appliance on short - term voltage dips a interruption. Immunity curve is dependence smallest possible sizes RMS voltage for performance given to criteria function on time continuation voltage event. Curves of resistance is different for each electric appliance, and depending on the size and over-voltage network, the burden on resources and voltage during the event.. The goal of this work is to devise a methodology for measuring the implementation of parametric measurement kriteriálních limit curves of resistance for selected types of appliances.

**KEY WORDS:** Voltage dips; Voltage interruption; Immunity curve; Switch-mode power supply

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK .....	15
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	16
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>17</b>
<b>2 KRÁTKODOBÉ POKLESY A VÝPADKY NAPĚTÍ VS. ODOLNOST SPOTŘEBIČŮ .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 DEFINICE KRÁTKODOBÝCH POKLESŮ A VÝPADKŮ, POPIS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 PŘÍČINY KRÁTKODOBÝCH POKLESŮ A VÝPADKŮ NAPĚTÍ.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 KRÁTKODOBÉ POKLESY A VÝPADKY ZPŮSOBENÉ PORUCHAMI V NAPÁJECÍ SÍTI .....	19
2.2.2 KRÁTKODOBÉ POKLESY A VÝPADKY ZPŮSOBENÉ ZAPÍNÁNÍM ODBĚRŮ.....	20
<b>2.3 VLIV KRÁTKODOBÝCH POKLESŮ A VÝPADKŮ NA SPOTŘEBIČE .....</b>	<b>23</b>
<b>3 KONSTRUKCE NAPÁJECÍCH ZDROJŮ OSOBNÍCH POČÍTAČŮ .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 KONSTRUKCE SPÍNANÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 OBVYKLÁ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ POUŽÍVANÁ VE ZDROJÍCH PRO VÝPOČETNÍ     TECHNIKU.....</b>	<b>25</b>
3.2.1 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ ZDROJŮ PRO PC .....	25
3.2.2 NEJDŮLEŽITĚJŠÍ UZLY SPÍNANÉHO ZDROJE PRO PC .....	27
<b>4 MEZNÍ KŘIVKY SPOTŘEBIČŮ .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 ZAKRESLENÍ MEZNÍ KŘIVKY.....</b>	<b>31</b>
<b>5 PARAMETRIZACE KRITERIÁLNÍCH MEZNÍCH KŘIVEK .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 DOBA <math>T_{MAX}</math> A NAPĚTÍ <math>U_{MIN}</math>.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 ENERGIE AKUMULOVANÁ VE ZDROJI.....</b>	<b>32</b>
5.2.1 KAPACITA FILTRAČNÍCH KONDENZÁTORŮ .....	33
5.2.2 FÁZE SÍŤOVÉHO NAPĚTÍ V OKAMŽIKU VÝPADKU .....	34
5.2.3 PFC FILTR.....	34
5.2.4 VÁHOVÁ LOGIKA ZPĚTNÉ VAZBY ŘÍDÍCÍHO OBVODU ZDROJE.....	34
<b>5.3 EFEKTIVNÍ HODNOTA SÍŤOVÉHO NAPĚTÍ JAKO PARAMETR MEZNÍ KŘIVKY .....</b>	<b>35</b>
<b>5.4 DEFORMACE NAPĚTÍ HARMONICKÝMI SLOŽKAMI JAKO PARAMETR MEZNÍ KŘIVKY .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5 PRŮBĚH HODNOTY NAPĚTÍ PŘI VÝPADKU JAKO PARAMETR MEZNÍ KŘIVKY.....</b>	<b>37</b>
<b>5.6 ZATÍŽENÍ ZDROJE JAKO PARAMETR MEZNÍ KŘIVKY.....</b>	<b>38</b>
<b>6 MĚŘENÍ ODOLNOSTI SPOTŘEBIČŮ NA POKLESECH A VÝPADCÍCH NAPĚTÍ.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 MĚŘÍCÍ METODY A PŘÍSTROJE.....</b>	<b>39</b>
6.1.1 METODIKA MĚŘENÍ.....	39
6.1.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE .....	41
<b>7 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ PROVEDENÝCH MĚŘENÍ .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1 EFEKTIVNÍ HODNOTA NAPĚTÍ SÍŤE.....</b>	<b>43</b>
<b>7.2 DEFORMACE NAPĚTÍ HARMONICKÝMI SLOŽKAMI ZÁKLADNÍHO KMITOČTU NAPÁJECÍ SÍŤE....</b>	<b>47</b>

---

7.3 ZATÍŽENÍ ZDROJE .....	51
7.4 PRŮBĚH ZMĚNY NAPĚTÍ.....	54
8 ZÁVĚR.....	56
POUŽITÁ LITERATURA .....	57

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Znárodnění poklesu a přerušeni napětí .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-2 Příklad funkce OZ v rozvodné síti vysokého napětí.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-3 Průběhy napětí a proudu při funkci OZ.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-4 Ustálený stav a dynamické změny napětí .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2-5 Ustálený stav a dynamické změny napětí .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3-1 Blokvné schéma spínaného zdroje.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-2 Zapojení dvojjinného propustného měniče[2] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 3-3 Průběhy napětí v některých místech dvojjinného měniče[2] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3-4 Síťová část spínaného zdroje [2] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3-5 Průběh vstupního napětí a proudu na zdroji FR200 .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 3-6 Blokvné schéma aktivního filtru s PFC obvodem [5].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-7 Průběh vstupního napětí a proudu na zdroji Fortron FSP 300 .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-2 Příklad mezní křivky spínaného zdroje.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5-2 Deformace napětí a) TOP FLAT b) OVER SWING .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-3 Pokles napětí s postupným návratem (vlevo), výpadek napětí s postupným návratem(vpravo) .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6-2 Blokvné schéma zapojení měřících přístrojů.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 7-1 Odběr proudu zdroje FRW 200W při poklesu napětí síťe na 110 V.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 7-2 Odběr proudu zdroje Fortron při poklesu napětí síťe .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 7-3 Mezní křivky FRW 200W .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7-4 Mezní křivky CW 235W .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7-5 Mezní křivky Fortron, efektivní hodnota .....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 7-6 Mezní křivky zdroje FRW 200 .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-8 Mezní křivky zdroje CW 235.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7-9 Mezní křivky CW 235, vynesena vrcholová hodnota napětí.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7-10 Mezní křivky Fortron, efektivní hodnota .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 7-11 Mezní křivky zdroje FRW 200 při změně zátěže .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 7-12 Mezní křivky zdroje CY 235 při změně zátěže .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 7-13 Mezní křivky zdroje FSP 300 při změně zátěže .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 7-14 Výpadek napětí s postupným obnovením (zdroj CWT 235).....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 7-15 Mezní křivky zdroje FRW 200 při obdélkovém poklesu a poklesu s postupným obnovením .....</i>	<i>55</i>

---

*Obr. 7-15 Mezní křivky zdroje CWT 235 při obdélníkovém poklesu a poklesu s postupným  
obnovením .....55*

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 3-1 Výstupní napětí zdrojů pro PC.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 6-1 Dovolené proudové zatížení měřených zdrojů.....</i>	<i>39</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	
<i>AT</i>	Advanced Technology – standard osobních počítačů definující rozměry základní desky, napětí napájecích zdrojů atd.	
<i>ATX</i>	Advanced Technology Extended – rozšířený standard osobních počítačů definující rozměry základní desky, napětí napájecích zdrojů atd.	
<i>C</i>	Kapacita filtračních kondenzátorů	F
$\Delta t$	Doba trvání napěťové události	s
$\Delta U$	Hloubka poklesu napětí	U
<i>p</i>	Zvlnění napětí na kondenzátoru	%
<i>RG</i>	Označení vodiče signálu Power Good	
$t_{max}$	Maximální doba, po kterou zdroj odolá výpadku síťového napětí	s
$U_0$	Střední hodnota výstupního napětí filtru	U
$U_{min}$	Minimální efektivní hodnota napětí napájecí sítě, při které si zdroj zachová plnou funkčnost	V
$U_N$	Jmenovité napětí napájecí sítě	V
$U_{\check{s}-\check{s}}$	Mezivrcholová hodnota zvlnění výstupního napětí filtru	U
$W_{AK}$	Energie akumulovaná ve zdroji	J

# 1 ÚVOD

Poklesy, výpadky nebo přerušení napájecího napětí vedou za určitých podmínek k narušení nebo ztrátě funkce všech elektrických spotřebičů. Parametry těchto napěťových událostí jsou zejména hloubka poklesu efektivní hodnoty napájecího napětí, doba trvání poklesu, ale i vývoj průběhu napětí v čase před, během poklesu a po jeho odeznění.

Odolnost spotřebičů je v kontextu s parametry napěťových událostí dána kritériální mezní křivkou, jako závislost nejmenší možné velikosti efektivní hodnoty napětí pro splnění daného kritéria funkce na době trvání napěťové události. Křivky odolnosti se liší pro každý elektrický spotřebič a dále v závislosti na výchozích parametrech před napěťovou událostí, na průběhu napěťové události, atd.

Cílem diplomové práce je popsání nejdůležitějších parametrů kritériálních mezních křivek napájecích zdrojů pro soudobé osobní počítače, navržení měřicí metodiky a provedení parametrických měření kritériálních mezních křivek odolnosti.



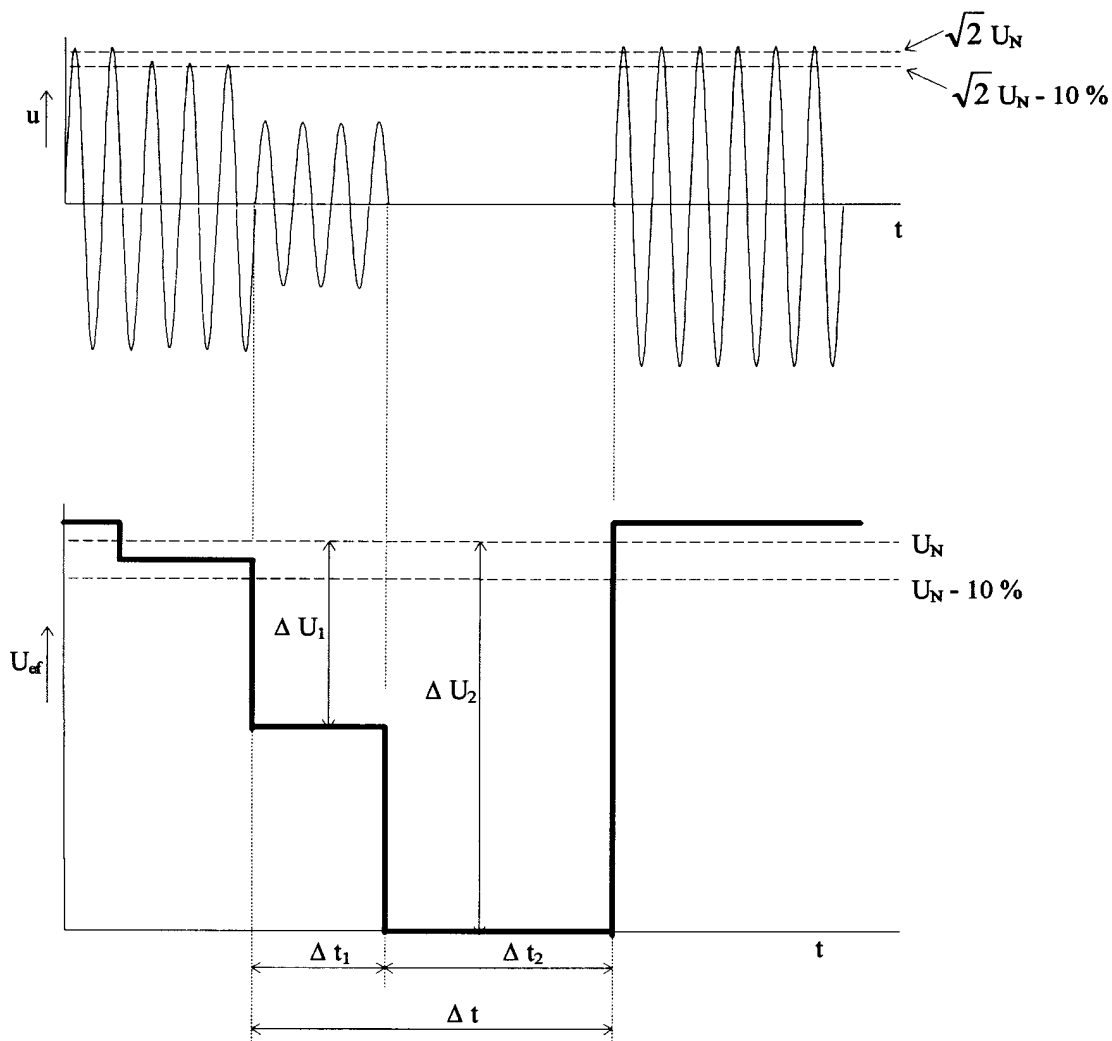
## 2 KRÁTKODOBÉ POKLESY A VÝPADKY NAPĚTÍ VS. ODOLNOST SPOTŘEBIČŮ

### 2.1 Definice krátkodobých poklesů a výpadků, popis

Pokles napětí je zpravidla nepředvídatelná a náhodná napěťová událost v bodě napájecí sítě, která se projevuje redukcí napětí následovanou obnovením napětí v krátkém časovém úseku od 10 ms do 1 s. Krátkodobý výpadek napětí je úplné vymizení napájecího napětí, tj. je speciálním případem poklesu napětí s hloubkou poklesu 100%.

Hloubka poklesu napětí lze definovat jako rozdíl mezi napětím během poklesu napětí a jmenovitým napětím sítě (Obr. 2-1). Hloubka se vyjadřuje v procentech jmenovitého napětí

Pokles napětí jehož hloubka je konstantní během jeho trvání může být charakterizována dvěma hodnotami, hloubkou  $\Delta U$  a trváním  $\Delta t$ .



Obr. 2-1 Znárodnění poklesu a přerušení napětí

## 2.2 Příčiny krátkodobých poklesů a výpadků napětí

Krátkodobé poklesy a výpadky napětí mohou být způsobeny spínacími operacemi, při kterých jsou zapínány velké odběry, nebo zkratovými poruchami a následnou funkcí ochran (např. opětovného zapínání). Tyto poruchy mohou pocházet od odběratelů elektrické energie, z veřejných rozvodných sítí, nebo mohou být způsobeny atmosférickými jevy.

Poklesy napětí jsou také způsobeny změnami jalového a činného proudu odebíraného zátěžemi připojenými k síti a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě. V určitých případech mohou být poklesy napětí způsobeny změnami zkratového výkonu sítě, způsobenými změnami ve skladbě generátorů nebo změnami v konfiguraci sítě.

### 2.2.1 Krátkodobé poklesy a výpadky způsobené poruchami v napájecí síti

Poruchy v rozvodné síti jsou hlavní příčinou krátkých přerušení napětí a tím i dodávky energie. Ve velké většině případů poruchy mají za následek průtok zkratového proudu, který musí být eliminován vypnutím části sítě ohrožené poruchou.

Poruchy mohou vzniknout buď z externích příčin (blesk, námraza, pád stromu, narušení vedení při výkopech), nebo interních (průraz izolace, chybná funkce ochran, chybná manipulace obsluhy).

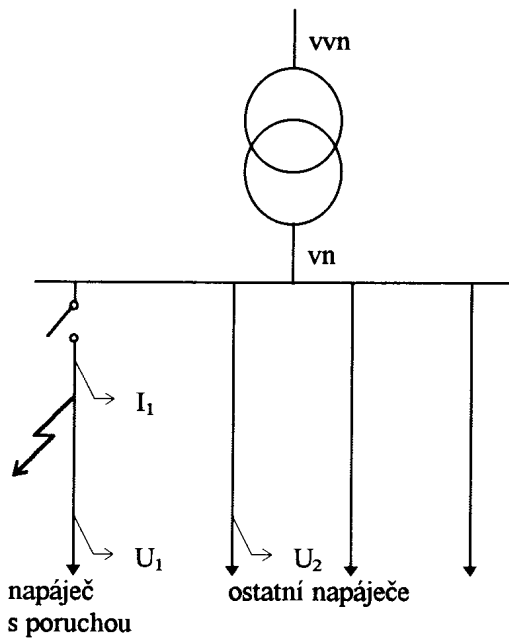
Porucha může být přechodná, po které může být zařízení uvedeno do provozu v krátké době, nebo trvalá, po níž musí být zařízení opraveno nebo nahrazeno.

#### 2.2.1.1 Opětovné zapínání

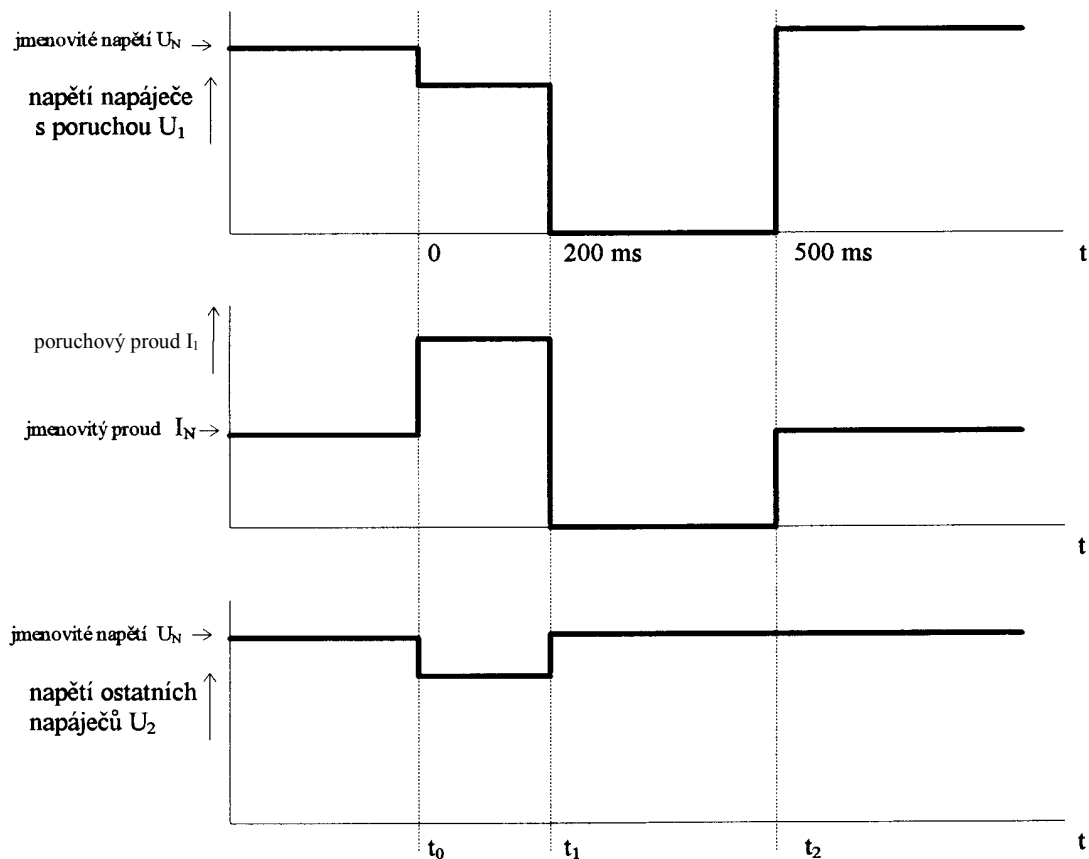
Nejčastější příčinou poklesů a krátkých přerušení napětí je porucha a následná funkce systému opětovného zapínání, který chrání venkovní vedení proti škodám vznikajících přeskoky na izolátorech.

Příklad funkce OZ v rozvodné síti vysokého napětí je uveden na obrázku (*Obr. 2-2*)

Dojde-li k poruše na napájecím vedení číslo 1 potom u odběratele připojeného na toto vedení dojde ke krátkodobému přerušení napětí (doba trvání řádově desetiny sekundy). U odběratele, který je připojen na jiné vedení (např. vedení číslo 2 na *Obr. 2-2*) dojde k poklesu napětí. Stejně poklesne napětí na vysokonapěťových sběrnicích v rozvodně (*Obr. 2-3*).



Obr. 2-2 Příklad funkce OZ v rozvodné síti vysokého napětí



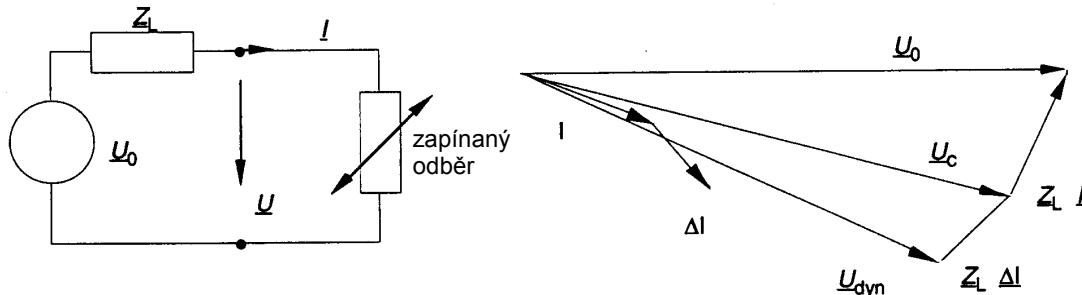
Obr. 2-3 Průběhy napětí a proudu při funkci OZ

### 2.2.2 Krátkodobé poklesy a výpadky způsobené zapínáním odběrů

Typické příklady zátěží způsobujících velké změny napětí jsou:

- provoz obloukových pecí;
- provoz svářeček;
- rozběhy motorů;
- spínání kondenzátorů.

Poklesy napětí jsou způsobeny změnami jalového a činného proudu odebíraného zátěžími připojenými k síti a tak způsobujícími změny úbytku napětí na impedanci sítě (Obr. 2-4).



Obr. 2-4 Ustálený stav a dynamické změny napětí

Jednoduché určení relativní změny napětí může být provedeno následovně:

Je-li impedance sítě ve složkovém tvaru

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (2.1)$$

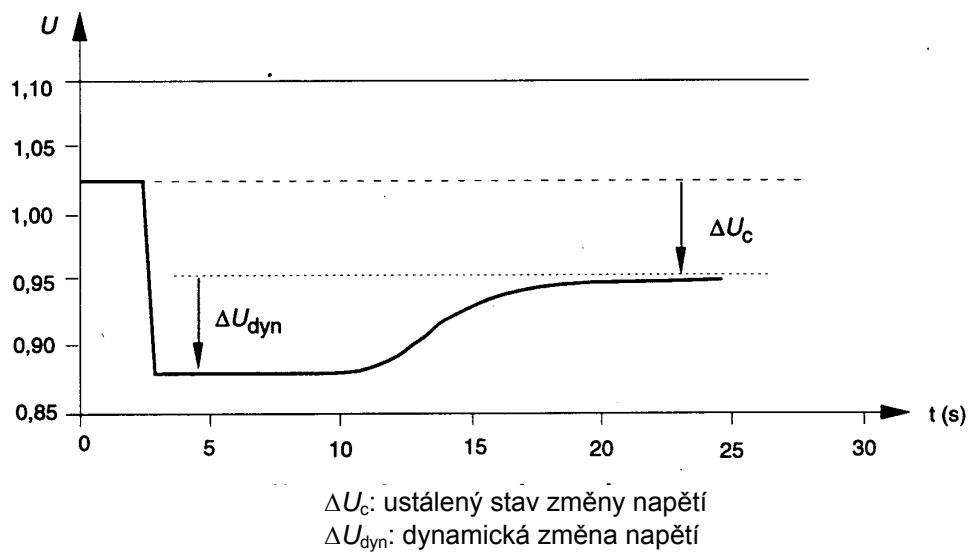
Potom přibližný vztah pro úbytek napětí vyvolaný dynamickou změnou zátěže (složky změny proudu  $\Delta I_p$  a  $\Delta I_q$ ) bude:

$$\Delta U_{dyn} \approx \Delta I_p \cdot R_L + \Delta I_q \cdot jX_L \quad (\text{V}; \text{A}, \Omega, \text{A}, \Omega) \quad (2.2)$$

S narůstajícím množstvím přítomných odběrů se s ohledem na klesající poměr příkonu odběru a zkratového výkonu napětí stává všeobecně ustálenější.

Relativně velká dynamická změna  $\Delta I$  způsobující  $\Delta U_c$ , která je následkem připojení nebo odpojení relativně velké zátěže nebo velké změny impedance zátěže, doprovázející rozběh motoru nebo provoz obloukové pece, dokonce i uvnitř dohodnutého pásma napětí, je považována za rušivý jev.

Možný vliv rozběhu motorů na provozní napětí znázorňuje obrázek (Obr. 2-5). Rozběhy několika motorů mohou být reprezentovány stejným vztahem vektorového součtu individuálních rozběhových proudů.



Obr. 2-5 Ustálený stav a dynamické změny napětí

## 2.3 Vliv krátkodobých poklesů a výpadků na spotřebiče

Krátkodobé poklesy a výpadky napětí mohou rušit zařízení připojená do rozvodné sítě. Typy nepříznivých vlivů, které mohou být způsobeny poklesem nebo krátkým přerušením napětí jsou:

- zhášení výbojek
- narušení funkce regulačních přístrojů
- změny rychlosti nebo zastavování motorů
- vypínání stykačů
- výpočetní chyby počítačů a ztráta dat v paměti
- chybná funkce měřicích přístrojů vybavených elektronikou
- ztráta synchronního chodu synchronních motorů a generátorů
- komutační chyby tyristorových můstků pracujících ve střídačovém režimu.

Pro osobní počítače a další zařízení pracující na jejich základě (pracovní stanice, servery, řídicí počítače) znamená výpadek napětí, který není překlenut napájecím zdrojem totální výpadek funkce. Zařízení musí znovu načíst operační systém do operační paměti a znovu zahájit svou činnost. V některých situacích počítač bez zásahu obsluhy neobnoví svou původní činnost, případně na ní nenaváže je ji nutno provádět znova.

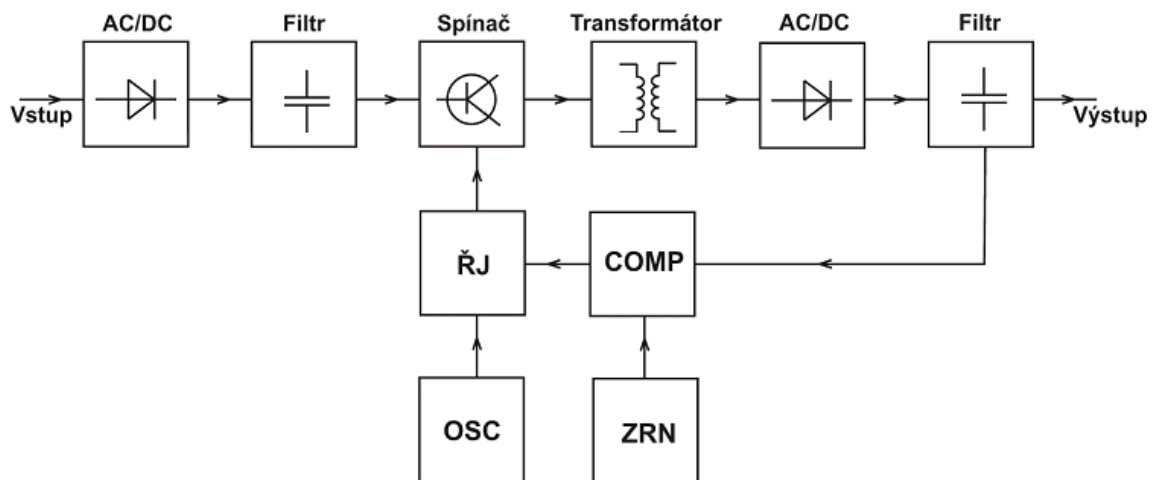
## 3 KONSTRUKCE NAPÁJECÍCH ZDROJŮ OSOBNÍCH POČÍTAČŮ

Spínané zdroje jsou v současné době nasazovány téměř do všech zařízení, kde je kladen důraz na nízkou hmotnost, malé rozměry a vysokou účinnost a kde vyhoví svými parametry týkajícími se NF rušení. Protože jejich nákladnost je srovnatelná s klasickými lineárními zdroji, znamená to, že je lze nalézt v podobě ve všech zařízeních, kromě náročné audiotechniky, ve výkonech od jednotek wattů až po desítky kilowattů.

Účinnost spínaných zdrojů dosahuje podle kvality použitých součástek až 80%. V posledních 15 letech probíhá velmi rychlý vývoj techniky spínaných zdrojů související s vývojem polovodičové techniky a zároveň s poptávkou na stále výkonnější zařízení při zachování rozměrů a hmotnosti. To platí zejména u zdrojů pro PC, kde se typický výkon zdroje 150 – 200 W v polovině 90. let vyšplhal až na současných 400 – 500 W při zachování de – facto stejné skříně zdroje.

### 3.1 Konstrukce spínaných zdrojů

Spínaný zdroj se zpravidla skládá ze základních součástí znázorněných na obr. 4.1.



Obr. 3-1 Blokové schéma spínaného zdroje

Střídavé síťové napětí se usměrní ve vstupním usměrňovači a jeho zbytkové zvlnění se vyhladí ve vstupním filtru. Vzhledem k nízkému kmitočtu zvlnění musí být vstupní filtr dostatečně účinný, aby zdroj správně pracoval.

Pro další transformaci se napětí převede na střídavý tvar pomocí vysokofrekvenčních spínaných tranzistorů, které vytvoří střídavý obdélkový průběh s kmitočtem 20 kHz až 1 MHz. Transformace napětí probíhá na indukčnosti, nebo na transformátoru. Výstupní střídavé napětí se usměrní a opět se vyhladí obsah střídavé složky.

Spínané zdroje jsou řízeny zpětnou vazbou, která snímá velikost výstupního napětí a případně vstupních a výstupních proudů a pomocí řídicí logiky ovládá spínání tranzistorů.

## 3.2 Obvyklá zapojení spínaných zdrojů používaná ve zdrojích pro výpočetní techniku

Napájecí zdroje pro počítače se v současné době řeší zásadně jako spínané. Maximální výkon zdroje soudobého multimediálního počítače již dosahuje hodnot 400 – 500 W a typický výkon zdroje pro kancelářské počítače je kolem 300 W. Takových výkonu není možné bez nasazení spínaných zdrojů dosáhnout při zachování standardizovaných rozměrů dosáhnout.

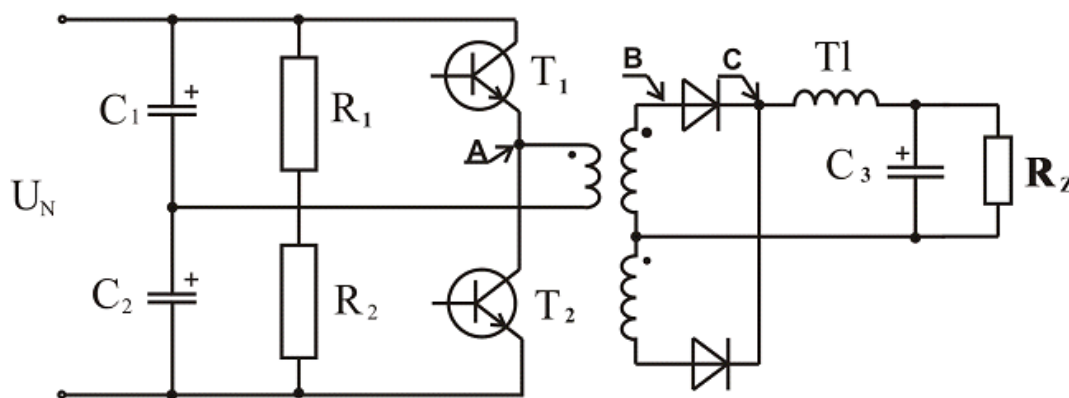
Starší počítače v 90. letech používaly nejčastěji zdroje typu AT. Soudobé počítače využívají převážně zdrojů typu ATX a v menší míře BTX, případně některé počítače velkých výrobců (Compaq, IBM) používají odvozené zdroje se stejnými napěťovými hladinami ale jinými montážními rozměry.

Tab. 3-1 Výstupní napětí zdrojů pro PC

AT	+5 V	+12 V	- 5V	- 12 V		
ATX	+5 V	+12 V	- 5V	- 12 V	+ 3,3 V	+5 V (stand - by)
BTX	+5 V	+12 V	- 5V	- 12 V	+5 V (stand - by)	

### 3.2.1 Základní zapojení zdrojů pro PC

Pro zdroje s výkonem nad 100 W se zpravidla používá zapojení jako dvojčinný propustný měnič, jehož principální schéma je na obrázku (Obr. 2-4)

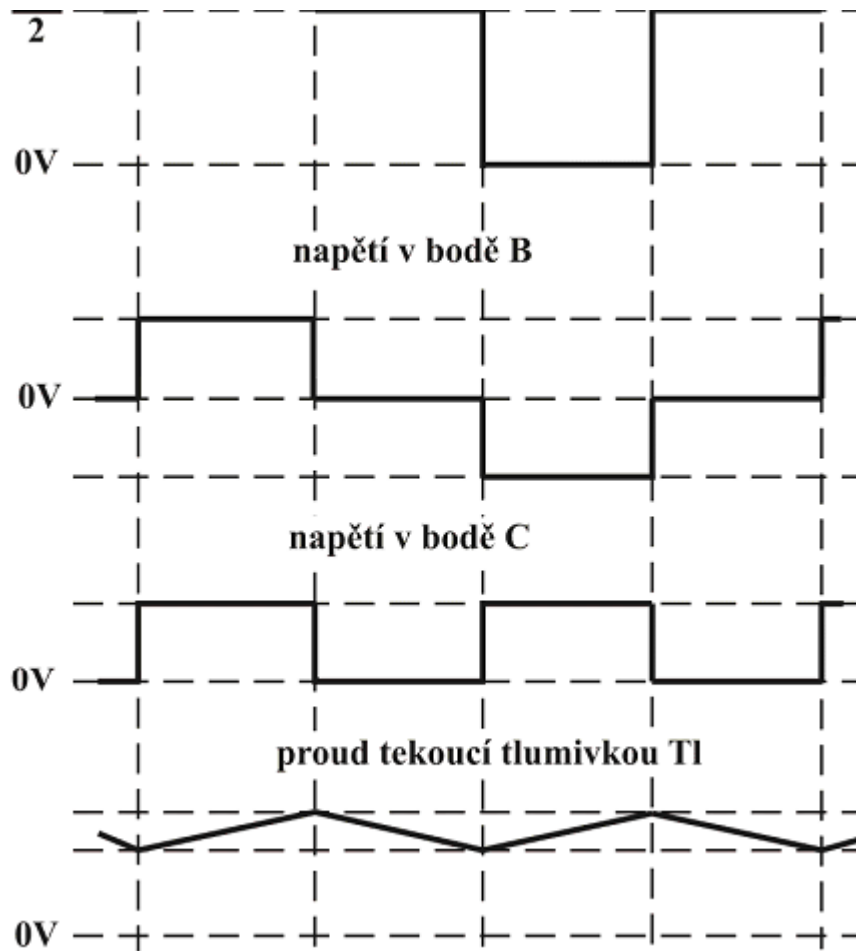


Obr. 3-2 Zapojení dvojčinného propustného měniče[2]

Kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  slouží jako zásobník. Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  udržují ve středu děliče přibližně polovinu napájecího napětí: Do tohoto středu je připojen jeden konec primárního vinutí  $L_1$ , druhý může být přes tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  připojen na kladné nebo záporné napájecí napětí. Na sekundární straně je dvojčinný usměrňovač a pro funkci měniče důležitá tlumivka  $Tl$ .

Pro popis činnosti jsou zobrazeny průběhy napětí v některých místech měniče (Obr. 4-3).





Obr. 3-3 Průběhy napětí v některých místech dvojčinného měniče[2]

Tranzistory T1 a T2 střídavě připojují primární vinutí na kladné nebo záporné napájecí napětí. Tato napětí se přímo transformuje na sekundární vinutí. Protože se v transformátoru nehromadí tolik energie ve formě magnetického pole jako u blokujícího měniče, může být transformátor podstatně menší. Tranzistory jsou vždy otevřeny po dobu kratší než je polovina periody a proto na katodách diod D1 a D2 dostaneme pulsující stejnoměrné napětí, přičemž šířka impulsů odpovídá délce sepnutí T1 nebo T2. Výstupní napětí je úměrné velikosti napětí a šířce impulsů na katodách D1 a D2. Výstupní napětí se vlastně reguluje na tlumivce řízením doby sepnutí T1 a T2. Má-li zdroj několik výstupních napětí, jsou všechny tlumivky navinuty na společném jádře. To zajistí přibližně stejný poměr výstupních napětí i při rozdílné zátěži v jednotlivých větvích. Počet závitů a polarita vinutí musí být úměrná výstupním napětím

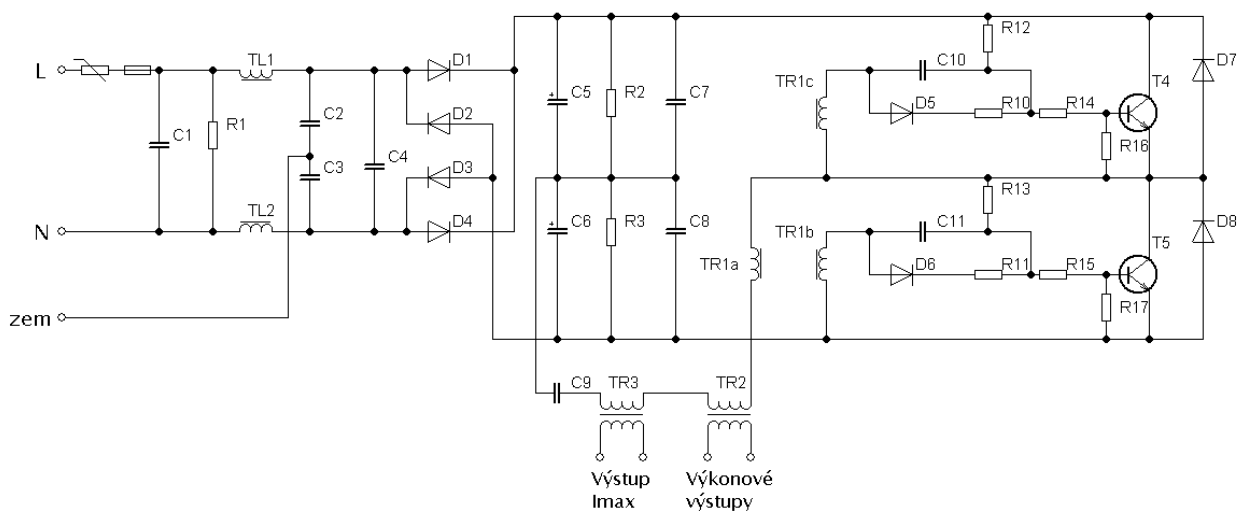
Tento typ měniče vyžaduje pro provoz jistou minimální zátěž, v případě spuštění nezátíženého by mohlo dojít k jeho poškození. V praktických zapojeních je tato vlastnost zpravidla ošetřena vhodným zapojením na výstupu zdroje (umělá zátěž, ventilátor). Toto zapojení je také velmi citlivé na zkrat na výstupních svorkách a je třeba zajistit dostatečnou ochranu před nadměrným proudem.

### 3.2.2 Nejdůležitější uzly spínaného zdroje pro PC

Spínaný zdroj pro PC standartu AT se skládá ze tří základních obvodových částí, které jsou navzájem galvanicky odděleny pomocí impulzních transformátorů. Je to část síťová, výstupní a budící a také PFC filtr.

#### 3.2.2.1 Síťová část zdroje

Pro posouzení chování zdroje při krátkodobých poklesech a výpadcích napětí je nutné se zabývat především konstrukcí síťové části zdroje, která odolnost zdroje ovlivní v nejvyšší míře. Je tomu tak proto, že v síťové části se akumuluje většina energie nutné pro překlenutí doby výpadku.



Obr. 3-4 Síťová část spínaného zdroje [2]

Z hlediska odolnosti proti výpadkům napětí je nejdůležitější částí zdroje sada vyhlazovacích kondenzátorů C5 a C6. Jedná se o elektrolytické kondenzátory se vysokou kapacitou, pro jmenovitý výkon tohoto konkrétního zdroje 300 W je kapacita každého volena 330  $\mu\text{F}$ . To představuje při napětí sítě 230 V a zanedbání ztrát na všech prvcích akumulovanou energii cca 70 J.

Schopnost zdroje odolávat poklesu napětí, tj. zpracovat snížené síťové napětí na požadované výstupní napětí, je dána celkovým návrhem zdroje. Především se tedy jedná o nastavení převodu transformátoru TR2 a volbu kmitočtu spínání tranzistorů.

#### 3.2.2.2 Váhová logika zpětné vazby řídicího obvodu zdroje

Napájecí zdroj pro PC poskytuje několik hladin výstupních napětí, která jsou různě zatěžována. Velikosti výstupních napětí jsou však řízeny jedinou spínací částí zdroje. Spínání tranzistorů (kmitočet a střída) je řízeno pomocí zpětné vazby od výstupních napětí.

Jednotlivá napětí jsou svedena do kombinačního obvodu, který sleduje velikosti napětí výstupních větví a pomocí vlastní váhové logiky dává pokyny budicímu obvodu zdroje. Nastavení váhy pro jednotlivé výstupní větve je dáno výrobcem zdroje.

Kromě signálů pro budicí obvod zdroje poskytuje váhová logika informaci RG – PWR GOOD = POWER GOOD. Jedná se diskretní signál s napětím 0 a 5 V, dávají základní desce počítače pokyn k restartu. Je veden oranžovým vodičem do konektoru základní desky.

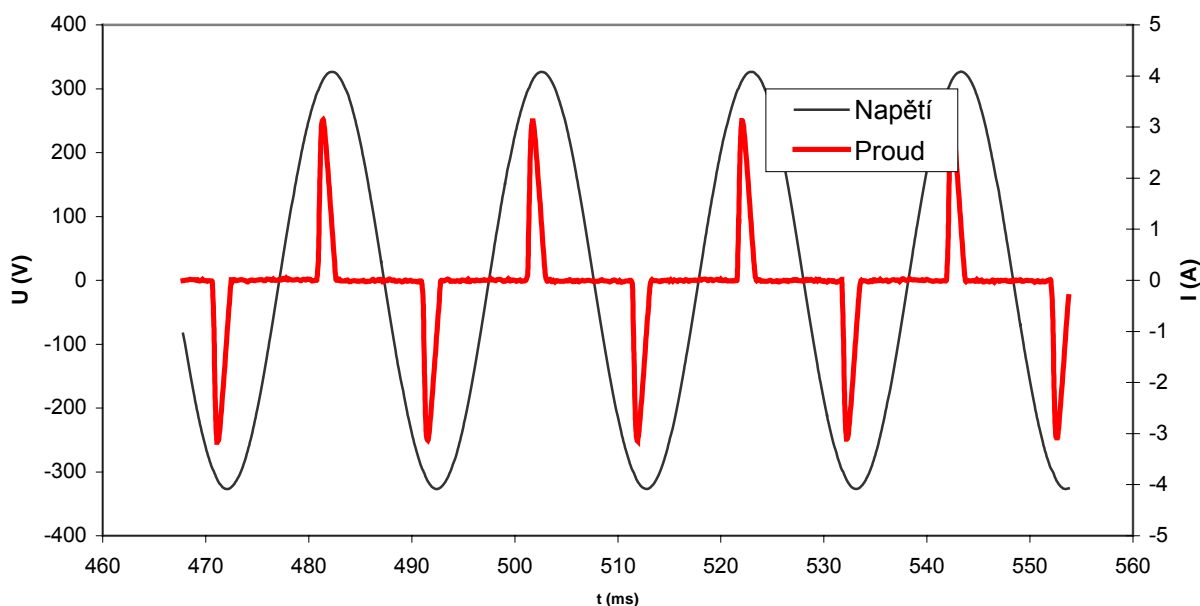
### 3.2.2.3 PFC filtr

Závažným nedostatkem standardního zapojení spínaného zdroje je deformace odebíraného proudu. Nabíjení kondenzátorů způsobuje impulsní odběr proudu. Impulsní odběr proudu zhoršuje celkový účinnost zdroje, který nemůže vyhovět požadavkům příslušných norem (ČSN EN 61000-3-2) a takový zdroj není možné uvést na trh.

Pro potlačení impulsního odběru proudu lze využít tzv. filtr PFC (Power Factor Corrector), jehož úkolem je zabezpečit požadovanou hodnotu celkového účinnosti odběru  $\lambda$ . Tyto filtry se vyrábějí jako pasivní, nebo aktivní.

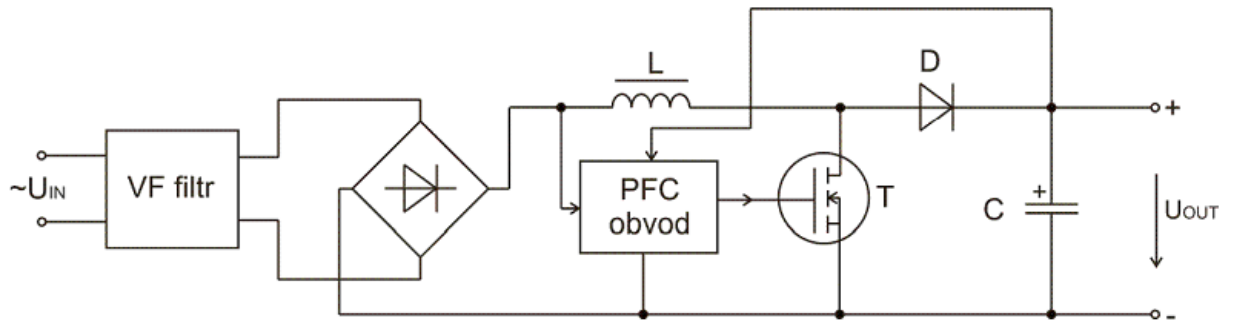
- Pasivní filtr je tvořen kombinací pasivních součástek, tlumivek a kondenzátorů.
- Aktivní filtr aktivní je tvořen výkonovým tranzistorem, který moduluje vstupní síťový proud tak, aby měl téměř ideálně sinusový průběh. Aktivní filtr dokáže dotvarovat proud tak, aby celkový účinník dosáhl téměř na hodnotu jedna, může být však zdrojem VF rušení.

V zapojení popsaném na Obr jsou proto do obvodu vloženy tlumivka TL1 a TL2, které představují pasivní PFC filtr. Schopnosti pasivního filtru jsou pouze omezené (Obr. 4-5).

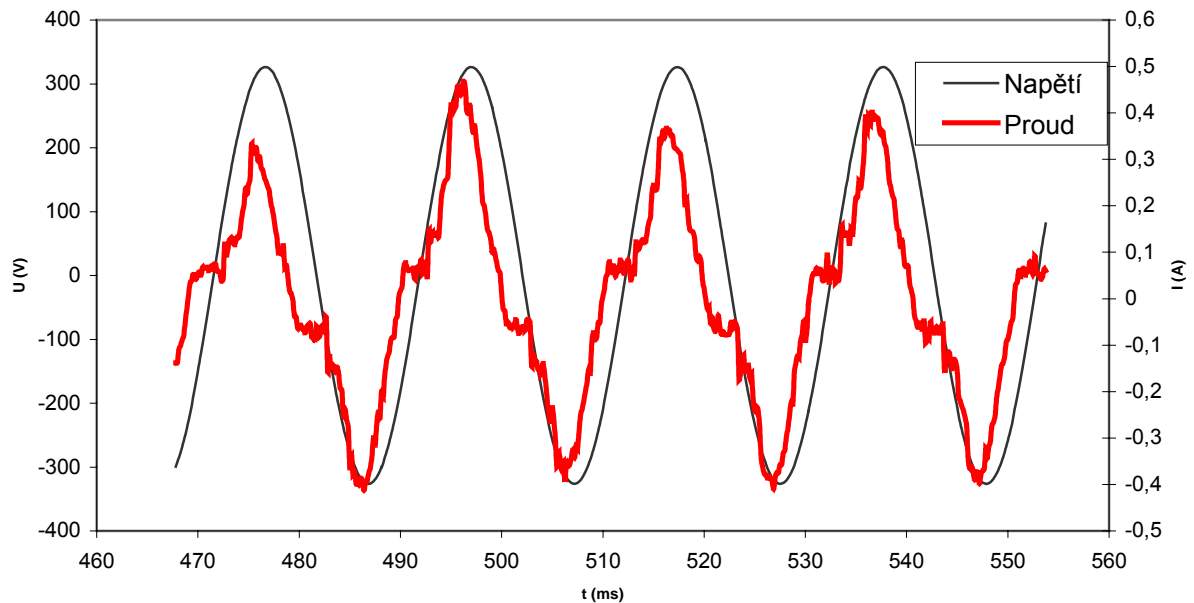


Obr. 3-5 Průběh vstupního napětí a proudu na zdroji FR200

Aktivní PFC filtr je zjednodušeně zobrazen na Obr. Toto zapojení umožní odběr téměř sinusového proudu a konstantní stejnosměrné napětí v meziobvodu. Důležité je, že dokáže pracovat v širokém rozsahu napájecího napětí. Odolnost zdroje proti poklesu napětí se tedy zvyšuje. PFC obvod je řešen jako integrovaný obvod pracující na principu pulzně - šířkové modulace. Používá se kmitočet modulace 100 – 500 KHz.



Obr. 3-6 Blokové schéma aktivního filtru s PFC obvodem [5]

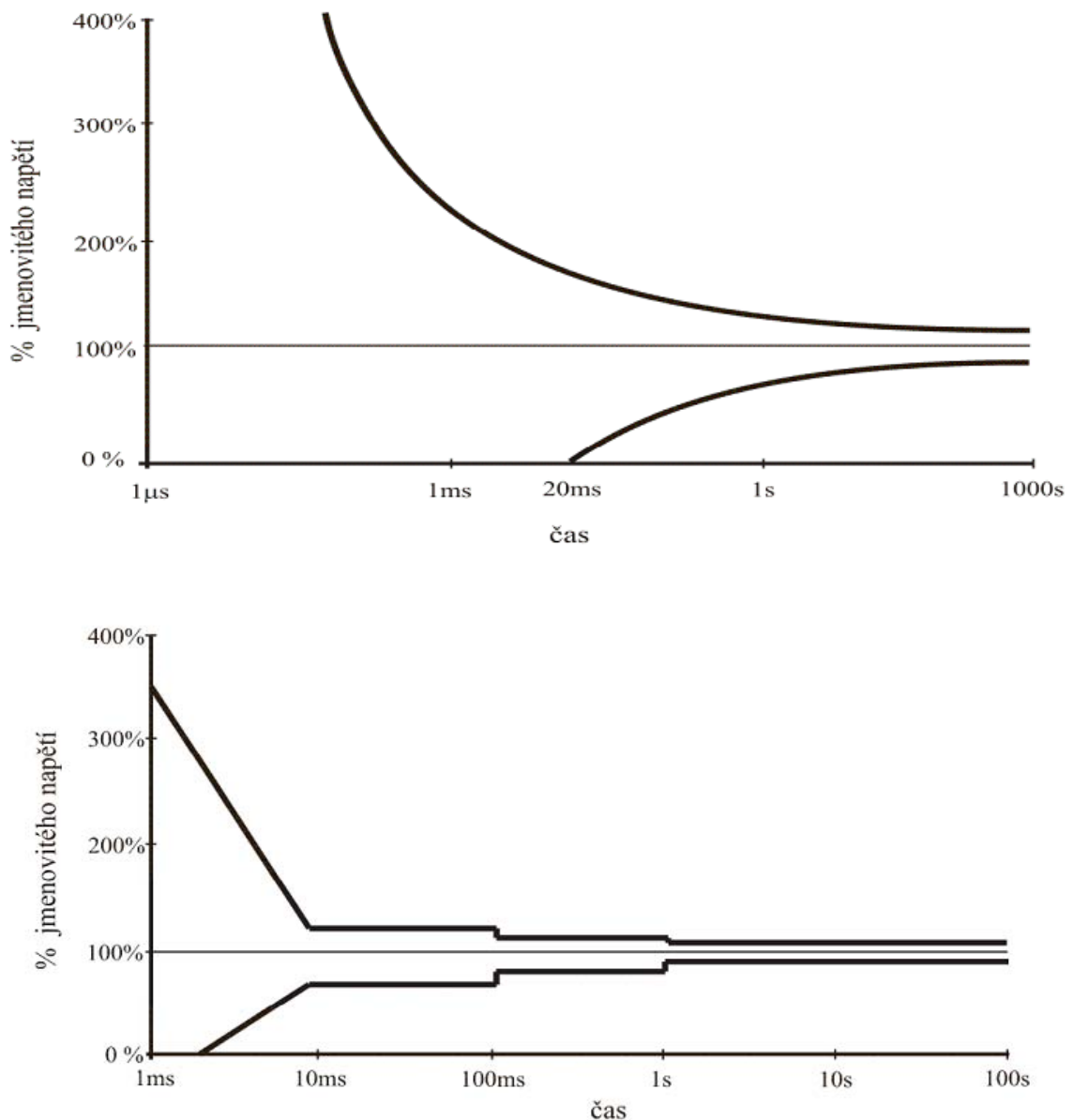


Obr. 3-7 Průběh vstupního napětí a proudu na zdroji Fortron FSP 300

## 4 MEZNÍ KŘIVKY SPOTŘEBIČŮ

Počítače jsou zpravidla zařízení citlivá na kvalitu elektrické energie. Krátkodobé poklesy a výpadky napětí jsou zde jedny z nejzávažnějších druhů rušení. Starší instalovaná zařízení výpočetní techniky trpěla zdánlivě náhodnými poruchami, které se ukázaly být způsobeny krátkodobými poklesy a výpadky napětí.

Snaha definovat odolnost spotřebičů na napěťové události vedla k vytvoření tzv. CBEMA křivky, která byla dále upravena do podoby tzv. křivky ITIC a normalizována organizací ANSI jako křivka IEEE 446 (Obr. 2-6).



Obr. 4-1 CBEMA křivka (nahore), ANSI křivka (IEEE 446)(dole) [5]

Mezní křivka vymezuje oblast, ve kterých zkoumaný zdroj při daném napětí a době poklesu nebo výpadku vydrží plnit svou funkci a oblast, kde zdroj již selhává.

Trvání každé události je zaznamenáno ve vztahu k procentuální hodnotě napájecího napětí a křivka definuje obalovou křivku oblasti, ve které může zařízení pracovat bez přerušení nebo ztráty dat. Poklesů napětí se týká spodní limitní křivka, která určuje hranici mezi poklesy napětí, které vedou, nebo nevedou ke selhání zařízení.

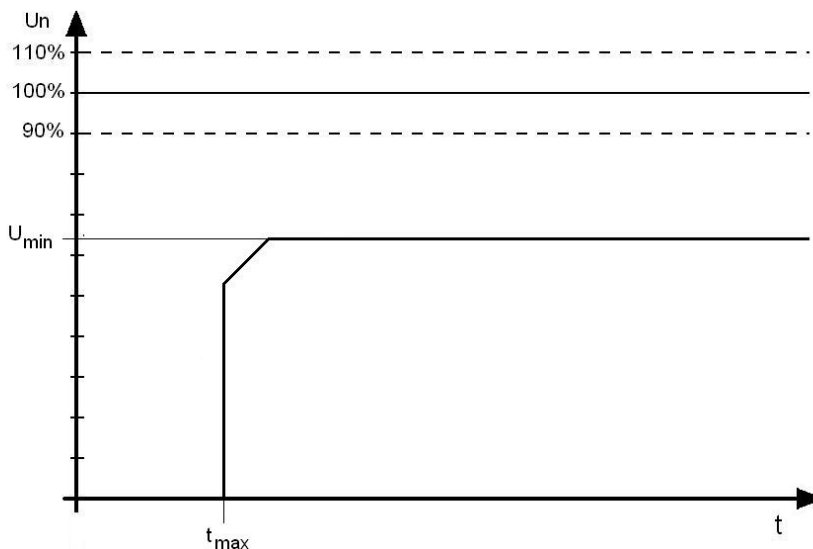
Selháním zdroje se míní takový stav, kdy se počítač napájený zkoumaným zdrojem samovolně restartuje nebo vypne, případně dojde k jeho zatuhnutí. Spotřebič, zde napájecí zdroj, je tedy odolný proti poklesu nebo výpadku daných parametrů tehdy, když při tomto výpadku napětí nedojde k selhání napájeného počítače.

#### 4.1 Zakreslení mezní křivky

Pro zakreslení mezní křivky do grafu napětí a času se provede zjištěním hodnot  $t_{\max}$  a  $U_{\min}$  a jejich propojením dostatečného množství mezilehlých bodů.

- $t_{\max}$  je maximální doba odolnosti zdroje odolnosti na výpadek napětí za při daných parametrech, tj. čas, který uplyne od okamžiku výpadku do okamžiku selhání spotřebiče.
- $U_{\min}$  je minimální efektivní hodnota napětí napájecí sítě, se kterým je spotřebič schopen pracovat alespoň po dobu 1 s.

Průběh mezní křivky mezi body může být pravouhlý, nebo pozvolný. Tvar mezní křivky je dán konstrukcí spotřebiče a jeho schopnostmi pracovat s různými úrovněmi napájecího napětí.



Obr. 4-2 Příklad mezní křivky spínaného zdroje

Hledají se parametry mezních křivek, které ovlivňují jejich umístění v diagramu napětí a času. Posuzuje se míra vlivu na tyto křivky, která se při následném praktickém měření může ukázat jako nadhodnocená, nebo podhodnocená.

## 5 PARAMETRIZACE KRITERIÁLNÍCH MEZNÍCH KŘIVEK

### 5.1 Doba $t_{max}$ a napětí $U_{min}$

Čas  $t_{max}$  vymezuje dobu, která uplyne od počátku výpadku napětí do okamžiku selhání počítače. Počátek výpadku napětí je okamžik, kdy efektivní hodnota napětí na vstupních svorkách zkoumaného zdroje klesne pod minimální dovolenou mez efektivní hodnoty síťového napětí. Tato doba je úměrná množství využitelné energie akumulované v napájecím zdroji a nepřímo úměrná velikosti odběru elektrické energie ze zdroje.

Napětí  $U_{min}$  vymezuje takovou nejnižší velikost napětí sítě, kdy je spotřebič schopen fungovat po neomezeně dlouhou dobu poklesu napětí. Zde se již neuplatní energie akumulovaná ve zdroji, nýbrž schopnost zdroje zpracovat různou velikost stejnosměrného napětí z vstupního filtru a schopnost zdroje zvýšit proud odebíraný ze sítě tak, aby byl k dispozici požadovaný výstupní výkon zdroje i při poklesu napětí.

Zde lze ukázat značnou výhodu spínaných zdrojů proti zdrojům lineárním. Vhodným zapojením spínaného zdroje lze teoreticky zpracovat libovolnou velikost vstupního napětí na požadované výstupní napětí, ovšem za cenu komplikovanosti a nižší účinnosti zdroje.

Při hodnocení napájecích zdrojů výpočetní techniky je třeba mít na zřeteli, že některá zařízení jsou konstruována jako univerzální, tj. vyhovují pro použití obvyklých hladin jmenovitého napětí cca 100 – 250 V. To se týká zejména zdrojů pro přenosné počítače (notebooky). Podobný rozsah jmenovitého napětí lze nalézt i u některých ATX zdrojů pro PC. Některé zdroje mají přepínač jmenovitého napětí.

U zdrojů s větším rozsahem jmenovitého napětí lze potom očekávat vyšší odolnost na výpadky napětí při měření v síti s jmenovitým napětím obvyklým v Evropě (230 V).

### 5.2 Energie akumulovaná ve zdroji

Převážné množství energie je uloženo v kondenzátorech vstupního filtru napájecího zdroje. Energie akumulovaná v kondenzátoru je dána vztahem

$$W_{ak} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_C^2 \quad (\text{J}; \text{C}, \text{V}) \quad (5.1)$$

Kde

$C$  je celková kapacita vstupního filtru zdroje

$U_C$  je okamžité napětí na svorkách kondenzátoru

Energii uloženou ve filtračních kondenzátorech však není možné využít celou, nýbrž jen její část. Při vybíjení kondenzátoru se exponenciálně snižuje napětí na jeho svorkách a při poklesu pod jistou mez již spínací část zdroje není schopna udržet na výstupu zdroje požadované napětí a dojde k selhání zdroje. Zároveň je třeba z akumulované energie hradit ztráty ve zdroji, které využitelnou energii také sniží.

Energie akumulovaná ve zdroji je tedy dána v každém okamžiku napětím na svorkách kondenzátoru a kapacitou kondenzátoru.

Napětí na svorkách kondenzátoru v okamžiku výpadku je dáno parametry síťového napětí. Je to efektivní hodnota napětí, deformace napětí harmonickými složkami a průběh poklesu a obnovení napětí při napěťové události

### 5.2.1 Kapacita filtračních kondenzátorů

Ze vztahu 6.1 plyne, že množství energie akumulované ve vstupním filtru je přímo úměrné kapacitě filtračních kondenzátorů a tedy i doba  $t_{max}$  je jí přímo úměrná.

Kapacita kondenzátoru ve vstupním filtru se navrhuje tak, aby zvlnění napětí na svorkách kondenzátoru při maximálním zatížení zdroje kolísalo pouze v požadované omezené míře. (Ekonomická volba kapacity se provádí u spínaného zdroje na maximální zvlnění  $p = 10 \%$ ).

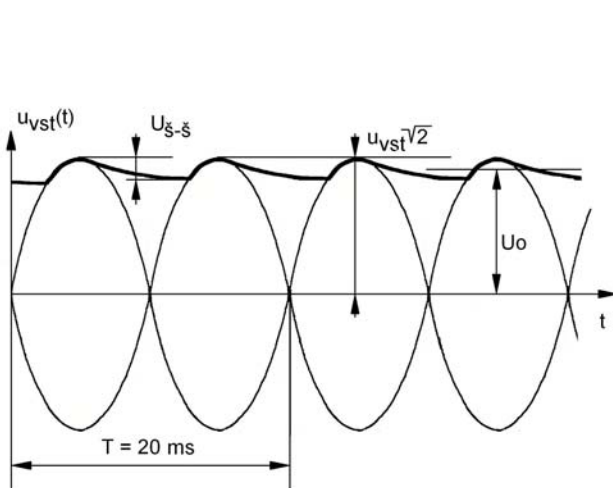
Kapacita vstupního filtru zkoumaného zdroje je konstantní veličinou, která je přímo vlastností zkoumaného zdroje a nelze ji v podstatě žádným způsobem ovlivnit. Doba, po kterou zdroj neselže, je přímo úměrná kapacitě vstupního filtru.

#### 5.2.1.1 Zvlnění napětí na svorkách vstupního filtru

Ze vztahu 6.2 plyne, že energie akumulovaná v kondenzátoru je úměrná druhé mocnině okamžité hodnoty napětí na svorkách kondenzátoru.

Střídavé síťové napětí se po průchodu dvoucestným můstkovým usměrňovačem změní na pulzní napětí s dvojnásobným kmitočtem proti napětí síťovému. Kondenzátor se při napájení pulzním napětím nabíjí na vrcholovou hodnotu tohoto napětí a okamžitá hodnota napětí na jeho svorkách kolísá podle velikosti odběru proudu z kondenzátoru.

Pokud se uvažuje průběh síťového napětí jako ideální harmonický sinusový, vypadá průběh napětí na kondenzátoru jako na obrázku (Obr. 5-2)



Obr. 5-1 Průběh napětí na kondenzátoru za dvoucestným usměrňovačem



Zvlnění je definované jako:

$$p = \frac{U_{\xi-\xi}}{U_0} \cdot 100 \text{ (\%;V,V)} \quad (5.2)$$

Kde

$U_{\xi-\xi}$  je mezivrcholová hodnota zvlnění výstupního napětí filtru  $U_0$

$U_0$  je střední hodnota výstupního napětí filtru

Okamžitá hodnota napětí na svorkách kondenzátoru tedy kolísá mezi maximální a minimální hodnotou danou velikostí zvlnění. Maximální hodnota zvlnění je dána kapacitou filtračního kondenzátoru, který se navrhuje pro dané zvlnění při maximálním zatěžovacím proudu filtru.

Pokud je kapacita kondenzátoru vstupního filtru volena optimálně, je zvlnění napětí v běžném provozním stavu zdroje minimální.

Protože je velikost zvlnění vázaná na kapacitu filtračního kondenzátoru, je tedy možno volbou kapacity kondenzátoru ovlivnit dobu odolnosti zdroje proti selhání. Kapacita kondenzátorů vstupního filtru je pro daný zdroj pevně daná a nelze ji ovlivnit.

### 5.2.2 Fáze síťového napětí v okamžiku výpadku

Se zvlněním napětí na svorkách kondenzátoru vstupního filtru úzce souvisí vliv fáze síťového napětí v okamžiku výpadku. Napětí má v každý okamžik jinou velikost a fáze napětí má vliv na nabití kondenzátoru.

Je – li kapacita kondenzátoru volena optimálně s ohledem na minimální zvlnění, potom nemá fáze napětí v okamžiku výpadku měřitelný vliv na odolnost zdroje. To bylo prokázáno i praktickým měření.

### 5.2.3 PFC filtr

Zcela zásadní pro odolnost zdroje na poklesech napětí je konstrukce síťové části. Pokud je zdroj vybaven aktivním PFC filtrem, lze předpokládat výrazné zvýšení odolnosti zdroje, neboť PFC je schopen zvyšovat napětí na stejnosměrném meziobvodu zdroje a zdroj tedy může pracovat s nižším napětím.

Přesnou závislost nelze předvídat, protože konstrukce zdrojů jednotlivých výrobců se liší a liší se i schopnosti PFC filtru. Provedené měření prokáže schopnosti aktivního PFC.

### 5.2.4 Váhová logika zpětné vazby řídicího obvodu zdroje

Zapojení popsané výše generuje signál PG. Signálem PG je dáván pokyn základní desce k restartování počítače. Nastavení této logiky provádí výrobce při návrhu zdroje. Podle tohoto nastavení se může i zdroj s konstrukčními předpoklady vysoké odolnosti stát méně odolným použitím jiného poměru vah této logiky. Lze předpokládat, že výrobce volí optimální nastavení, tj. maximální odolnost při zachování ochrany napájeného počítače proti vniknutí jiného než požadovaného napájecího napětí základní desky. Předpokládá se snaha napájet základní desku počítače pouze tehdy, pokud má zdroj na výstupních svorkách požadované napětí a pokud toto k dispozici není, uvést počítač do stavu restartování.

### 5.3 Efektivní hodnota síťového napětí jako parametr mezní křivky

Velikost efektivní hodnoty napětí síti NN se podle normy může pohybovat v rozmezí  $\pm 10\%$   $U_n$ . Při sinusovém harmonickém průběhu napájecího napětí se kondenzátor bude nabíjet na napětí dané vztahem

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{ef}} \quad (\%; V, V) \quad (5.3)$$

Kde

$U_{\max}$  je vrcholová hodnota napětí

$U_{\text{ef}}$  je efektivní hodnota síťového napětí

Protože energie akumulovaná ve zdroji je kvadraticky závislá na napětí, potom se tato energie v závislosti na aktuální hodnotě  $U_{\text{ef}}$  může měnit v rozsahu

$$0,81 \cdot W_{AN} \div 1,21 \cdot W_{AN}$$

Aktuální velikost efektivní hodnoty napětí v napájecí síti v okamžiku výpadku je tedy významným parametrem mezních křivek

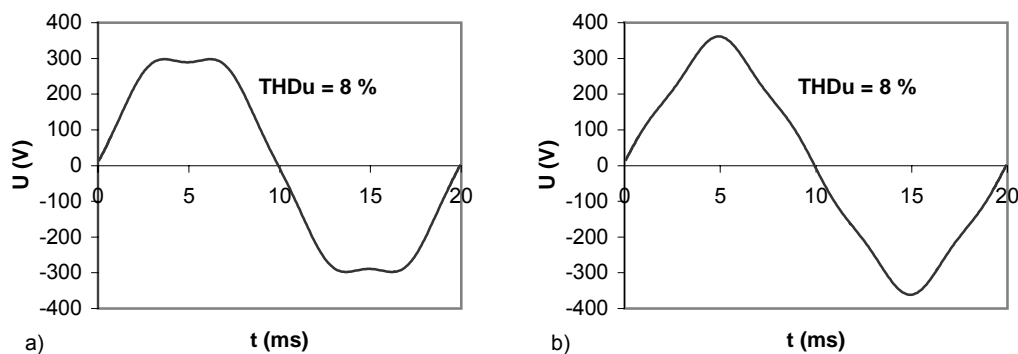
Parametrem mezní křivky napájecího zdroje pro PC je tedy velikost vrcholové hodnoty napájecího napětí v okamžiku výpadku. Jedná se parametr, u kterého se dá očekávat největší míra vlivu na dobu výdrže zdroje po výpadku napětí, tedy čas  $t_{\max}$ , zatímco  $U_{\min}$  nebude ovlivněno napětím na počátku poklesu napětí.

## 5.4 Deformace napětí harmonickými složkami jako parametr mezní křivky

K deformaci síťového napětí harmonickými složkami základního kmitočtu dochází odběrem nesinusového průběhu proudu různými spotřebiči, zejména polovodičovými měniči. Spínaný zdroj, zejména, není – li vybaven PFC filtrem, je také zdrojem harmonického rušení napájecího napětí, viz obrázek 5-2.

Napětí, které je deformováno harmonickými složkami, má při dané efektivní hodnotě napětí pro každý tvar deformace průběhu různé vrcholové hodnoty napětí. Protože se kondenzátory vstupního filtru nabíjejí na vrcholovou hodnotu napětí, bude se energie akumulovaná ve filtru měnit podle tvaru deformace.

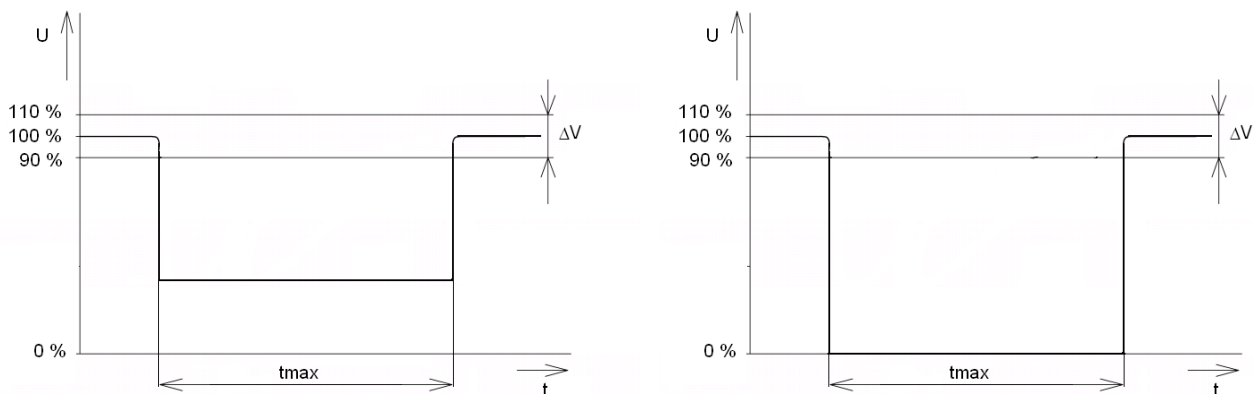
Pro další zkoumání se předpokládají kromě sinusového průběhu také deformované napětí TOP FLAT (s useknutým vrcholem) a OVER SWING (s vystouplým vrcholem), obě s celkovým činitelem zkreslení  $THDU = 8\%$ , obsahující 3. a 5. harmonickou složku základního kmitočtu. Takové průběhy jsou pro měření odolnosti doporučeny i normou [7].



Obr. 5-2 Deformace napětí a) TOP FLAT b) OVER SWING

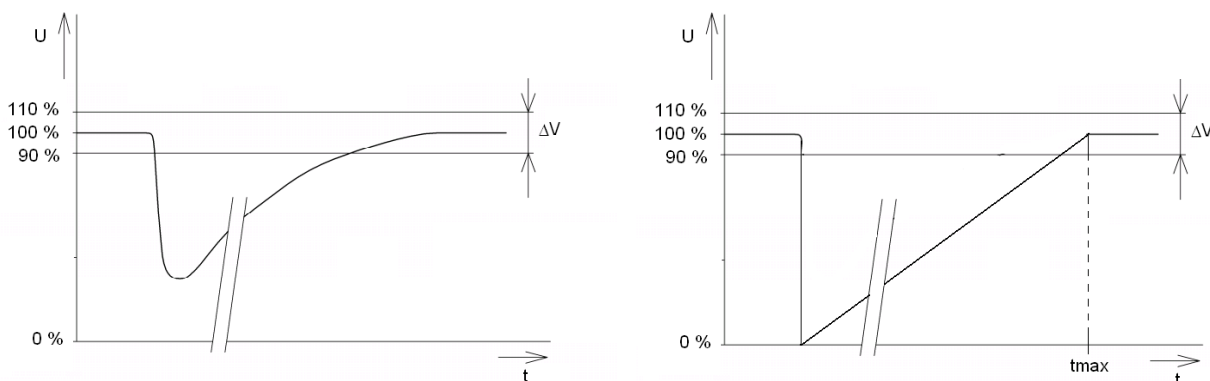
## 5.5 Průběh hodnoty napětí při výpadku jako parametr mezní křivky

Dosud se při hledání parametrů uvažoval pouze výpadek, který nastane v nekonečně krátkém čase a v nekonečně krátkém čase skončí (Obr. 5-3). To však není fyzikálně možné vzhledem k existenci setrvačností v napájecí síti.



Obr. 5-3 Pokles napětí s obdélníkovým průběhem (vlevo), výpadek napětí s obdélníkovým průběhem (vpravo)

Počátkem výpadku se rozumí okamžik, kdy efektivní hodnota napětí klesne pod přípustnou hodnotu síťového napětí. Protože napětí klesá postupně, do okamžiku kdy dosáhne nuly, je zdroj zásobován energií ze sítě, neboť spínané zdroje dokáží pracovat s nízkou hodnotou síťového napětí.



Obr. 5-4 Pokles napětí s postupným návratem (vlevo), výpadek napětí s postupným návratem (vpravo)

Průběh výpadku může být obecně jakýkoli. Proto se pro měření uvažuje pouze jediný případ, kdy nastane výpadek napětí a následně začne okamžitě lineárně stoupat na původní hodnotu. Je tak simulován stav, kdy v síti dojde k výpadku a rychlému zapnutí, avšak vlivem roztáčení indukčních motorů se napětí v síti obnoví postupně, jakmile motory dosáhnou jmenovitých otáček (Obr. 5-4).

Takový průběh výpadku způsobí vyšší odolnost zdrojů, než výpadek pravoúhlý, neboť okamžitě po výpadku se kondenzátory zdrojů začnou nabíjet zvyšujícím se napětím.

## 5.6 Zatížení zdroje jako parametr mezní křivky

Se vzrůstajícím odběrem proudu ze zdroje se snižuje doba, po kterou je zdroj při výpadku napětí schopen odolat. Pokud se ostatní parametry mezních křivek nebudou měnit, potom znamená zvýšení odběru proudu na dvojnásobek snížení doby odolnosti  $t_{max}$  na polovinu. Energie akumulovaná ve zdroji má totiž konečnou velikost a při zvýšeném odběru bude tedy tato energie spotřebována rychleji.

Je nutno vzít v úvahu, že s rostoucím zatížením zdroje rostou i ztráty na prvcích zdroje. Zatížení zdroje se pohybuje v širokém rozsahu a proto vliv zatížení je značný. Lze také předpokládat, že vliv zatížení na dobu  $t_{max}$  není možné kompenzovat žádným způsobem řízení zdroje, nýbrž pouze použitím vyšší kapacity kondenzátorů v obvodu zdroje.

Klesne – li sít'ové napětí, potom i napětí na stejnosměrném meziobvodu poklesne, neboť vyhlazovací kondenzátory se nabíjejí na nižší hodnotu. Aby se na výstupu zdroje udrželo požadované napětí, zvyšuje budící obvod střidu spínání. Zdroj je schopen dodávat, pokud napětí stejnosměrného meziobvodu stačí vybudit na sekundárním vinutí transformátorů potřebné výstupní napětí. Napětí  $U_{min}$  se pro vyšší zatížení posouvá k vyšším hodnotám.

Zatížení zdroje je parametrem, který není možno eliminovat.

Závislost je možné prokázat měřením. Měření této závislosti je velmi rizikové pro zdroj, neboť nastane – li po poklesu napětí prudké zvýšení napětí na původní velikost, může dojít ke zničení zdroje. Budící obvod nestačí zareagovat na zvýšení sít'ového napětí a dojde k přepětí na výstupu zdroje, které poškodí obvodové součástky.

## 6 MĚŘENÍ ODOLNOSTI SPOTŘEBIČŮ NA POKLESECH A VÝPADCÍCH NAPĚTÍ

### 6.1 Měřicí metody a přístroje

Zkoušky elektromagnetické odolnosti vůči krátkodobým poklesům a výpadkům popisuje norma ČSN EN 61000-4-11. Ta definuje metody zkoušky odolnosti a rozsah zkušebních napětí krátkodobých poklesů a výpadků napětí pro zařízení připojená do sítě nízkého napětí s kmitočtem 50 Hz a maximálním odběrem 16 A.

Měření bylo provedeno na počítačových zdrojích FRW 200 W (dále zdroj 1), CWT 235 (zdroj 2) a Fortron FSP 300-60 GLS (zdroj 3)

Tab. 6-1 Dovolené proudové zatížení měřených zdrojů

		FRW 200	CWT 235	FSP 300
Proud v jednotlivých větvích	+ 5 V	20,0A	22,0A	10,0A
	+ 12 V	8,0A	8,0A	17,5A
	+ 3.3 V	-	14,0A	9,9A
	+ 5 V sb	-	2,0A	1,0A
	- 5 V	0,5A	0,5A	-
	- 12 V	0,5A	1,0A	0,1A

#### 6.1.1 Metodika měření

Pro zjištění mezní křivky s danými parametry byl navržen a použit tento obecný postup:

- zjištění bodu minimální hodnoty napětí pro pokles napětí s délkou minimálně 1 s.
- zjištění bodu maximální doby výdrže zdroje pro výpadek napětí
- propojení nalezených bodů mezní křivkou zdroje postupným snižováním hloubky výpadku hledáním maximální doby výdrže pro danou hloubku

Postup se opakoval po změně předpokládaných parametrů.

##### 6.1.1.1 Zapojení měření

Na osciloskopu bylo zobrazeno napětí na vstup do zdroje, napětí na 5 V výstupní větvi a při měření zdroje 3 také napětí signálu RG. Na analyzátoru bylo zobrazováno napětí, proud a dodávaný výkon 5 V výstupní větve zdroje. Na simulátoru sítě byl zobrazováno napětí a proud simulované sítě.

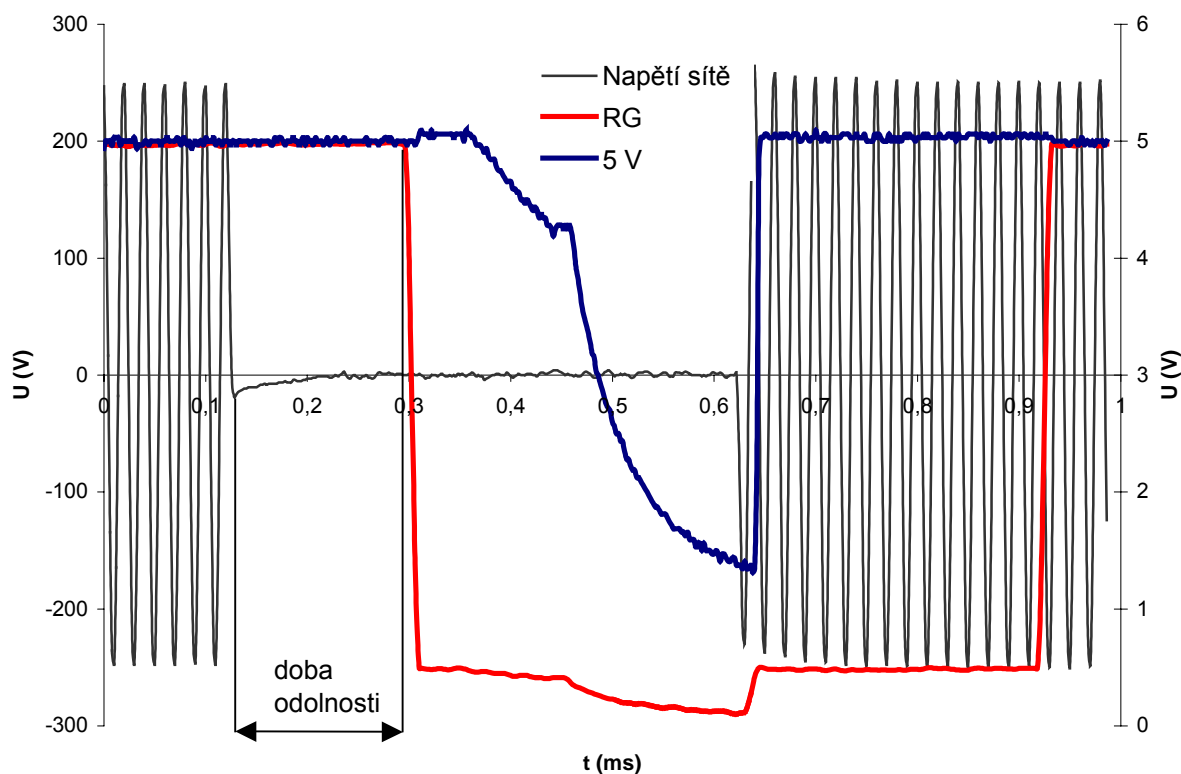
##### 6.1.1.2 Měření na zdrojích FRW 200W a CWT 235

Nejnižší napětí, se kterým zdroj dokáže pracovat bylo hledáno snižováním napětí simulované sítě. Hloubka poklesu byla zvyšována až do nalezení hranice, kdy zdroj za daných mezních parametrů ještě spolehlivě funguje a při jejím překročení dojde k jeho selhání.

Následně byl simulován výpadek napětí. Doba výpadku byla prodlužována tak, aby byla nalezena hranice, kdy zdroj spolehlivě odolá výpadku napětí a při jejímž překročení dojde k jeho

selhání. Měření probíhalo po hrubých krocích (cca po 10 ms) a následně po jemných krocích (po 1 ms). Pro nalezení hodnoty se obvykle počítač dvakrát restartoval.

Zásadní slabinou této metody je zdlouhavost měření. Pro přesné nalezení hranice odolnosti je třeba postupovat v malých krocích změn doby výpadku. Zároveň je nutno dodržovat časový rozestup mezi jednotlivými kroky, neboť výpadky značně tepelně namáhají zdroj průchodem nárazového startovacího proudu při obnovení napětí.



Obr. 6-1 Průběh signálů zobrazených na osciloskopu u zdroje FSP 300

### 6.1.1.3 Měření na zdroji FSP 300

Na osciloskopu je zobrazen průběh síťového napětí, napětí na 5 V výstupu zdroje a napětí signálu. Váhová logika, která generuje signál RG, dává pokyn k restartování počítače dříve, než dojde k poklesu napětí na výstupních svorkách zdroje. Tím je zaručeno, že počítač v žádném případě nebude pracovat, pokud nemá napětí na vstupech do základní desky potřebnou velikost.

Jak je vidno na obrázku, po obnovení síťového napětí, dojde k rychlému obnovení napětí na výstupních svorkách zdroje. Signál RG je však zpožděn, tak aby k restartu počítače došlo až ve chvíli, kdy je funkce zdroje plně obnovena.

Doba, po kterou bude počítač pracovat při výpadku, či poklesu napětí, je pevně vázána na nastavení logiky signálu RG. Protože je zkoumaný zdroj hodnocen z pohledu schopnosti zásobit počítač, nikoli z pohledu dodržení napětí na výstupních svorkách, lze čas, který uplyne od okamžiku výpadku, či poklesu napětí do doby změny úrovně signálu RG, považovat za dobu odolnosti zdroje.

Měření bylo tedy provedeno takto:

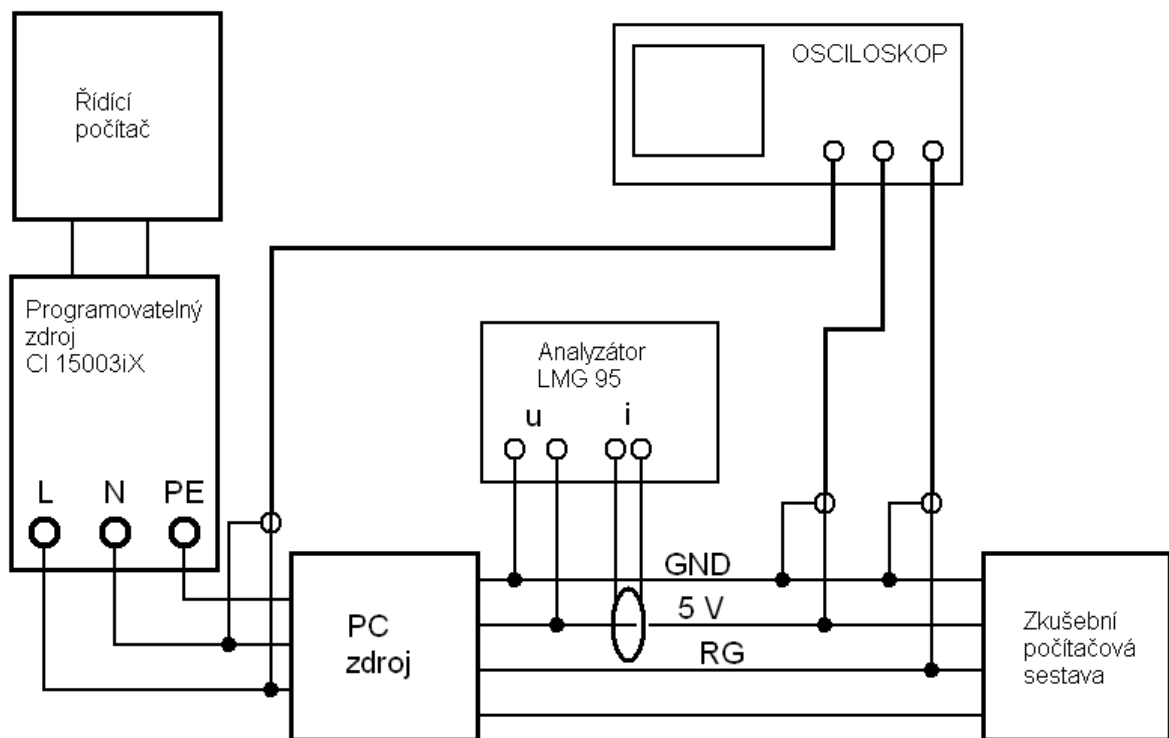
- jsou nastaveny parametry síťového napětí a zatížení zdroje
- byla nalezena nejnižší hodnota odolnosti pro výpadek delší než 1 s
- simuluje se výpadek, či pokles napětí tak dlouhý, aby jistě došlo k výpadku počítače
- doba odolnosti zdroje je odečtena na osciloskopu

Takto provedené měření umožnilo velmi rychle a efektivně zjistit mezní křivky zdroje s jednotlivými parametry. Měření tímto způsobem je možné provést pouze s obdélníkovým průběhem výpadku. Pro výpadek s pomalou změnou napětí je nutno volit metodu použitou u zdrojů 1 a 2.

### 6.1.2 Měřicí přístroje

Pro měření mezních charakteristik spínaného zdroje byl použit:

- simulátor sítě CI 15003iX ovládaného softwarem CIGUI 32
- analyzátor ZES Zimmer LMG95
- osciloskop Agilent DSO 6014A



Obr. 6-2 Blokové schéma zapojení měřících přístrojů

#### 6.1.2.1 CTS systém CI 15003

CTS systém CI 15003 je výkonový simulátor sítě umožňující testování elektrických spotřebičů a jednotlivých prvků sítě, jako jsou vedení, statické kompenzátory, filtry, měniče pro



měření, jistící a ochranné prvky sítí, elektroměry, ad., při všech stavech, které jsou v sítích pravděpodobné. CTS systém CI 15003 vytváří vlastní umělou střídavou třífázovou nebo stejnosměrnou síť oddělenou od veřejné napájecí sítě, s programovatelnými charakteristikami napětí a možností měření všech potřebných obvodových veličin či procesních signálů.

CTS systém CI 15003 lze využít jako zdroje jmenovitého sinusového stabilního napětí, stabilního zdroje stejnosměrného napětí, či jako zdroje generujícího nízkofrekvenčního rušení šířené po vedení, ad. CTS systém CI 15003 je vhodný mimo jiné pro měření odolnosti spotřebičů na poklesy napětí a krátká přerušení napájení.

CI 15003iX je třífázový (složený ze tří jednofázových jednotek) programovatelný výkonový zdroj s programovatelnou vnitřní impedancí. Zdroj pracuje se dvěma napěťovými rozsahy výstupního napětí. Celkový výkon je 3x5kVA, při maximálním fázovém napětí rozsahů 150/300V a maximálním fázovém proudu na těchto rozsazích 33,2/16,6A. Základní verze zdrojů je doplněna o volitelné rozšíření -400, -411, -413.

Zdroj CI 15003iX pracuje na principu napěťového střídače. Výstupní střídač se skládá ze tří paralelně pracujících čtyř-kvadrantových měničů a jeho výsledná výstupní spínací frekvence je 37,5kHz. Na výstupu je pasivní sinus filtr, který provádí vyhlazení výstupního napětí. Výstupní měnič je napájen ze zvyšujícího DC-DC měniče s ultrakapacitorem, který je přes vstupní VF filtr a usměrňovač připojen k napájecí síti.

### 6.1.2.2 Přesný analyzátor ZES Zimmer LMG95

Přesný analyzátor a wattmetr LMG 95 má šířku pásma měřících vstupů 50kHz a je určen pro přímé měření do 20A a 600V se základní přesností měřících vstupů 0,03%. Základní verze analyzátoru je doplněna o volitelné rozšíření: L95-01 (rozhraní RS 232, IEEE, Centronics), L95-O3 (procesní analogové a digitální vstupy a výstupy), L95-O4 (flickermeter), L95-O5 (záznamník přechodných jevů), L95-O10 (měření harmonických a mezharmónických složek do řádu 99 včetně DC složky), software LVDRV-L95 (driver k LMG95 pro Labview 5.1.1), TERM-L95 (software pro nastavování, komunikaci a transfer dat), SYS61K-3-Soft (řídící systém pro zdroje CI a analyzátor ZES pro měření dle norem ČSN EN 61000-3-2 a -3-3).

### 6.1.2.3 Osciloskop Agilent DSO 6014A

- šířka pásma 100MHz
- 4 analogové kanály
- paměť 8M bodů Mega Zoom III
- vzorkování 2GSa/s
- vysoká rychlost obnovy zobrazovaného signálu ( až 100.000 stop/s) umožňuje zobrazit i náhodné události
- možnosti spouštění včetně HDTV/EDTV a sériových komunikací I2C, CAN, LIN, SPI a USB
- LAN, USB a GPIB konektivita
- režim vysokého rozlišení - 12 bitů
- 5-ti místný hardwarový čítač
- HW konektivita do SW 89601A pro vektorové demodulace a analýzu

## 7 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ PROVEDENÝCH MĚŘENÍ

### 7.1 Efektivní hodnota napětí sítě

Jak bylo předpokládáno, hodnota minimálního napětí  $U_{min}$ , se kterým zdroj dokáže pracovat po dobu alespoň 1 s, nijak nesouvisí s efektivní hodnotou napětí v okamžiku poklesu napětí. Toto platí u všech tří zkoumaných zdrojů. Hodnota tohoto napětí je zdroji vtisknuta při návrhu zapojení.

Doba  $t_{max}$ , po kterou zdroj bude pracovat při výpadku napětí je u zdrojů 1 a 2 závislá na efektivní hodnotě napětí sítě v okamžiku výpadku. Nejedná se však o přímou závislost, ve skutečnosti je hodnota  $t_{max}$  závislá na vrcholové hodnotě napájecího napětí. Tyto zdroje nejsou vybaveny řízením odebíraného proudu podle velikosti napětí stejnosměrného meziobvodu. Maximální doba jejich odolnosti je tedy dána množstvím akumulované energie ve filtračních kondenzátorech, ta je vázána kvadraticky na vrcholovou hodnotu síťového napětí.

Tvar mezní křivky zdrojů 1 a 2 je pravoúhlý. Protože zdroje 1 a 2 nejsou schopny zvýšit odebíraný proud při krátkém poklesu napětí, tak aby odebíraný výkon zůstal zachován, má u těchto zdrojů jakýkoli pokles napětí pod hodnotu  $U_{min}$  stejný účinek jako výpadek napětí, tj. zachování funkce zdroje pouze po dobu  $t_{max}$ . Po dobu snížení napětí pod hodnotu  $U_{min}$  dojde k přerušení odběru proudu a veškerý odběr zdroje je zásobován z filtračních kapacit zdroje, jak je patrné na obrázku 7-1.

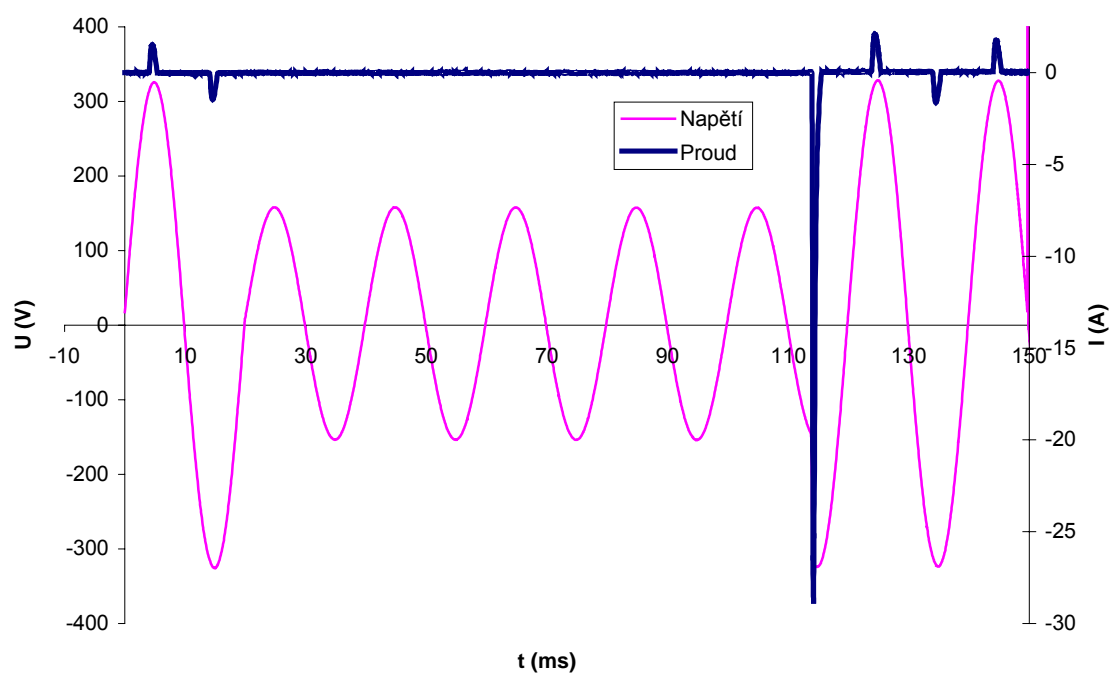
U zdroje 1 znamená snížení napětí o 10 % snížení  $t_{max}$  o 30 %. Zvýšení napětí o 10 % zvýší odolnost zdroje o 13,3 %. U zdroje 2 se při snížení napětí o 10 % sníží hodnota  $t_{max}$  o 46 %, zvýšení napětí o 10 % zvýší doby odolnosti 59 %.

Po obnovení napětí dojde k prudkému nárůstu proudu (Obr. 7-1), neboť se nabíjí zcela vybité kondenzátory a zároveň nedojde k omezení proudu pomocí omezovacích termistorů na vstupu zdroje. Zde je také patrné jedno z největších nebezpečí, které poklesy napětí představují pro spínané zdroje. V krátké době dojde k přenosu několikanásobku jmenovitého proudu, který se nestačí vyzářit do chladičů a přívodních vodičů a může dojít k poškození spínacích tranzistorů.

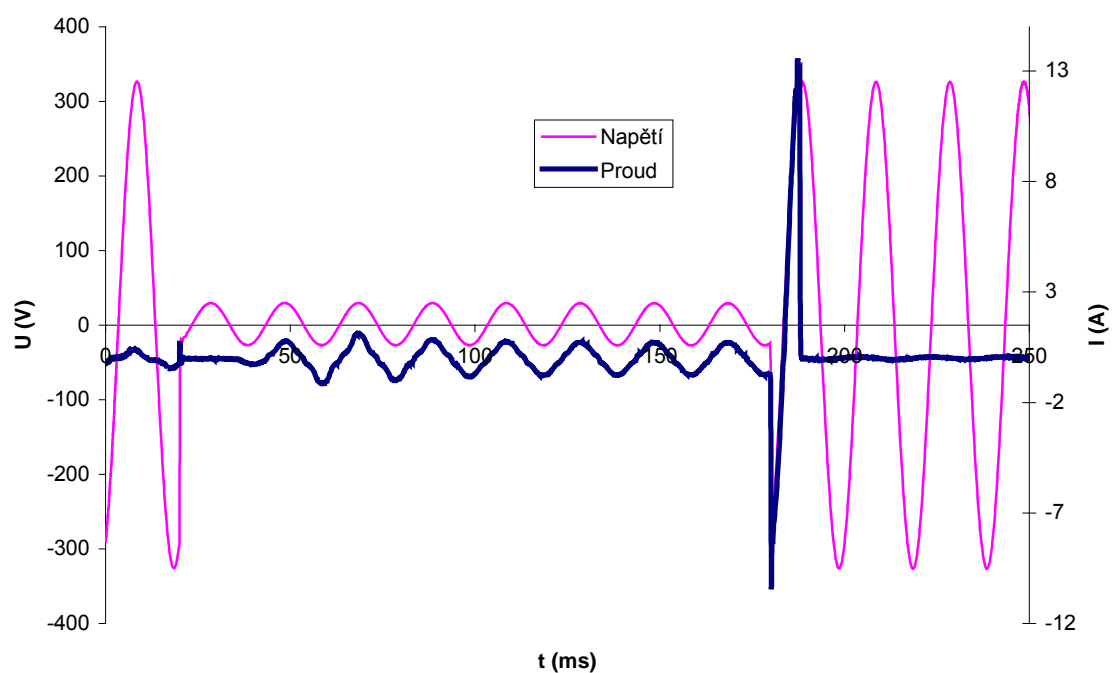
Zdroj 3 je schopen reagovat na snížení síťového napětí zvýšením odběru proudu tak, aby odebíraný výkon zůstal přibližně konstantní (Obr. 7-2). Filtrační kapacity se i při poklesu napětí nabíjejí na maximální možnou míru. Akumulovaná energie je tedy stejná při různých hodnotách síťového napětí před okamžikem výpadku a pro měřené hodnoty síťového napětí je doba výdrže na výpadek napětí vždy stejná.

Napětí  $U_{min}$  se podle očekávání zůstává shodné pro jakékoli efektivní napětí sítě v okamžiku výpadku. Doba  $t_{max}$  nezávisí na hodnotě změny napětí sítě.

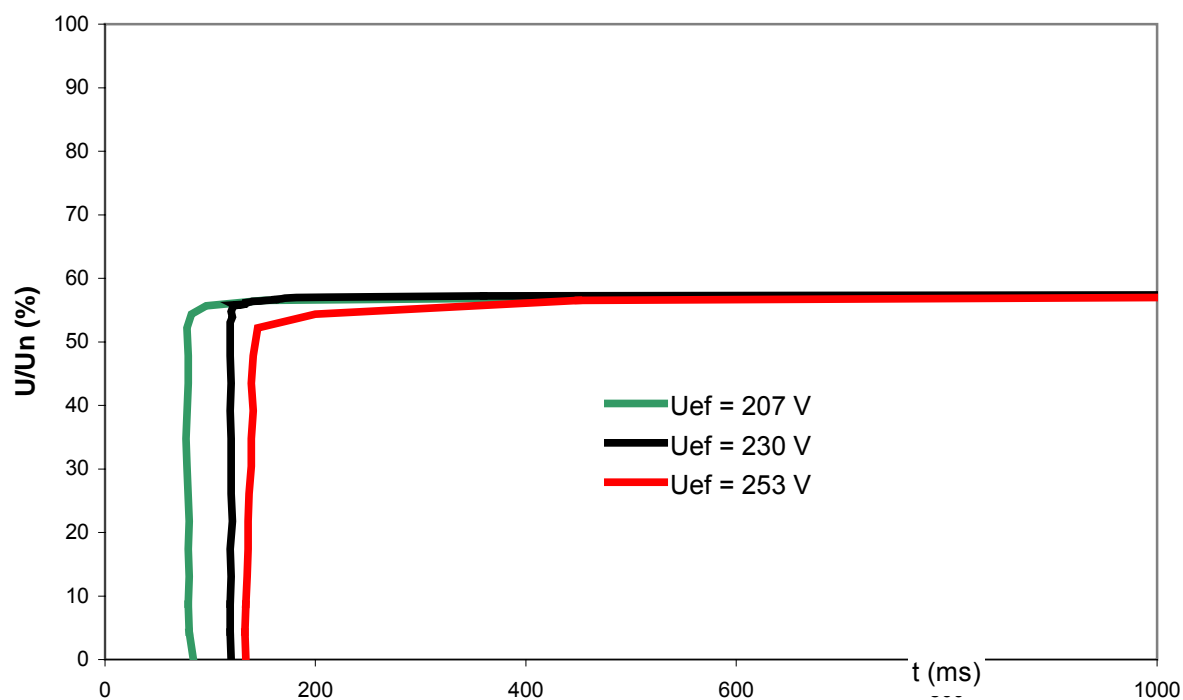
Křivka odolnosti nemá pravoúhlý průběh. Doba odolnosti zdroje je závislá na hloubce poklesu, mezní křivka je hladká a v podstatě shodná pro všechny nastavené velikosti síťového napětí.



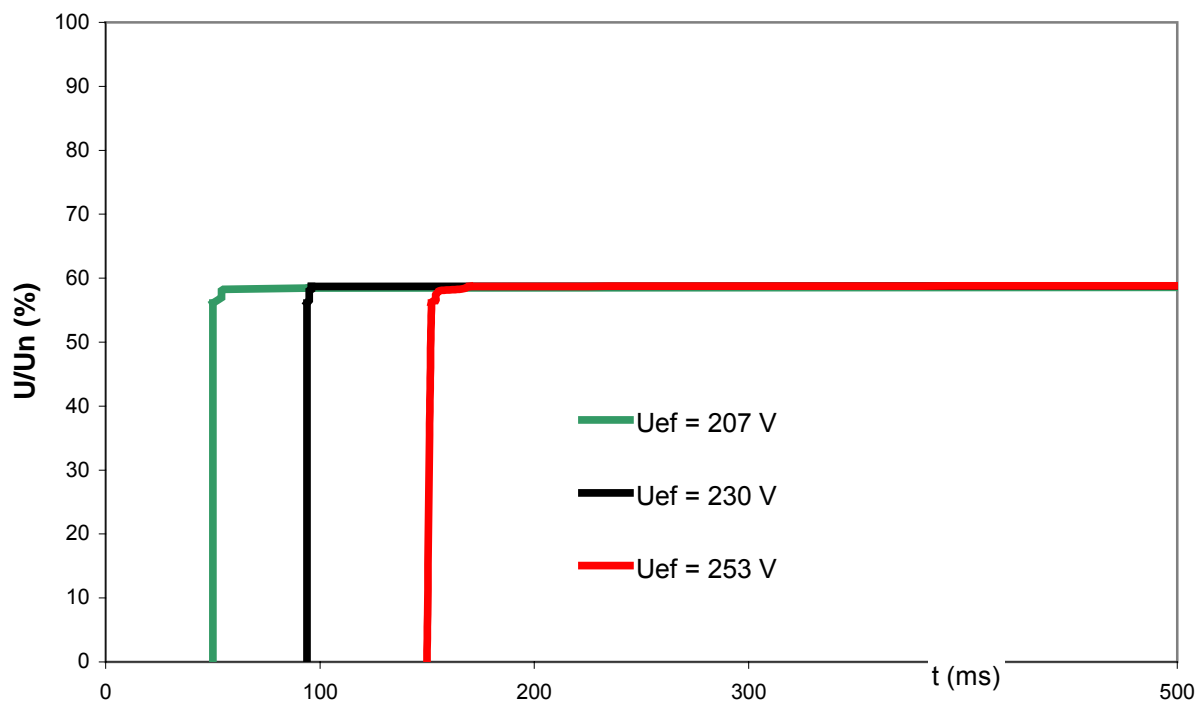
Obr. 7-1 Odběr proudu zdroje FRW 200W při poklesu napětí sítě na 110 V



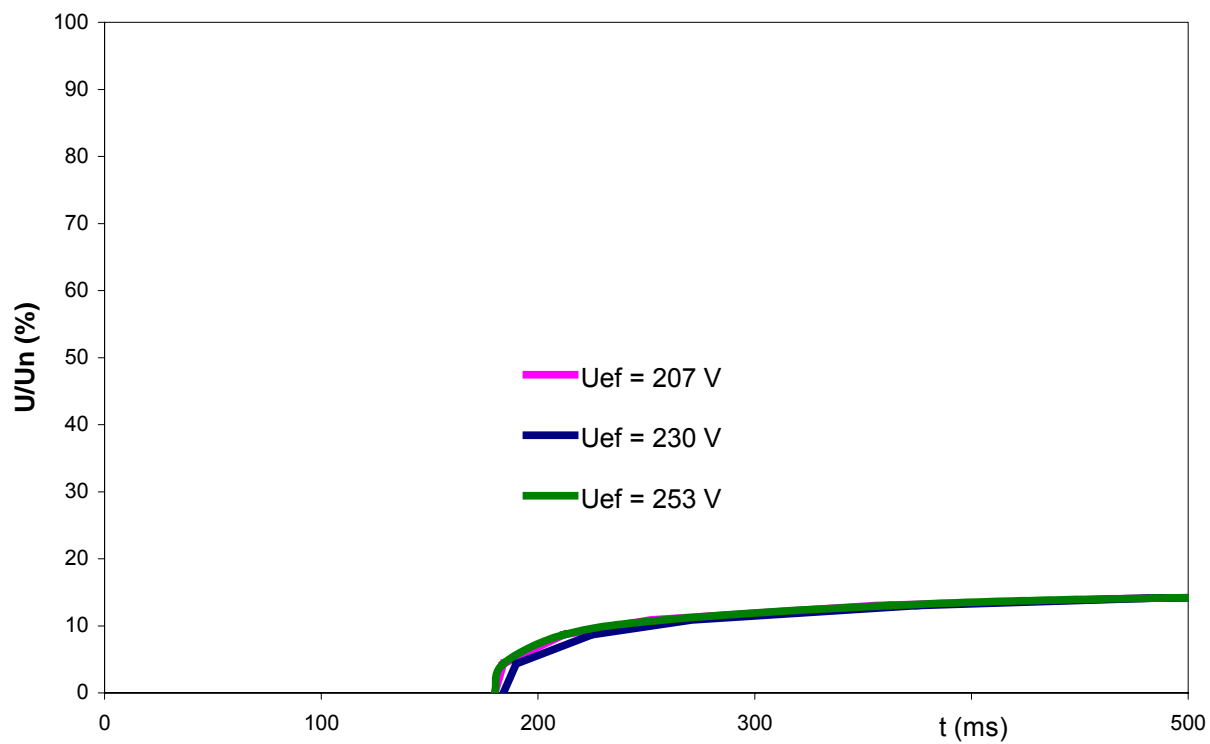
Obr. 7-2 Odběr proudu zdroje Fortron při poklesu napětí sítě



Obr. 7-3 Mezní křivky FRW 200W



Obr. 7-4 Mezní křivky CW 235W



Obr. 7-5 Mezní křivky FSP 300

## 7.2 Deformace napětí harmonickými složkami základního kmitočtu napájecí sítě.

Spínaný zdroj je zařízení, které zpracovává vrcholovou hodnotu napětí. Měření provedena na zdrojích ukazuje, že deformace napětí se projeví změnou vrcholové hodnoty napětí vůči sinusovému průběhu napětí a touto změnou jsou ovlivněny mezní křivky odolnosti zdroje.

Hodnota minimálního napětí  $U_{min}$  je nejvyšší pro napětí TopFlat a nejvyšší pro napětí OverSwing, výsledky sinusového průběhu jsou zhruba uprostřed mezi deformovanými průběhy. Při napájení průběhem TopFlat zdroj vydrží nejméně, při napájení OverSwing nejvíce.

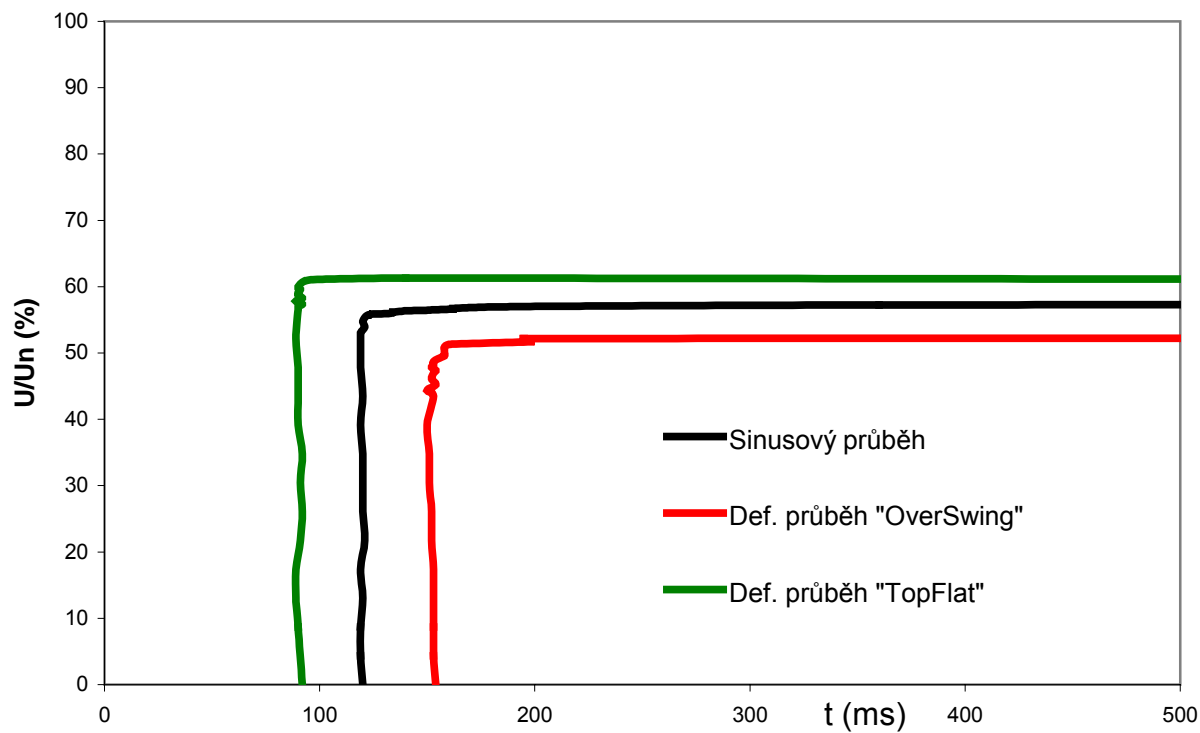
Doba výdrže  $t_{min}$  je nejdélší pro deformaci s nejvyšší vrcholovou hodnotou OverSwing, nejkratší je pro deformaci s nejnižší hodnotou síťového napětí TopFlat. Protože zdroje nejsou vybaveny řízením vstupního proudu, je hodnota nabití kapacit filtru je úměrná vrcholové hodnotě síťového napětí a tomu odpovídá doba odolnosti zdroje na výpadek napětí.

Pokud je do grafu na svislou osu vynesena místo poměrné velikosti efektivního napětí poměrná velikost vrcholového napětí, jsou hodnoty srovnatelné. Příčinou posunu mezních křivek není deformace průběhu napětí, nýbrž změna vrcholové hodnoty napětí bez ohledu na příčinu.

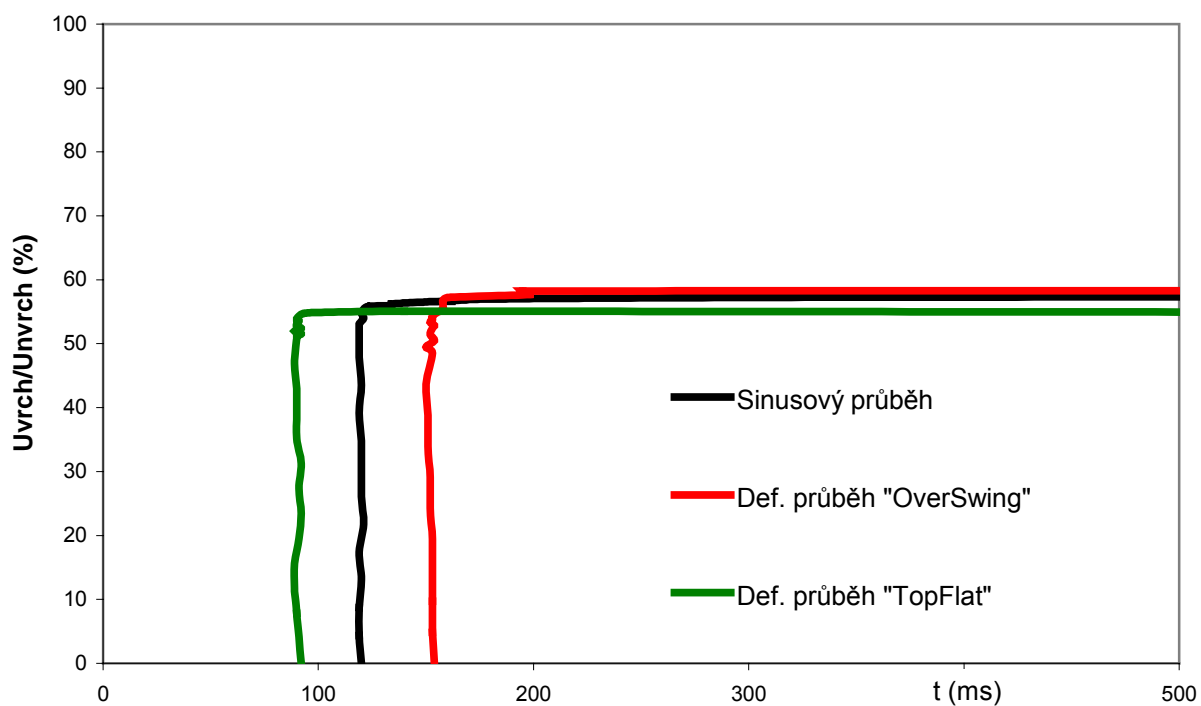
Proud odebíraný spínaným zdrojem je kapacitního charakteru. V síti s větším množstvím takových spotřebičů lze očekávat častěji deformaci „TopFlat“ a tedy nižší odolnost zdrojů na výpadky a poklesy napětí.

Mezní křivka zdrojů 1 a 2 je tedy pravoúhlá, na pokles napětí na nižší hodnotu než je napětí  $U_{min}$  reaguje selhání ve stejném čase  $t_{max}$ , jako na výpadek napětí.

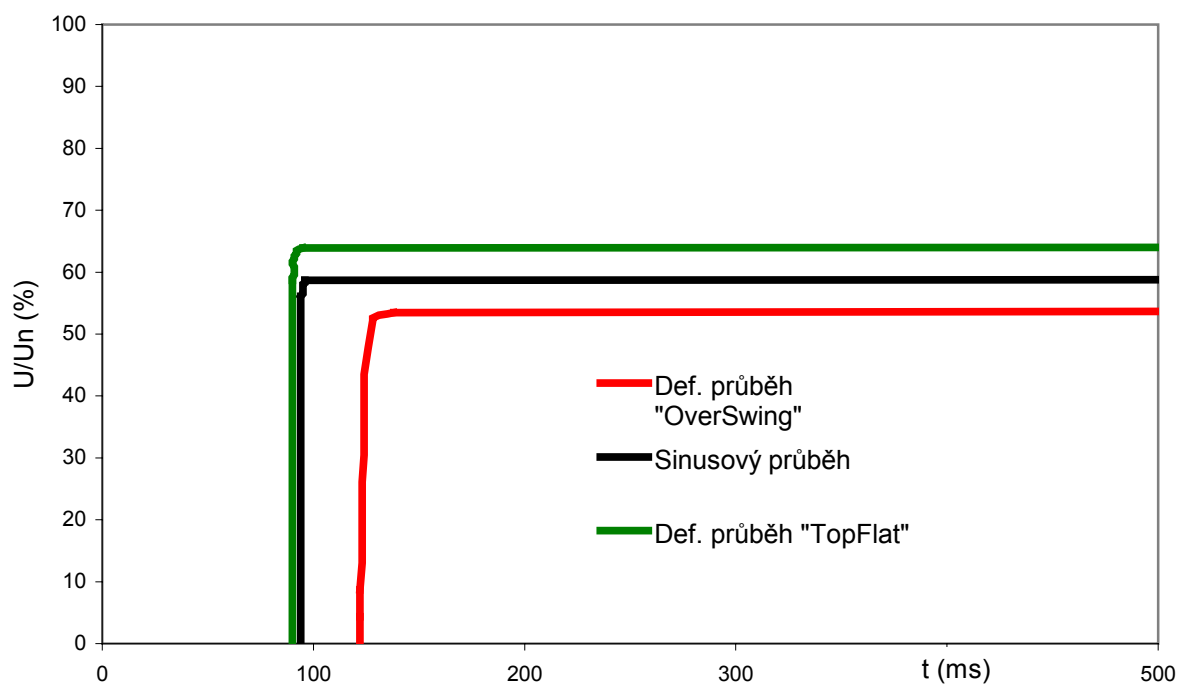
Naproti tomu zdroj 3 opět na změnu průběhu nereaguje žádnou změnou polohy mezní křivek. Zdroj si tvarováním odběru napájecího proudu doplňuje akumulovanou energii na konstantní hodnotu. Deformace napětí ve zvoleném rozsahu měření nemá na mezní křivky zdroje 3 vliv.



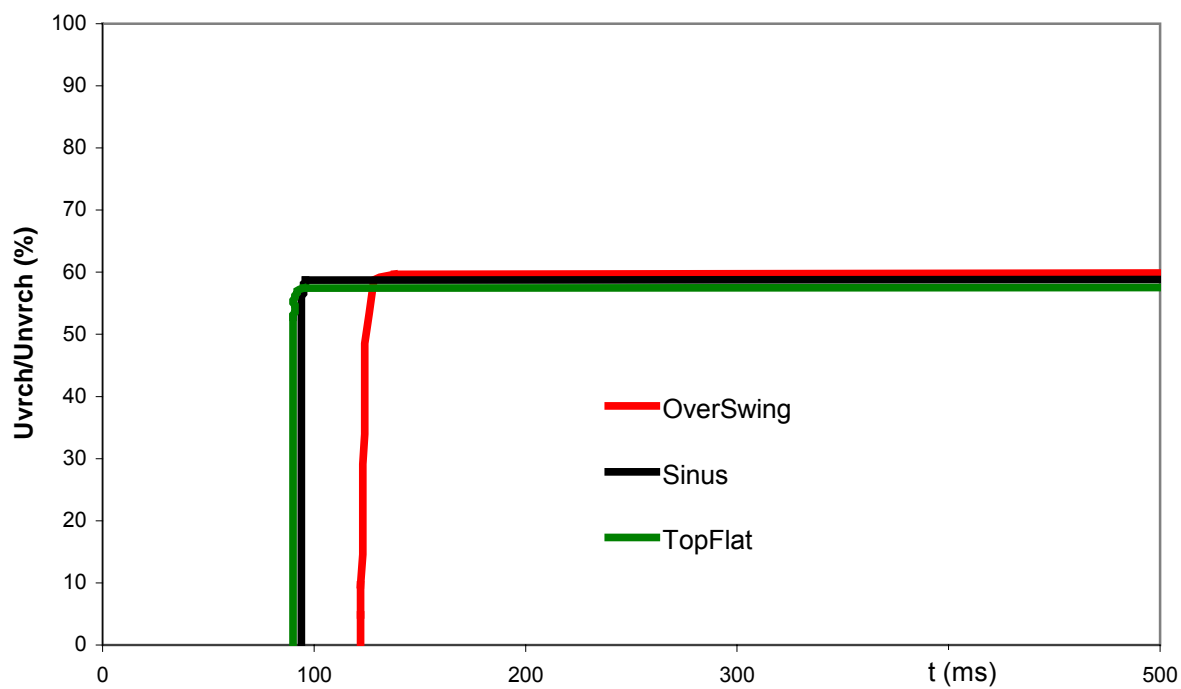
Obr. 7-6 Mezní křivky zdroje FRW 200



Obr. 7-7 Mezní křivky FRW 200, vynesena vrcholová hodnota napětí

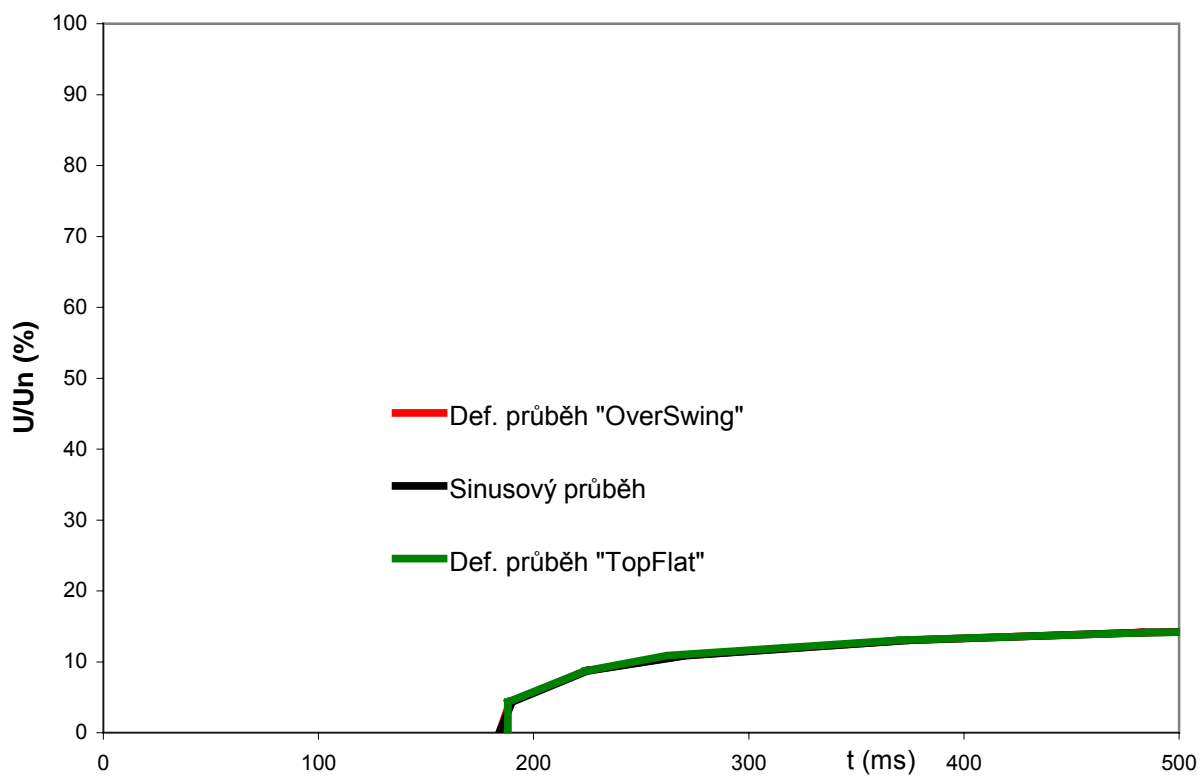


Obr. 7-8 Mezní křivky zdroje CW 235



Obr. 7-9 Mezní křivky CW 235, vynesena vrcholová hodnota napětí





Obr. 7-10 Mezní křivky FSP 300

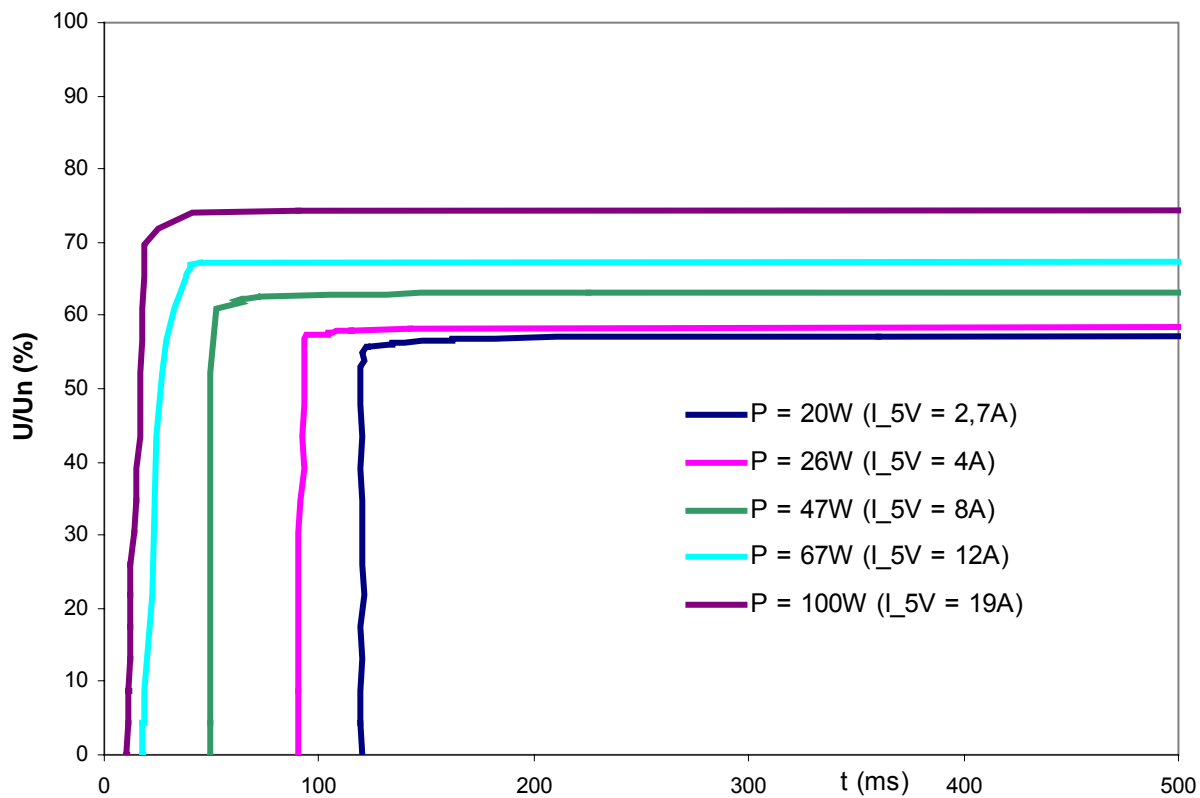
### 7.3 Zatížení zdroje

Při tomto měření byla 5 V větev zdroje zatěžována v několika krocích externím rezistorem. Zatížení ostatních větví bylo neměnné dané odběrem připojené počítačové sestavy.

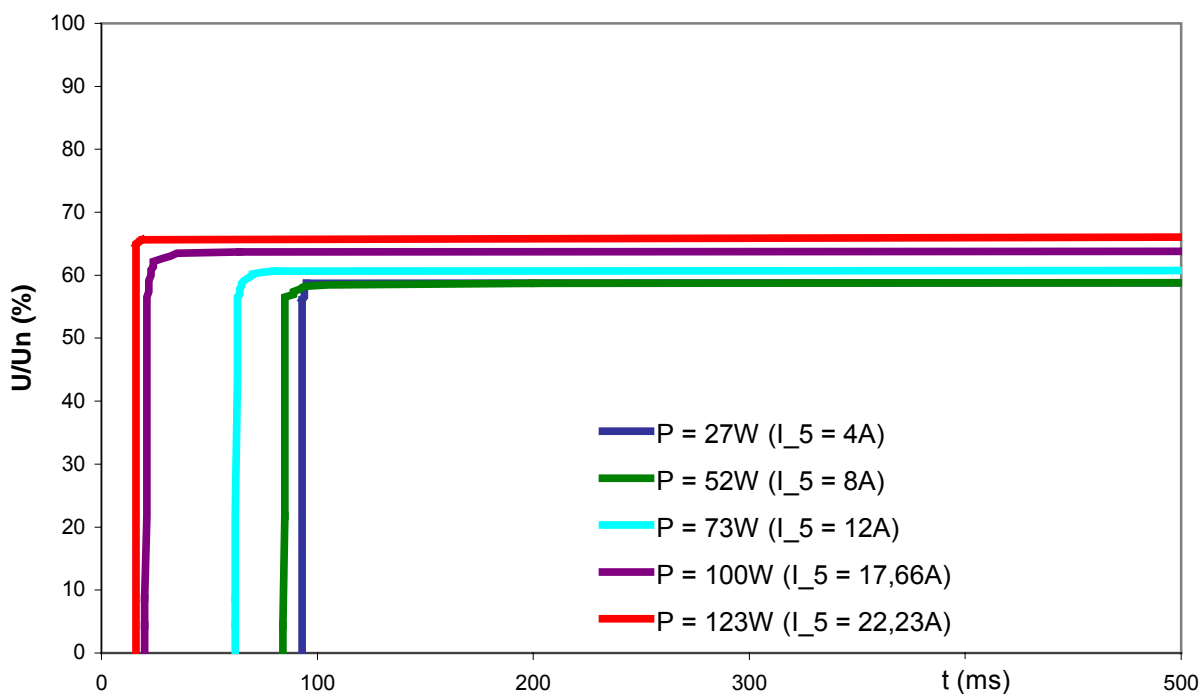
Zatímco parametry mezních křivek, související s napětím sítě, do níž je zkoumaný spotřebič připojen, bylo možno částečně nebo úplně kompenzovat vlastnostmi spotřebiče, u zatížení zdroje tomu tak není. Ve zdroji je možné akumulovat pouze konečné množství energie a toto množství akumulované energie se při zvýšené zátěži zdroje spotřebuje za kratší čas a doba  $t_{\max}$  klesne. Aby byl zdroj schopen dodržet na výstupních svorkách požadované napětí i při zvýšené zátěži, roste hodnota  $U_{\min}$ , se kterou zdroj dokáže pracovat.

U všech zkoumaných zdrojů lze pozorovat podobné reakce na změnu odebíraného proudu. Umístění mezních křivek v diagramu je dáno jmenovitým výkonem zdroje, neboť ten je určující pro návrh velikostí filtračních kapacit s ohledem na velikost zvlnění na jeho svorkách.

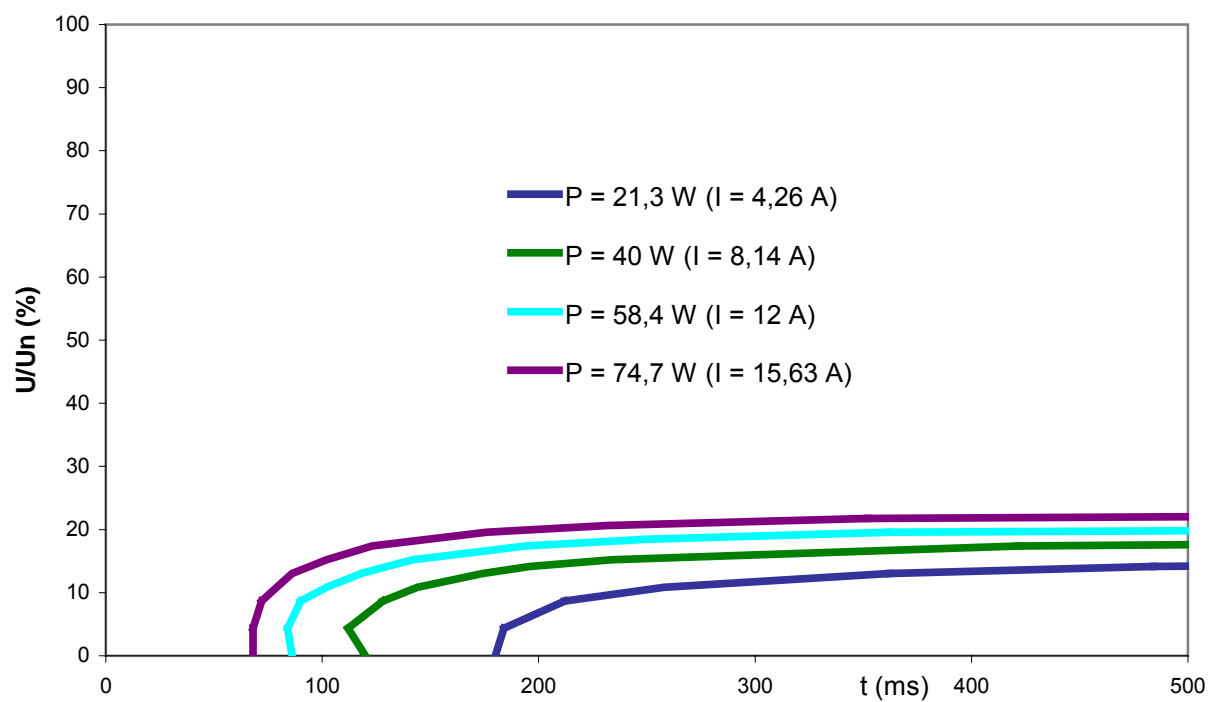
Zkoumané zdroje není možné posuzovat mezi sebou, neboť každý má jiný jmenovitý výkon a rozložení výkonu do jednotlivých větví je jiné u zdrojů AT a ATX. Naměřené hodnoty však ukazují, že reakce všech zdrojů na změnu jsou srovnatelné a předvídatelné.



Obr. 7-11 Mezní křivky zdroje FRW 200 při změně zátěže



Obr. 7-12 Mezní křivky zdroje CWT 235 při změně zátěže



Obr. 7-13 Mezní křivky zdroje FSP 300 při změně zátěže

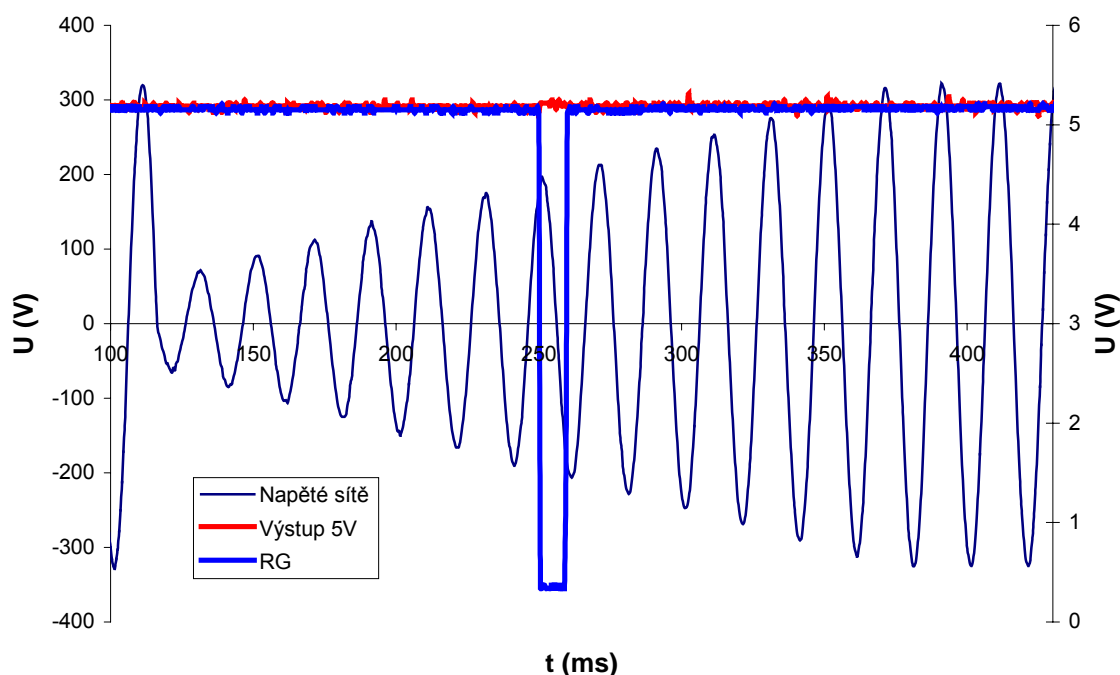
## 7.4 Průběh změny napětí

Zdroje byly zkoušeny při jmenovitém sinusovém napětí s efektivní hodnotou 230 V a minimální zátěží. Místo obdélníkového výpadku byl simulován výpadek s okamžitým snížením napětí a postupným návratem na původní hodnotu. Byla hledána doba mezi počátkem výpadku a návratem napětí na původní velikost. Měření se opakovalo pro různé hodnoty poklesu napětí, aby mohla být vykreslena mezní křivka.

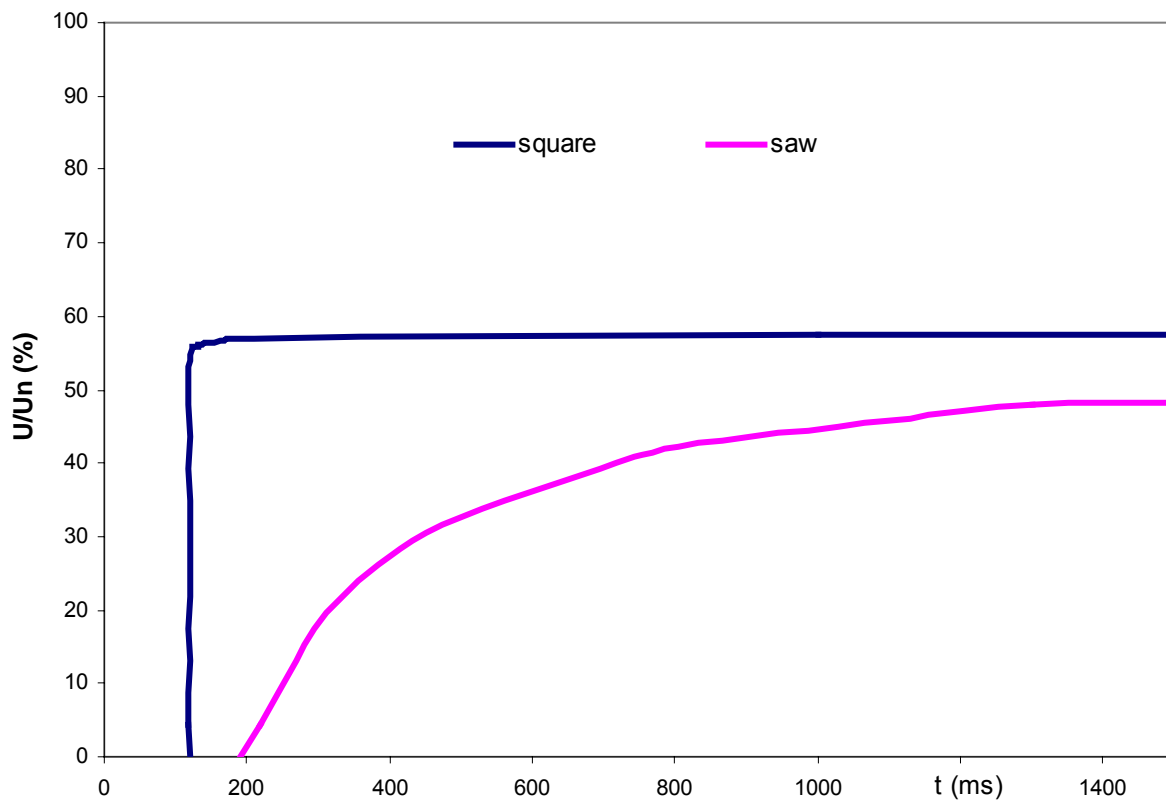
Ukázka průběhu napětí sítě při testu je na obrázku 7-14, kde je patrné, že měřený zdroj nepřekonal výpadek napětí a počítač byl restartován signálem RG.

Jsou vykresleny reakce zdrojů 1 a 2. Zjištění mezní křivky zdroje 3 pro pomalou změnu napětí nabylo možné, neboť zdroj byl schopen odolat výpadku napětí, jehož obnovení trvalo déle než 1 s. Pokud za krátkodobé výpadky a poklesy napětí považujeme události kratší než 1 s, zdroj odolá jakékoli takové události.

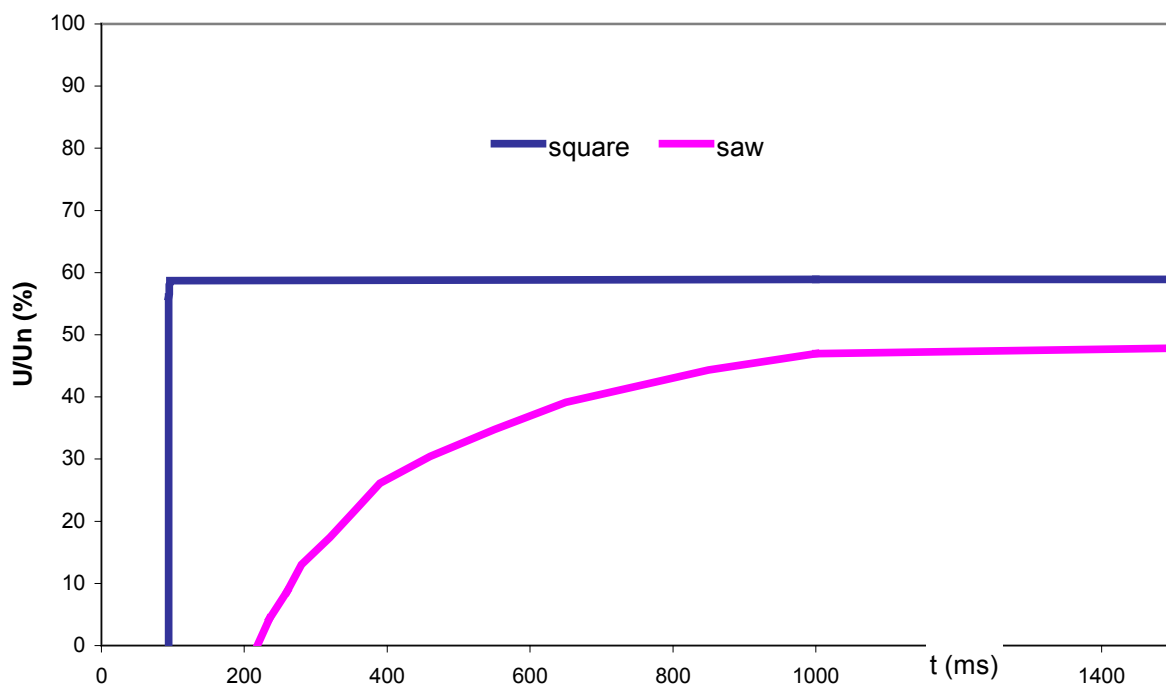
Měření prokázalo, že výsledné křivky jsou vždy horší pro obdélníkový výpadek. Takovým měřením kritériálních křivek je možné zjistit mezní hodnoty, které v reálné situaci nebudou nikdy překročeny.



Obr. 7-14 Výpadek napětí s postupným obnovením (zdroj CWT 235)



Obr. 7-15 Mezní křivky zdroje FRW 200 při obdélníkovém poklesu a poklesu s postupným obnovením



Obr. 7-16 Mezní křivky zdroje CWT 235 při obdélníkovém poklesu a poklesu s postupným obnovením

## 8 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce je popsání nejdůležitějších parametrů kritériálních mezních křivek napájecích zdrojů pro soudobé osobní počítače, navržení měřicí metodiky a provedení parametrických měření kritériálních mezních křivek odolnosti.

Pro měření mezních křivek byl nejdříve zvolen konzervativní způsob měření převzatý z [5]. Byla hledána nejdelší doba, po kterou zdroj při nastavených parametrech mezních křivek a dané hloubce poklesu napětí neselže. Byla nastavena hloubka poklesu a postupně zvyšována hodnota doby jeho trvání až do selhání zdroje.

Takové měření se ukázalo být velmi neefektivní a nepřesné. Pro nalezení správných hodnot bylo třeba vždy učinit velké množství opakování napěťové události. To vedlo k namáhání zdroje – každý výpadek nebo pokles napětí je pro zdroj škodlivý, neboť při obnovení napětí dochází k proudovým nárazům, které tepelně namáhají součástky zdroje. Rychlý sled výpadků měl za následek nestandardní chování zdrojů – doba odolnosti se neočekávaně náhodně snižovala. Opakovatelnost takového měření by byla problematická.

Proto byla navržena a odzkoušena měřicí metoda, která zmíněné nedostatky eliminuje. Kromě síťového napětí a výstupního napětí byla na osciloskopu zobrazena hodnota signálu RG. Ten dává základní desce informaci o připravenosti zdroje k dodávce napětí s požadovanou velikostí. Změna napětí signálu RG z 5 V na 0V způsobí restart počítače.

Dobu odolnosti zdroje na výpadek nebo pokles napětí je možné tedy možné odečíst přímo na osciloskopu. Zjištění mezních křivek je tak rychlé a efektivní. Tuto metodu lze uplatnit při testování obdélníkovým výpadkem

Prostudování obecných parametrů spínaných zdrojů, jejich zapojení a způsobu řízení, umožnilo předběžně stanovit parametry mezních křivek a jaký je jejich vliv. Byly zjištěny jak parametry konstrukční, které jsou danému zdroji dány již návrhem a konstrukcí, tak parametry dodávky a odběru elektrické energie zkoumaným zdrojům.

Konstrukční parametry není možné ovlivnit a jejich vliv je možno pouze předpokládat. Nelze ověřit jejich vliv a jsou považovány za neměnné. Lze je posoudit porovnáním zdrojů s různými konstrukčním uspořádáním mezi sebou. Konstrukční parametry zdroje, které jsou zároveň parametry mezní křivky jsou zejména kapacita kondenzátorů vstupního filtru, schopnosti řízení zdroje a přítomnost a koncepce PFC filtru.

Měřením byly ověřen vliv těchto předpokládaných parametrů

- velikost efektivní hodnoty síťového napětí
- deformace napětí harmonickými složkami zákl. kmitočtu
- zatížení výstupních svorek zdroje
- průběh napětí při výpadku a poklesech

Vliv předpokládaných parametrů byl popsán na zobrazených mezních křivkách všech tří měřených zdrojů.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PNE 33 3430-7. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*
- [2] ŠMÍD, J. *Stanovení mezních hodnot rušivých vlivů ve veřejných distribučních sítích v návaznosti na české a mezinárodní normy se zaměřením na poklesy a přerušování napětí*. NELKO Tanvald, 2001
- [3] KREJČIŘÍK, A. *Napájecí zdroje I*, BEN – technická literatura, 2. vydání, Praha 1997, 351 stran, ISBN 80-86056-02-3
- [4] KREJČIŘÍK, A. *Napájecí zdroje II*, BEN – technická literatura, 1. vydání, Praha 1999, 350 stran, ISBN 80-86056-56-2
- [5] VÍT, M. *Odolnost různých konstrukcí počítačových napájecích zdrojů na poklesy a krátkodobé výpadky napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006. 81 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Jiří Drápela, Ph.D.
- [6] BOK, J. Classification of Immunity of Consumers to Short Voltage Drops and Interruptions. *STUDENT EEICT 2008*, Brno 24.4. 2008, 5 stran, <http://www.feec.vutbr.cz/EEICT/>
- [7] EN 61000-4-11 ed.2 Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.