

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
Katedra Elektroenergetiky

# **Detektor elektrického oblouku pro sítě nn**

Diplomová práce

Vypracoval: Bc. Jan Chramosta  
Vedoucí práce: Doc. Ing. Pavel Mindl, CSc.

Děčín 5.5.2015

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jan Chramosta**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Detektor elektrického oblouku pro síť nn**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte analýzu rizik vzniku elektrického oblouku v sítích nízkého napětí a možností jejich detekce.
- 2) Proveďte rešerši nových trendů v ochraně rozvodů nízkého napětí v budovách před účinky nežádoucího přerušení vedení a vzniku podélného a příčného elektrického oblouku.
- 3) Rozeberte principy činnosti ochranných přístrojů pro tuto oblast s ohledem na potenciální rušivé vlivy, vyskytující se v sítích nn.
- 4) Na zkušebním vzorku přístroje experimentálně ověřte jeho detekční schopnosti pro případ reálného elektrického oblouku.

Seznam odborné literatury:

- [1] [http://www.solarabcs.org/about/publications/meeting\\_presentations\\_minutes/2011/02/pdfs/Arc-PV\\_Codes-Detection-mitigation.pdf](http://www.solarabcs.org/about/publications/meeting_presentations_minutes/2011/02/pdfs/Arc-PV_Codes-Detection-mitigation.pdf)
- [2] <http://ecmweb.com/content/basics-arc-fault-protection>
- [3] <http://www.pfeiffereng.com/The%20Arc%20Fault%20Circuit%20Interrupter.pdf>

Vedoucí: doc.Ing. Pavel Mindl, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Pavel Mindl, CSc. za odborné vedení při vypracování diplomové práce, cenné rady a připomínky.

Dále bych rád poděkoval rodičům za velkou podporu a zázemí při studiu. Poděkování patří také mé přítelkyni a přátelům za podporu při studiu.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Děčíně dne 5. 5. 2015

.....

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá detektorem elektrického oblouku v síti nízkého napětí. Zaměřuje se na vznik elektrického oblouku, jeho příčiny, následky a možnosti detekování. Je zde podrobně popsán princip funkce, na jejímž základě detektor vyhodnocuje možný elektrický oblouk v síti nízkého napětí. Detektor se otestuje a provedou se na něm měření prezentující jeho funkci.

## Klíčová slova

Elektrický oblouk, Fourierova transformace, metoda analogové filtrace, AFDD

# Abstract

This thesis deals with the detection of arcing in the low voltage network . It focuses on arcing , its causes , consequences and possibilities of detection . There is exhaustively described operating principle based on which the detector evaluates a possible electrical arc in the low voltage network . The detector is tested and performed in it measurements presenting its function.

## Keywords

Electric arc, Fourier transform method, analog filtering, AFDD

# Obsah

1.0 Specifikace cílů diplomové práce.....	1
2.0 Základní informace o AFDD.....	2
2.1 Vznik a funkce AFDD .....	2
2.2 Vznik požáru a statistiky.....	5
2.3 Typy poruch na vedení a spotřebičích .....	8
2.4 Varianty AFDD pro evropský trh .....	12
2.5 Rozšiřování zařízení a implementace do norem .....	13
3.0 Teorie elektrického oblouku .....	15
3.1 Teorie stejnosměrného elektrického oblouku.....	15
3.1.0 Charakteristika stejnosměrného elektrického oblouku.....	15
3.1.1 Dynamická charakteristika stejnosměrného oblouku .....	19
3.2 Teorie střídavého elektrického oblouku.....	21
3.2.0 Charakteristika střídavého elektrického oblouku.....	21
3.2.1 Teorie střídavého oblouku.....	23
3.2.2 Zhášení střídavého oblouku.....	26
3.2.3 Vypínání střídavého oblouku v obvodech nízkého napětí.....	26
3.3 Analýza frekvenčního spektra proudu .....	27
3.3.0 Frekvenční spektrum proudu.....	27
3.3.1 Fourierova řada.....	27
3.3.2 Diskrétní Fourierova transformace.....	29
3.3.3 Frekvenční spektrum proudu elektrického oblouku.....	30
4.0 Princip činnosti AFDD.....	33
4.1 Dosavadní stav techniky .....	33
4.2 Popis vnitřního zapojení AFDD.....	35
4.2.0 Blokové schéma .....	35
4.2.1 Detektor průchodu nuly a pulsní generátor .....	39
4.2.2 Filtr pásmová propust .....	40
4.2.3 Vnitřní zpracování signálů.....	41
4.2.4 Vybavovací část zařízení .....	43
4.3 Číslicové zpracování signálu.....	46
4.3.1 Úvod do číslicového zpracování signálu .....	46
4.3.2 Převod analogového signálu na digitální .....	47
5.0 Testování AFDD.....	49
5.1 Testovací obvod .....	49
5.2 Výsledky testování AFDD .....	52
5.2.1 Spektrum nazatíženého obvodu .....	52

5.2.2 Spektrum elektrického oblouku.....	53
6.0 Závěr .....	55
Seznam použitých zdrojů: .....	56
Elektronické zdroje: .....	56
Seznam obrázků .....	57

# 1.0 Specifikace cílů diplomové práce

Cílem této práce je provést analýzu rizik vzniku elektrického oblouku síti nízkého napětí a možnosti její detekce. Popsat princip funkce detektoru elektrického oblouku s ohledem na případné rušivé vlivy v síti nízkého napětí jako jsou komunikační systémy atd. Popsat nové směry v oblasti ochrany před podélným a příčným elektrickým obloukem. Otestovat a provést měření na detektoru, tudíž k jeho svorkám připojit jiskřiště a sledovat jak detektor reaguje na elektrický oblouk.



## 2.0 Základní informace o AFDD

### 2.1 Vznik a funkce AFDD

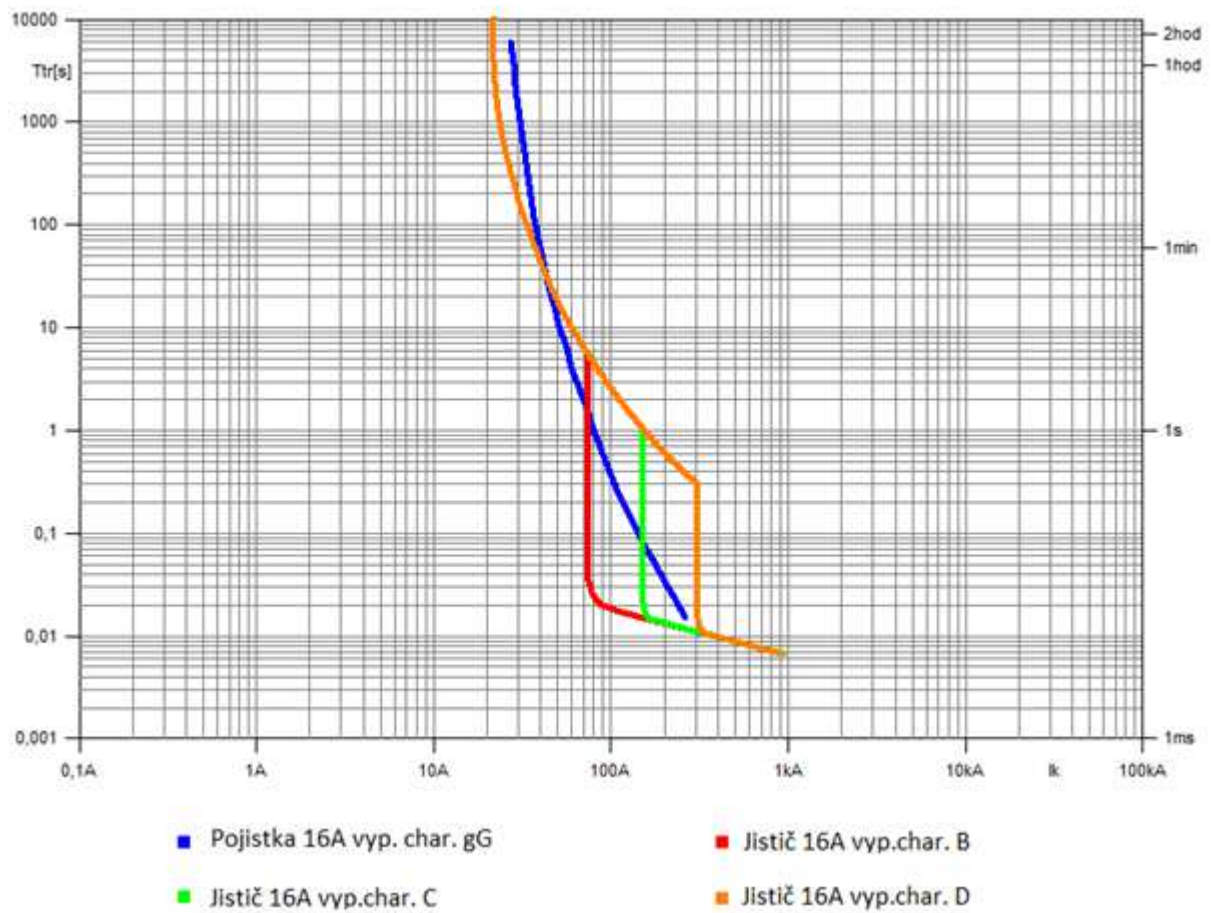
Před necelými sedmnácti lety dne 10. listopadu 1998 vynálezce Robert T. Elms z Monroeville a John C. Schlotterer z Franklino, tedy oba ze Spojených států amerických nechali patentovat svůj vynález. Držitelem patentu je společnost Eaton Corporation, Cleveland, Ohio. Jde o zařízení pro detekci elektrického oblouku v síti nn (AFDD – Arc Fault Detection Device) nebo v severoamerickém prostoru označované jako AFCI (Arc Fault Circuit Interrupter)

Jistým impulzem pro vyvíjení AFDD byla myšlenka ještě většího zabezpečení elektroinstalací rozvodů nízkého napětí před elektrickým obloukem a před jeho tepelnými následky. Vznik elektrického oblouku v domácích instalacích je jednou z hlavních příčin vzniku požáru ve Spojených státech amerických, až 40 000 požárů ročně je připisováno právě vadné elektroinstalaci. Tyto požáry mají za následek více než 350 obětí, přes 1400 zraněných a újmu na majetku ve sto milionech dolarů.

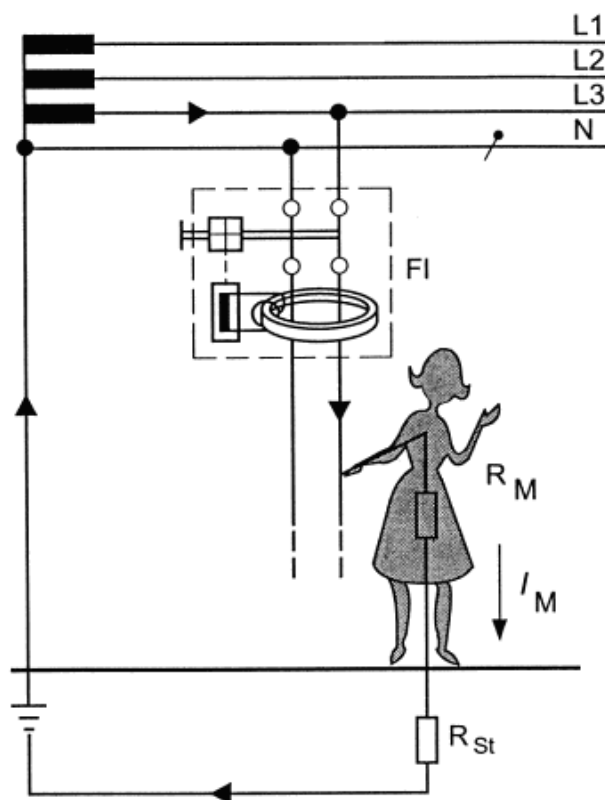
Používané pojistky a jističe, které nám slouží primárně pro ochranu vedení, případně spotřebiče, motoru a jiných speciálních aplikací vybaví pouze při přetížení nebo při zkratu, tedy při vysokých nadproudech anebo při menších nadproudech, ale déle trvajících. Určitý pokrok přineslo zavedení proudových chráničů, které omezily riziko úrazu elektrickým proudem či vzniku požáru při poruše izolace mezi pracovními vodiči a zemí.

Víme, že zápalný výkon je cca 90W, to je při napěťové hladině 230V proud odpovídající cca. 390 mA. Jističe tedy nejsou vhodné, tak malý proud běžně používané pojistky a jističe nevybaví (viz obr. 2.1). Problém je v tom, že proudový chránič reaguje na reziduální proud unikající do země např. přes lidské nebo zvířecí tělo, do ostatních cizích vodivých částí opatřenými doplňujícím ochranným pospojením, atp. (viz obr. 2.2). V případě obvodu, který je opatřen proudovým chráničem nehrozí nebezpečí vzniku požáru z důvodu přeskočení elektrického oblouku mezi vodiči L a PE. Ale v případě vodičů L a N není ochrana zajištěna. Proudový chránič reaguje na základě proudu, který teče do fázového vodiče a proudu, který

se vrací do středního pracovního vodiče. Pokud jsi jsou rovny, nebo jejich rozdíl je menší než 15 mA, proudový chránič nám nevybaví. Klidně může být přerušen fázový vodič a docházet k výbojům formou sériového oblouku, a proudový chránič reagovat nebude, podobně jako v případě výbojů mezi L a N vodičem.



Obr. 2.1. – Vypínací charakteristika jističů a pojistky 16 A



Obr. 2.2. – Znárodnění funkce proudového chrániče

AFDD musí umět rozpoznat a správně vyhodnotit elektrický oblouk, který je škodlivý a byl by schopen zažehnout požár, případně poškodit izolační stav kabelů, spotřebičů, spínačů atd. Zároveň však nechceme, aby nám vybavoval při jiskření v motorech (vrtačka, mixér atd.) nebo při zajiskření když spotřebič zapínáme anebo naopak vypínáme. Vnitřní elektronika AFDD je schopna rozpoznat tyto různé typy elektrických oblouků, na jakém principu se tak děje popíše detailněji v kapitole popis principu funkčnosti AFDD.

## 2.2 Vznik požáru a statistiky

I malá porucha na elektroinstalaci může mít fatální následky, její včasné odhalení zabraňuje velikým škodám a hlavně ohrožení obyvatel objektů na životě. AFDD je vhodné používat ve všech typech objektů, ať jde o rodinné domy, činžovních domy, dílny, výrobních prostory až po korporátní budovy. Jejich použití bych rozhodně doporučil v objektech s nebezpečím výbuchu, kde by měla být prevence velice důležitým faktorem ochrany proti vznícení a jeho následkům.

Případy požárů způsobených přímo nebo nepřímo od elektrického zařízení vyžadují se zabývat jejich příčinami vzniku a opatřeními, která jim má zabránit. Nebezpečí požáru je pochopitelně větší tam, kde je elektrické zařízení umístěno v objektech s hořlavými konstrukcemi. Avšak ani v budovách z nehořlavých materiálů nelze požární bezpečnost podceňovat, protože ji může nepříznivě ovlivnit hořlavé vnitřní vybavení místností, skladované předměty atd.

V elektrických zařízeních se může stát příčinou požáru nebezpečná teplota, kterou na elektrickém zařízení způsobí (viz obr. 2.3):

- přetížení nebo zkrat
- elektrická jiskra nebo oblouk
- zvětšený přechodový odpor
- přístroj, spotřebič nebo zařízení

Každé vedení nebo zařízení se průchodem proudu zahřívá. Při přetížení nebo zkratu dojde vlivem poruchy k průchodu zvětšeného proudu (nadproudu) a tím k nadměrnému ohřátí příslušné části vedení nebo zařízení. Nebezpečí požáru však vznikne jen tehdy, není-li v pořádku jištění, které při správné funkci zařízení včas odpojí od zdroje.

Elektrická jiskra nebo oblouk můžou vzniknout mezi dvěma vodivými částmi různého potencionálu. Jiskra, která představuje zlomek vteřiny trvající přeskok, není z požárního hlediska nebezpečná, pokud nejsou ve vzduchu obsaženy hořlavé plyny nebo páry, popř. hořlavý prach. V elektrických zařízeních může tento stav nastat třeba při úniku svítiplynu nebo zemního plynu tvořícího se vzduchem výbušnou směs, která může být i malou jiskrou

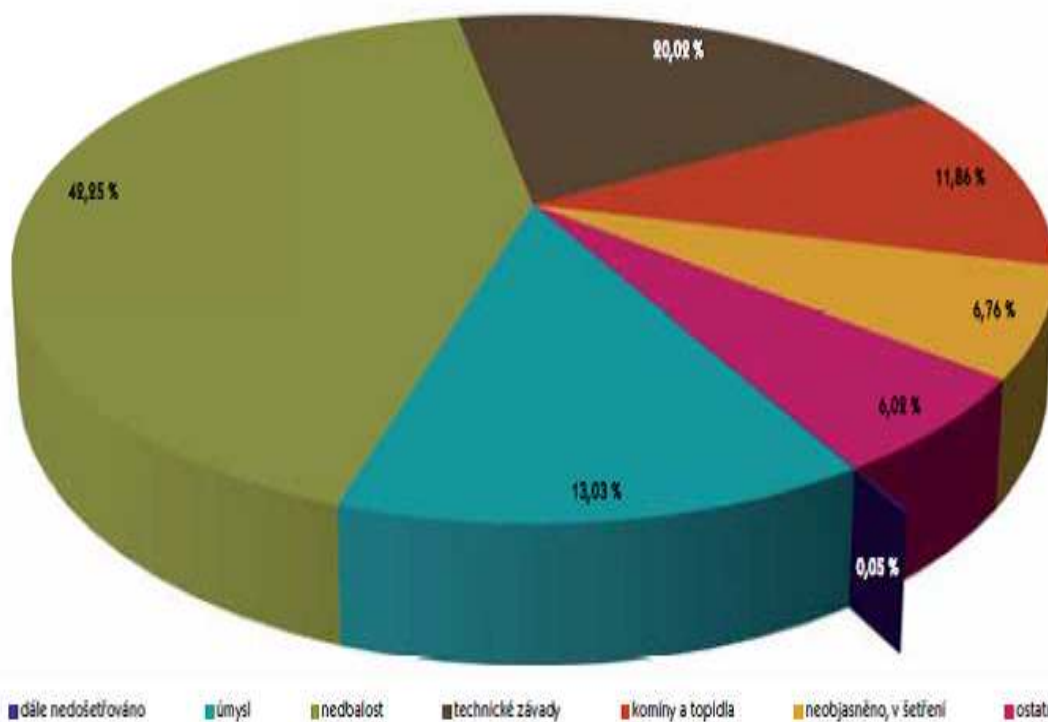
přivedena k výbuchu. Jiskření může přejít někdy v trvalý elektrický oblouk, který má vysokou teplotu (kolem 3000°C). Při této teplotě se taví jádra vodičů i materiál svorek a může dojít k zapálení okolních hořlavých materiálů.

Příčinou požárů se mohou stát také spoje, u nichž působením různých vlivů došlo ke zvětšení přechodového odporu a tím k jejich oteplení, které může dosáhnout až teploty tavení připojeného vodiče. Toto nebezpečí vzniká zvláště u nedokonalých spojů hliníkových vodičů při působení vlhka a elektrochemické koroze. Vadné spoje se zvětšeným přechodovým odporem nemusí vždy vzniknout nesprávnou montáží na stavbě, ale již při výrobě přístrojů a zařízení. Jako skrytá závada se pak projeví až při provozu elektrického zařízení.

Častou příčinou požárů v elektrických zařízeních bývají nesprávně používané, špatně namontované nebo vadné elektrické přístroje a spotřebiče. Podílejí se na tom obzvláště svítidla a tepelné spotřebiče, jejichž povrchová teplota za provozu je dostatečně vysoká k zapálení okolních hořlavých materiálů (zapnuté žehličky, vařiče, teploměry a jiné tepelné spotřebiče ponechané bez dozoru v zapnutém stavu, které již způsobily nejméně jeden požár). Nesprávně namontované spotřebiče představují skryté nebezpečí tím, že obvykle trvá delší čas, než se působením tepla sníží zápalná teplota okolních hořlavých materiálů natolik, až k zapálení postačí teplo vydávané spotřebičem. Přístroje a spotřebiče mohou způsobit požár, pokud jsou nesprávně namontovány. K mnoha požárům došlo např. od předřadných tlumivek a kondenzátorů zářivkových svítidel namontovaných bez předepsaných opatření přímo na hořlavý podklad.

Graf ukazuje, kolik procent všech požárů mají za následek závady na elektroinstalaci a kolik z nich by mohlo AFDD zabránit. Je jasné, že rok po uvedení této novinky na trh se nic podstatného nezmění, protože stará instalace, které ho nemají, budou pořád a nikdo se nebude obtěžovat na tom nic měnit, ale v dlouhodobém horizontu bude těchto instalací ubývat a nových bezpečných bude přibývat.

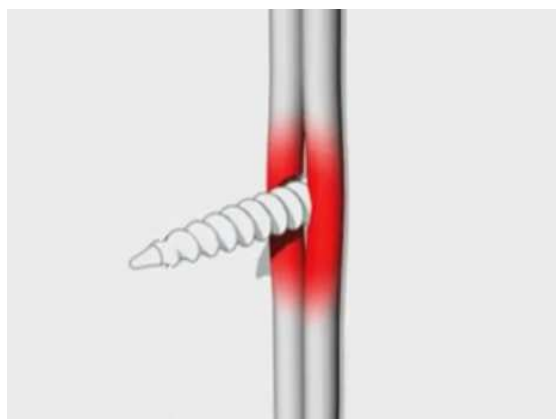
Podíl vytipovaných příčin vzniku požáru na celkovém počtu požárů v domácnostech



Obr. 2.3. – Graf příčin vzniku požáru v domácnostech

## 2.3 Typy poruch na vedení a spotřebičích

Při montáži elektroinstalace a nejen při ní se může i sebemenší nepozorností stát celkem dost velké množství různých chyb, která se mohou časem a četností užívání stát fatálními. Protahováním kabelů mezi plechovými profily pro sádkartonové stěny se můžou kabely někde zachytnout a poškodit si izolaci, jedná se o celkem závažnou poruchu na elektroinstalaci, kterou bohužel nejsme úplně schopni identifikovat okamžitě, ale s postupem času se chyba přihlásí sama. V tom dobrém případě jen přerušením (přepálením vodičů), v tom horším případě nějakým požárem. Požárů vzniklých vadnou elektroinstalací je poměrně hodně. A takových různých vad, které nám nejsou pouhým okem patrné, je více. Řekněme si o nich tedy něco více i s názornými obrázky (viz. obr. 2.4 až 2.12).



Obr. 2.4. – Provrtání kabelů

Zde máme provrtané dva kabely vrtem například v dřevěné nebo sádkartonové zdi. Taková závada je nenápadná, ale její následky mohou být velmi nebezpečné. Z mé praxe jsem se již setkal s tímto typem skryté závady. Při bourání zdiva byla hmoždinka s vrtem pro příchytka plynu navrtána přesně mezi dva kabely.



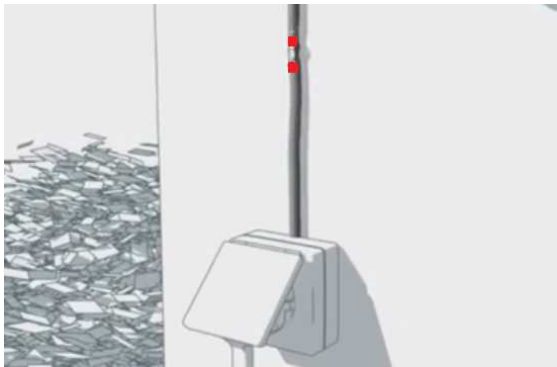
Obr. 2.5. – Přiskřípnutý kabel

Různě přiskřípnuté anebo zalomené kabely můžeme vidět poměrně často. U silových a tedy velmi těžkých kabelů hrozí i riziko poškození izolace vlastní přílišnou hmotností. Stačí jen být při montáži šetrnější.



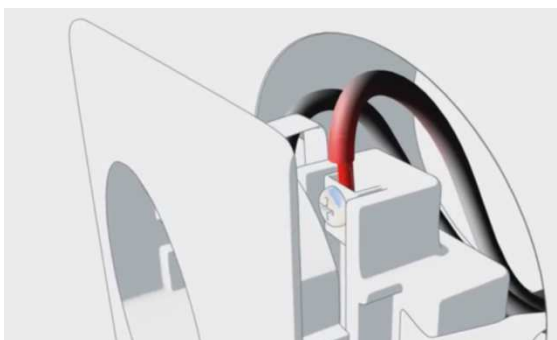
Obr. 2.6. – Prasklá izolace

Jednou z častých závad na kabelech je nedodržení rádiusu ohybu kabelů, izolace nepraskne hned, ale časem a jejím vyhřátím se natrhne.



Obr. 2.7. – Degradace izolace

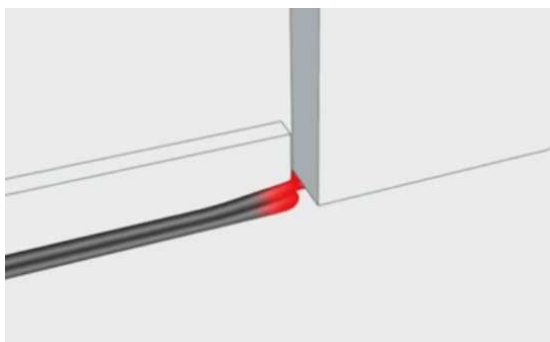
Opálená nebo ztvrdlá a praskající izolace je také příčinou závad na elektrickém vedení. Bohužel, ne vždy je možné se tomuto typu závady vyhnout. Je důležité vedení kontrolovat a při poškození ho vyměnit za nové.



Obr. 2.8. – Povolný vodič

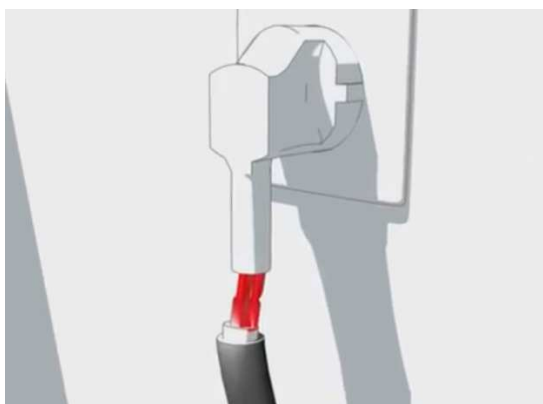
Povolný šroubek v zásuvce (hlavně hliníkové vodiče se často vymačkávaly) je taky jednou z častých závad. Dnes u moderních zásuvek s navlékacími kontakty místo šroubových by již k této závadě docházet nemělo, ale již jsem se v praxi setkal se špatně navlečeným kontaktem.





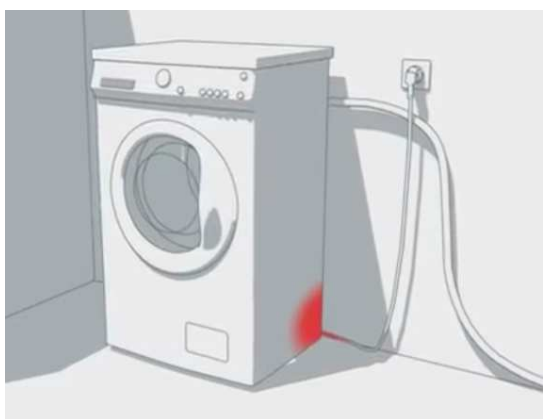
Obr. 2.9. – Přiskřípnutý kabel

Tohle je přednostně chybou domácností a též kancelářských prostorů kde se nacházejí různě položené prodlužovací přívody a jsou přimáčknuty například dveřmi, nábytkem nebo víkem od podlahových zásuvek.



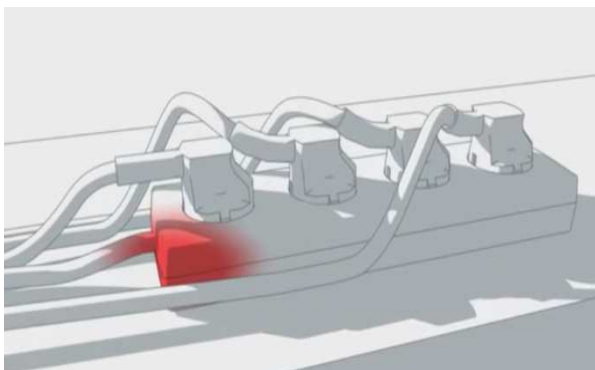
Obr. 2.10. – Prasklá izolace

Opět jedna z klasických závad především u starých spotřebičů, která je zapříčiněná špatným vytahováním zástrček ze zásuvek. Vodiče bez druhé přídavné izolace se snadno překrutí až dojde k porušení i základní izolace a hrozí riziko úrazu elektrickým proudem.



Obr. 2.11. – Závada spotřebiče

Do spotřebičů nevidíte a nevíte co se v nich děje, riziko hrozí hlavně u tepelných spotřebičů.



Obr. 2.12. – Vadný prodlužovací přívod

Přednost českých kanceláří, prodlužovací přívod na prodlužovací přívod a vlivem vysokého proudu dojde k přehřátí a případnému roztavení izolace. Prodlužovací přívody patří mezi jednu z nejvíce nebezpečných věcí, a proto je norma nařizuje revidovat po půl roce v dílnách a po roce v kancelářských prostorech.

## 2.4 Varianty AFDD pro evropský trh

Prvním hráčem na evropském trhu v oblasti AFDD je firma Siemens. Ta již nabízí k prodeji dvě varianty AFDD a to variantu pro jistič a variantu pro kombinaci jističe a proudového chrániče. Vše v provedení pro jmenovitý proud 16A, tedy pro zásuvkové okruhy. Časem se určitě dočkáme i variant se silnějšími kontakty a určitě i pro tří fázové jističe.



Obr. 2.13. – Ukázka AFDD

Ostatní výrobci zatím na evropském trhu nic nenabízí, nicméně věřím, že po ukotvení termínu v evropských normách se pomalu začne trh zaplňovat různými variantami a půjde dolů i cena aby používání těchto zařízení bylo vůbec nějak reálně možné.

Ve Spojených Státech Amerických se již toto zařízení používá delší dobu a například společnost Eaton ho nabízí pro Americký trh, nejspíš tedy pro ně nebude problém ho lehce přepracovat podle evropských norem a nabízet ho na evropském trhu.

## 2.5 Rozšiřování zařízení a implementace do norem

Dnes již existuje norma ČSN EN 62606 (Obecné požadavky na obloukové ochrany) platná ze dne 1.8.2014 která se o zařízení AFDD zmiňuje a definuje jeho funkci, instalaci, zkoušení a všechny jeho parametry, které jsou nutné pro jeho výrobu ale také pro jeho implementaci do reálných instalací. Norma je poměrně rozsáhlá, její výklad je na 150 stran. Zajímavá ukázka normy je tabulka, která nám definuje mezní hodnoty pracovních kritérií pro AFDD při různých proudech oblouku.

### 5.3.7 Mezní hodnoty pracovních kritérií pro AFDD pro nízké a vysoké proudy oblouku

#### 5.3.7.1 Mezní hodnoty pracovních kritérií pro AFDD při nízkých proudech oblouku do 63 A

Tabulka 1 – Mezní hodnoty celkové doby vypínání pro AFDD s  $U_n = 230$  V

Zkušební proud oblouku (efektivní hodnoty)	2,5 A	5 A	10 A	16 A	32 A	63 A
Maximální celková doba vypínání	1 s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12 s	0,12 s

POZNÁMKA Nízké proudy oblouku se mohou vyskytnout v důsledku poruch izolace fáze proti zemi nebo vytvoření sériového oblouku.

Pokud zkušební proud, jemuž je AFDD vystavena, nemá jednu z hodnot uvedených v tabulkách 1 nebo 2, přípustná celková doba vypínání musí být stanovena lineární interpolací mezi hodnotami celkové doby vypínání nad a pod skutečným zkušebním proudem.

#### 5.3.7.2 Mezní hodnoty pracovních kritérií pro AFDD při vysokých proudech oblouku nad 63 A

Tabulka 3 – Maximální dovolený počet půlperiod hoření oblouku během 0,5 s pro AFDD s  $U_n = 230$  V

Zkušební proud oblouku <sup>a</sup> (efektivní hodnoty)	75 A	100 A	150 A	200 A	300 A	500 A
N <sup>b</sup>	12	10	8	8	8	8

<sup>a</sup> Tento zkušební proud je předpokládaný proud před hořením oblouku ve zkušebním obvodu.  
<sup>b</sup> N je počet půlperiod při jmenovitém kmitočtu.

POZNÁMKA Vysoké proudy oblouku se mohou vyskytnout v důsledku poruch izolace fáze proti zemi nebo vytvoření paralelního oblouku.

Obr. 2.14. – Výtah z normy

Norma nám zatím nedefinuje, kde se dané zařízení musím používat ani kde je jeho použití doporučováno. Dle mého názoru bude proces jeho implementace do elektrických instalací pozvolný jako v případě proudových chráničů, kde se nejdříve musely používat pro venkovní zásuvky a až po dalším čase na základě platnosti normy ČSN, která to nařizovala, vyšlo vládní nařízení o nutnosti používat proudové chrániče pro koupelny a podobná prostředí až nakonec jak všichni víme, přišlo nařízení o montáži proudových chráničů na všechny zásuvky do jmenovitého proudu 20A užívanými laiky. V praxi se jedná téměř o všechny zásuvky až na pár výjimek. Na druhou stranu tento krok byl tím správným krokem k mnohem bezpečnějším instalacím. Podobným způsobem se dá očekávat i implementace AFDD do instalací našich domů a bytů. Tím určitě i klesne jeho cena, která se dnes pohybuje v řádu tisíců korun za kus.

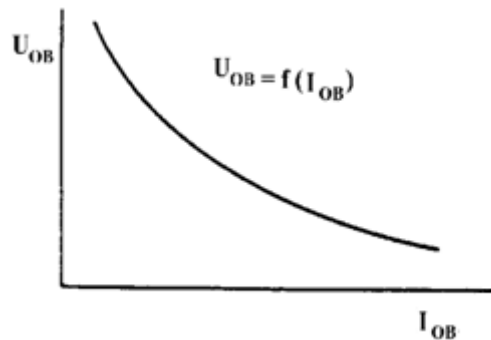
Poměrně vysoká cena těchto přístrojů je též vyvolána značně náročnější konstrukcí AFDD, která vychází z analýzy proudových dějů v síti nízkého napětí za působení různých typů elektrického oblouku. Právě problém rozlišení typu elektrického oblouku, jeho charakter, který může být i doprovodným jevem fungování některých zařízení, připojených na elektrickou síť, činí problém identifikace poruchového oblouku značně komplikovanou záležitostí. Proto je namístě se různými variantami elektrického oblouku a jeho kmitočtového spektra proudu podrobněji zabývat.

## 3.0 Teorie elektrického oblouku

### 3.1 Teorie stejnosměrného elektrického oblouku

#### 3.1.0 Charakteristika stejnosměrného elektrického oblouku

Pro vysvětlení teorie el. oblouku ve střídavé síti musíme nejprve popsat teorii stejnosměrného el. oblouku a tu poté využijeme pro popsání teorie střídavého el. oblouku. Se vzrůstajícím proudem elektrického oblouku má napětí klesající charakter, jak je vidět na obr. 3.1, kde je naznačena Volt-Amperova charakteristika elektrického oblouku.



Obr. 3.1 - V-A charakteristika oblouku

V nízké proudové oblasti je oblouk popsán rovnicí (3.1) a k ní se vztahuje obr. 3.1.

$$U_{OB} = A + Bl + \frac{C + Dl}{I_{OB}} \quad (3.1)$$

kde  $l$  je délka oblouku,  $A, B, C, D$  jsou konstanty.

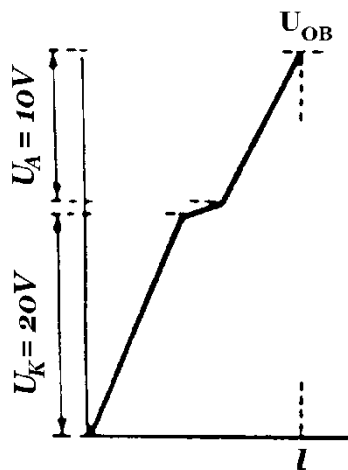
Krátký oblouk je takový oblouk, kdy jeho délka je menší než průměr elektrického oblouku

$$U_{OB} = A + \frac{C}{I_{OB}} \quad (3.2)$$

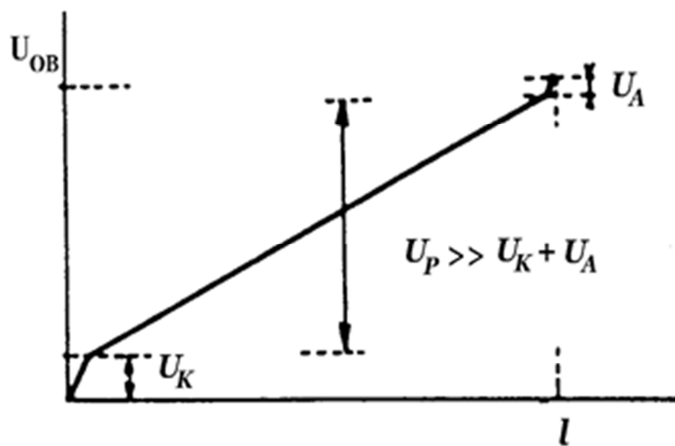
Pro dlouhý oblouk platí vztah

$$U_{OB} = Bl + \frac{Cl}{I_{OB}} \quad (3.3)$$

U dlouhého oblouku je rozhodujícím prvkem napětí na trupu el. oblouku, proti němu je možné katodový a anodový úbytek zanedbat. Průběh napětí na krátkém oblouku je na obr. 3.2 a průběh napětí na dlouhém oblouku je na obr. 3.3.



Obr. 3.2 – Průběh napětí na krátkém oblouku



Obr. 3.3 – Průběh napětí na dlouhém oblouku

Napětí oblouku je dáno součtem katodového, anodového úbytku a napětí na trupu. Celkové napětí na el. oblouku bude

$$U_{OB} = U_K + U_A + U_P \quad (3.4)$$

Při homogenním trupu oblouku si můžeme člen  $U_P$  představit jako součin intenzity elektrického pole a délky trupu oblouku

$$U_P = E \cdot l \quad (3.5)$$

Výkon v el. oblouku je dán součinem napětí na oblouku a proudu tekoucího obloukem. Celý se přemění v teplo a musí se odvést chladicími prostředky. Odvede-li se chlazením výkon  $P_a$ , platí pro ustálený oblouk

$$U_{OB} \cdot I_{OB} = P_a \quad (3.6)$$

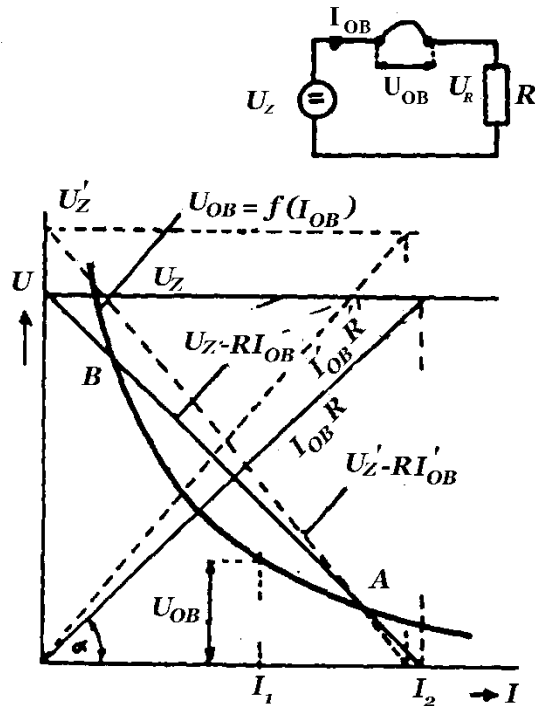
Čím je větší výkon  $P_a$ , tím se při daném proudu objeví na oblouku vyšší napětí. Právě proto při uvádění hodnot voltampérové charakteristiky je důležité definovat, jakým způsobem bude provedeno chlazení el. oblouku.

Proud tekoucí obloukem způsobí na odporu  $R$  zařazeném do série s elektrickým obloukem úbytek napětí  $I_{OB}R$  daný na obr. 3.4 přímkou skloněnou pod úhlem  $\alpha$ , pro nějž platí

$$\operatorname{tg} \alpha \approx R \quad (3.7)$$

Odečteme-li tento úbytek od napětí zdroje  $U_Z$ , dostaneme přímku  $U_Z - I_{OB}R$ . Napětí na oblouku je dáno charakteristikou  $U_{OB}(I_{OB})$ , která je závislá na způsobu chlazení a platí pro konstantní délku oblouku. Je-li proud v oblouku  $I_{OB} = I_1$ , má zdroj přebytek napětí a proud se dále zvětšuje. Naopak, když proud oblouku  $I_{OB} = I_2$ , má zdroj nedostatek napětí a proud se zmenšuje. Jen v průsečíku  $A$  bude oblouk hořet stabilně. Pro průsečík  $A$  platí  $U_{OB} = U_Z - R I_{OB}$ . V bodě je hoření oblouku labilní. Stabilitu oblouku můžeme vyjádřit vztahem.





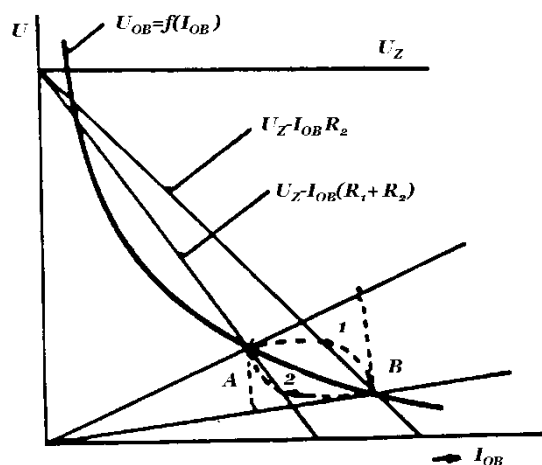
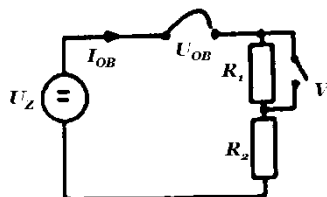
Obr. 3.4 – Stabilita oblouku

$$\chi = \frac{\frac{d(U_Z - U_R)}{dI_{OB}}}{\frac{dU_{OB}}{dI_{OB}}} = \frac{d(U_Z - U_R)}{dU_{OB}} \quad (3.8)$$

V bodě, pro který platí  $U_Z - U_R = U_{OB}$ , hoří oblouk stabilně, pokud  $\chi > 1$ . Jestliže je  $\chi < 1$ , pak v tomto bodě nemůže elektrický oblouk stabilně hořet, přestože platí  $U_Z - U_R = U_{OB}$ . Stabilita hoření je tím větší, čím je větší  $\chi$ . Můžeme ji zvětšit zvýšením napětí zdroje a současně zvětšením předřadného odporu. Přímka  $U'_Z - I_{OB}R'$  bude strmější se záporným sklonem a  $\chi$  se zvětší. Při prodloužení oblouku se charakteristika oblouku bude posouvat k vyšším napětím.

### 3.1.1 Dynamická charakteristika stejnosměrného oblouku

Na obr. 3.5 je nakresleno schéma zapojení, kde je proud tekoucí obloukem omezen dvěma odpory  $R_1$  a  $R_2$ . Ve vypnuté poloze vypínače hoří oblouk v bodě A této charakteristiky.



Obr. 3.5 – Dynamická charakteristika stejnosměrného oblouku

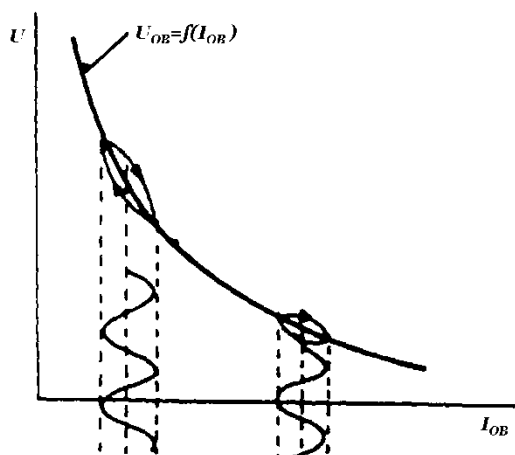
Zapnutím vypínače  $V$  vyřadíme odpor  $R_1$ . Po ustálení se budeme nalézat v bodě  $B$ . Přejít do bodu  $B$  neproběhne po V-A charakteristice el. oblouku, ale po křivce 1 nad statickou charakteristikou oblouku. Přejít z bodu  $B$  do bodu  $A$  se dle očekávání opět neuskuteční po V-A charakteristice el. oblouku, ale po křivce 2 ležící pod statickou charakteristikou oblouku. Tento jev je možné vysvětlit tím, že ionizace výbojové dráhy el. oblouku závisí na velikosti proudu. Při rychlé změně proudu je vždy potřeba určitého času, aby se mohl stav ionizace přizpůsobit stávajícím podmínkám. Z tohoto důvodu je přechodová dynamická charakteristika odlišná. Při rychlém zvětšení proudu odpovídá ionizace předchozímu menšímu proudu. Rychle rostoucí proud na ní způsobí větší úbytek, takže dynamická charakteristika pro zvyšování proudu leží nad statickou charakteristikou.

Při zmenšení proudu je tomu naopak, tedy proud rychle klesá, ale ionizace neklesá stejně rychle. Jak velký je rozdíl dynamické charakteristiky oblouku od V-A charakteristiky oblouku záleží na rychlosti změny proudu. Pro skokovou změnu proudu se oblouk chová po dobu změny jako konstantní odpor a pohybujeme se po přímce konstantního odporu procházející výchozím bodem. Tím je dána jedna hranice prostoru, v níž budou ležet dynamické charakteristiky oblouku. Druhou hranicí je statická charakteristika, jež platí pro nekonečně pomalé změny.

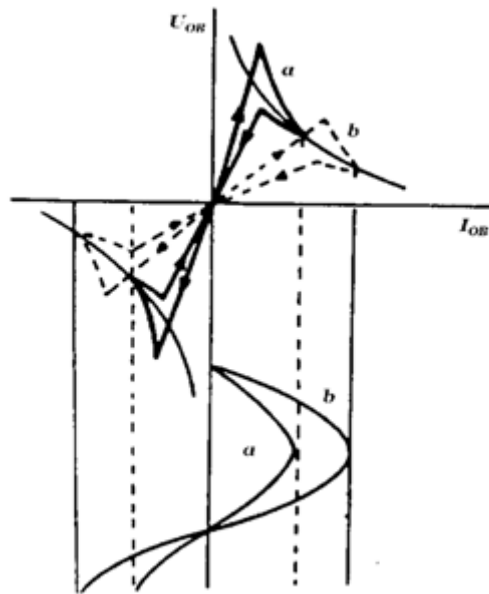
## 3.2 Teorie střídavého elektrického oblouku

### 3.2.0 Charakteristika střídavého elektrického oblouku.

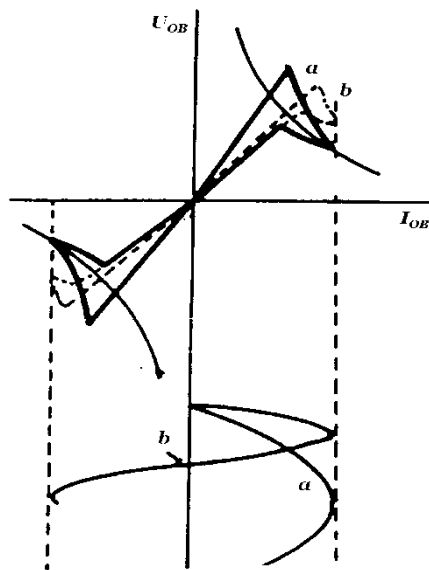
Po teorii stejnosměrného el. oblouku se snadno přejde na teorii střídavého el. oblouku. Podobně jako v předchozí teorii bude při zvětšování proudu charakteristika ležet nad V-A charakteristikou, při zmenšování proudu bude ležet pod ní. Při malé frekvenci se ve vrcholu proudu bude blížit k V-A charakteristice. Na obr. 3.6 je dynamická charakteristika oblouku napájeného střídavým proudem nízkého kmitočtu superponovaného na stejnosměrnou složku proudu. Na obr. 3.7 je dynamická charakteristika pro různě velké střídavé proudy. Charakteristika střídavého oblouku leží v protilehlých kvadrantech a její tvar závisí na kmitočtu proudu oblouku a na působení na oblouk. Na obr. 3.8 je dynamická charakteristika oblouku pro různé kmitočty proudu.



Obr. 3.6 – Dynamická charakteristika střídavého oblouku



Obr. 3.7 – Dynamická char. oblouku pro různě velké střídavé proudy



Obr. 3.8 - Dynamická char. oblouku pro různé kmitočty střídavého proudu

Na obr. 3.9 je průběh napětí na střídavém oblouku pro jednu půlperiodu střídavého proudu pro různé způsoby chlazení oblouku. Je patrné, jak moc nám chlazení ovlivňuje výkon el. oblouku.



Obr. 3.9 – Chlazení oblouku

### 3.2.1 Teorie střídavého oblouku

Při řešení vypínání elektrického oblouku je důležitá závislost parametrů určující vlastnosti oblouku. Nejčastěji vycházíme z předpokladu, že proud obloukem známe a ostatní parametry stanovíme jako jeho funkci. Pro oblast v okolí nulové hodnoty proudu je výhodná Mayrova teorie a pro oblast hoření oblouku teorie Cassieho. Obě teorie vycházejí z formálně stejných diferenciálních rovnic, ovšem řeší je s odlišnými představami o odvodu ztrát z oblouku.

	<b>Mayr:</b>	<b>Cassie:</b>
<i>Vodivost oblouku:</i>	změnou stupně ionizace	změnou rozměrů oblouku
	$G \propto \exp\left(\frac{Q}{Q_0}\right)$	$G \propto Q$
<i>Tepelné ztráty:</i>	tepelnou vodivostí	tepelným prouděním
	$\Delta P = P_d(const)$	$\Delta P \propto Q$
<i>Dynamické charakteristiky</i>		
	$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\tau} \left( \frac{u_a i}{P_d} - 1 \right)$	$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\tau} \left( \frac{u_a^2}{u_{as}^2} - 1 \right)$
	oblast malého proudu	oblast velkého proudu

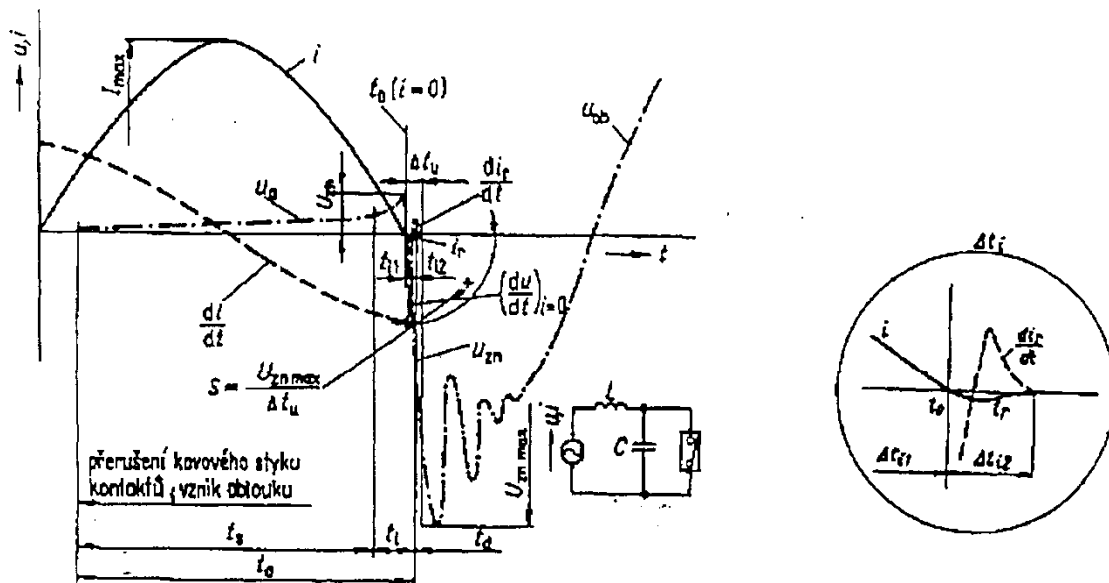
Pro nás je směrodatná Mayrova teorie, protože se budeme pohybovat v oblasti malých proudů.

### Mayrova rovnice oblouku

Mayrova teorie je základní teorie pro popis oblouku v okolí nuly proudu. Výchozí rovnicí je základní bilanční rovnice dynamického oblouku.

$$\frac{dQ}{dt} = u_a i - P_d \quad (3.9)$$

kde  $Q$  je tepelný obsah oblouku,  
 $u_a$  napětí na oblouku,  
 $i$  proud oblouku,  
 $P_d$  ztráty odváděné z oblouku do okolí



Základní časové intervaly vypínacího pochodu:  $t_s$  - silnoproudý interval,  $t_i$  - interakční interval,  $t_{11}$  - interval výrazné změny obloukového napětí,  $t_{12}$  - interval zbytkového proudu,  $t_a$  - dielektrický interval,  $t_d$  - doba hoření oblouku,  $i$  - proud,  $i_r$  - zbytkový proud [1].

Obr. 3.10. – Základní časový interval vypínacího pochodu

Základní tvar Mayrovy rovnice je

$$\frac{1}{G} \frac{dG}{dt} = \frac{1}{\tau} \left( \frac{u_a i}{P_d} - 1 \right) \quad (3.10)$$

kde

$$\tau = \frac{Q_S}{P_d} \quad (3.11)$$

je časová konstanta oblouku.

Výsledná rovnice, spolu s předpoklady řešení, vyhovuje pro popis oblouku v interakčním intervalu. V tomto intervalu po průchodu proudu nulou prochází poobloukovým sloupcem zbytkový proud. V okamžiku průchodu proudu nulou je zbytkový sloupec namáhán zotaveným napětím

$$u_{zN} = S \cdot t \quad (3.12)$$

kde  $S$  je strmota nárůstu zotaveného napětí. Dosazením z předchozích rovnic do původní diferenciální rovnice dostaneme

$$\frac{1}{G^2} \frac{dG}{dt} + \frac{1}{\tau} \frac{1}{G} = \frac{1}{\tau P_d} u^2(t) \quad (3.13)$$

a po úpravě

$$\frac{d\left(\frac{1}{G}\right)}{dt} - \frac{1}{\tau} \frac{1}{G} = -\frac{1}{\tau P_d} u^2(t) \quad (3.14)$$

Řešení této diferenciální rovnice je

$$\frac{1}{G} = e^{\frac{t}{\tau}} \left[ -\frac{1}{\tau P_d} \int_0^t e^{-\frac{t}{\tau}} u^2(t) dt + G_0 \right] \quad (3.15)$$

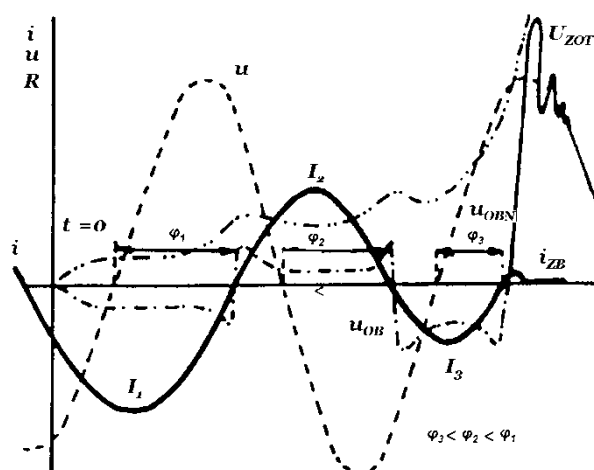


### 3.2.2 Zhášení střídavého oblouku

Zhášení střídavého oblouku je mnohem snadnější než zhášení stejnosměrného oblouku. Při vypínání střídavého oblouku není nutno potlačovat proud na nulovou hodnotu, protože každou půlperiodu prochází nulovou hodnotou a energie se přesouvá mezi indukčností a zdrojem. Je nutné vytvořit v obvodu takové podmínky aby pro tomto průchodu nulovou hodnotou se el. oblouk nezačal opět obnovovat.

### 3.2.3 Vypínání střídavého oblouku v obvodech nízkého napětí

V nízkonapětových obvodech bývá elektrický odpor trupu oblouku řádově stejný jako odpor vypínaného obvodu a nelze jej zanedbat, napětí na oblouku je řádově stejné jako napětí zdroje. Musíme však přihlížet k dějům v nule proudu, tj. k vzrůstající mezikontaktní pevnosti po průchodu proudu nulou a uhasnutí oblouku. Na obr. 3.14. jsou průběhy proudů a napětí při vypínání střídavého proudu nízkého napětí. Do rozpojení kontaktů  $t = 0$  protéká obvodem proud  $i$  daný veličinami obvodu ( $U, R, L$ ). V okamžiku  $t = 0$  se rozpojí kontakty, vzdalují se, roste odpor oblouku  $R_0$  a napětí oblouku  $U_{OB}$ . Rostoucí odpor při zhášení způsobí zmenšování amplitudy proudu a zmenšení fázového posunu mezi proudem obvodu  $i$  a napětím zdroje.



Obr. 3.11 – Vypínání střídavého oblouku

Při prvním a druhém průchodu proudu nulou nejsou splněny podmínky pro zhasnutí oblouku a proto se oblouk znovu zapaluje a stále hoří. Při třetím průchodu nulou jsou již podmínky vyhovující, oblouk zhasne a znovu se nezapálí, proud v obvodu se definitivně přeruší a obvod je vypnut. Po dobu existence zbytkové vodivosti mezikontaktního prostoru může tímto prostorem protékat velmi malý zbytkový proud.

## 3.3 Analýza frekvenčního spektra proudu

### 3.3.0 Frekvenční spektrum proudu

Detektor elektrického oblouku v síti nízkého napětí vyhodnocuje oblouk na základě frekvenčního spektra proudu a tedy jedním z požadavků na naše zařízení je umět analyzovat vyšší frekvence v obvodu nízkého napětí. Klasicky se k tomu používá analýza vyšších harmonický neboli tzv. Fourierova analýza, na základě rozkladu neharmonické funkce na řadu harmonických funkcí.

### 3.3.1 Fourierova řada

Fourierova řada je založena na rozkladu neharmonického periodického signálu na součet sinovek a kosinusovek, jejichž úhlová frekvence, je celočíselným násobkem základní frekvence původního signálu. Obecně to můžeme napsat následujícím způsobem:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n A_k \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) + B_k \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t),$$

kde  $f(t)$  je původní periodický signál, jehož základní frekvence je  $\omega$ , a  $A_k$  a  $B_k$  jsou takzvané koeficienty Fourierovy řady.

Tyto koeficienty jsou dány vztahem:

$$A_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t) dt,$$

$$B_k = \frac{2}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \cos(k \cdot \omega \cdot t) dt,$$

kde  $T$  je perioda původního signálu, která se vypočte  $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$ .

Tyto koeficienty v podstatě vyjadřují, jaká je amplituda jednotlivých složek vyšších harmonických v daném signálu. To ovšem pro náš případ není úplně dobré. Problém je, že Fourierova řada může být použita pouze pro periodické signály. V našem případě ale máme

signál sice skoro periodický ale ne zcela, protože tvar signálu v místě průchodu proudu nulou není při působení elektrického oblouku vždy úplně stejný a je v čase proměnný.

Z důvodu rychlého výpočtu jednotlivých frekvenčních složek proudového signálu je nutno použít Fourierovu transformaci. Tuto transformaci lze použít na všechny signály, které jsou spojitě. Vzhledem k tomu, že jsou v obvodu nízkého napětí vždy nějaké indukčnosti a pro napětí na induktoru platí, že:

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt},$$

,kde L je indukčnost cívky [H]

$i_L$  je proud cívkou [A]

$U_L$  je napětí na cívce [V]

Tak pokud by byl proud nespojitý, tak by napětí na cívce v tuto chvíli bylo nekonečné (kladné či záporné, podle typu skoku proudu „nahoru“ nebo „dolů“). Základní vzorec Fourierovy transformace umožňuje vyjádřit obraz časové funkce ve kmitočtové oblasti:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} dt,$$

Zpětná Fourierova transformace z kmitočtové do časové oblasti je dána vztahem:

$$f(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t} d\omega,$$

Fourierovu transformaci lze použít ovšem jen za jistých podmínek:

1. Signál musí být absolutně integrovatelný. To znamená, že musí platit:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)| dt < \infty$$

2. Splňuje-li tzv. Dirichletovy podmínky, které říkají, že má-li na každém konečném časovém intervalu konečný počet maxim a minim pak po aplikaci přímé a zpětné Fourierovi transformace obdržíme původní signál.

Po použití Fourierovy transformace dostaneme funkci (tzv. spektrální funkci), která říká, jak je která frekvence zastoupena v daném signálu. A to je přesně to, co potřebujeme.

### 3.3.2 Diskrétní Fourierova transformace

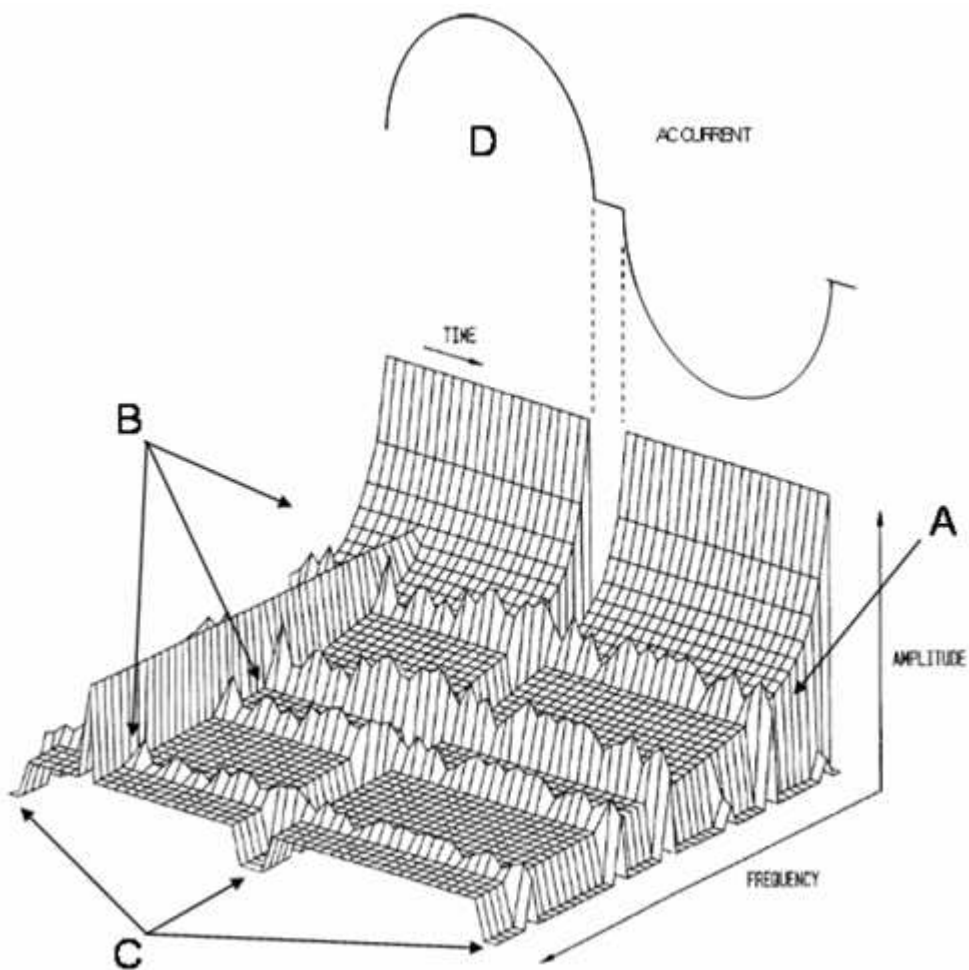
V případě počítačového zpracování signálů máme k dispozici vždy jen vzorky funkce  $f(t)$  v diskrétních časových okamžicích (tyto tvoří originální posloupnost  $\{f_i\}_{i=-\infty}^{\infty}$ ). Zavádíme tedy tzv. diskrétní Fourierovu transformaci, kterou dostaneme formálním nahrazením integrálu integrálním součtem s dělením odpovídajícím periodě vzorkování  $T_1$  (zpravidla se volí ekvidistantní okamžiky). Definiční vztah pro diskrétní Fourierovu transformaci tedy je

$$F_k = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_i \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot k_i \cdot T_1}$$

Tuto transformaci používá náš analyzátor signálu, který vzorkuje proudový signál a na základě diskrétní Fourierovy transformace počítá kmitočtové složky proudového spektra.

### 3.3.3 Frekvenční spektrum proudu elektrického oblouku

V elektrickém obvodu, ve kterém je vlivem poruchy vyvolán příčný nebo podélný elektrický oblouk se objevují proudy o frekvenci až v jednotkách MHz. Právě detektor AFDD na základě diskretní Fourierovy transformace vyhodnocuje, jestli je frekvenční spektrum proudu vyvoláno skutečně elektrickým obloukem nebo spotřebičem, který takové frekvenční rušení vyvolává sám. Na obrázku 3.15 je vidět frekvenční spektrum proudu v čase při elektrickém oblouku v síti nízkého napětí.

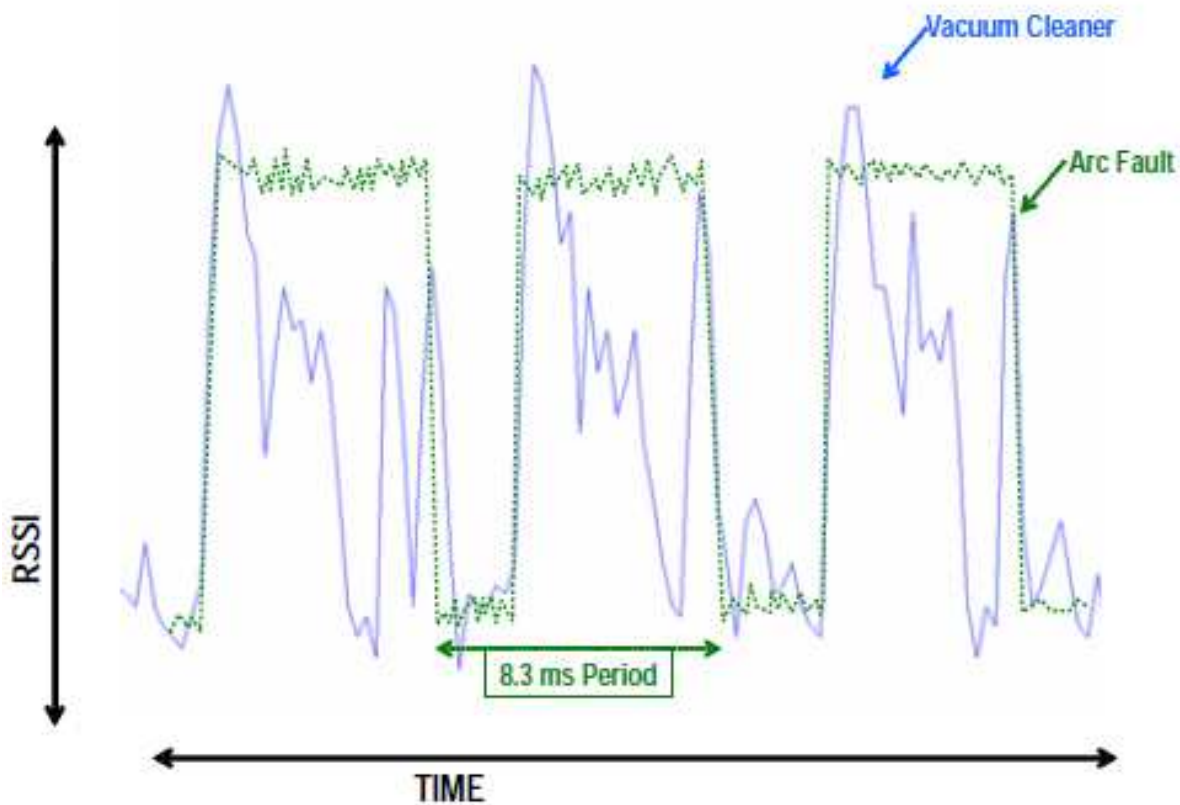


Obr. 3.12 – Frekvenční spektrum proudu při elektrickém oblouku

- A – Širokopásmové frekvenční spektrum generované elektrickým obloukem
- B – Označuje diskretní radiové frekvence
- C – Poukazuje na místa útlumu frekvenčního spektra v blízkosti průchodu nulou
- D – Průběh střídavého proudu

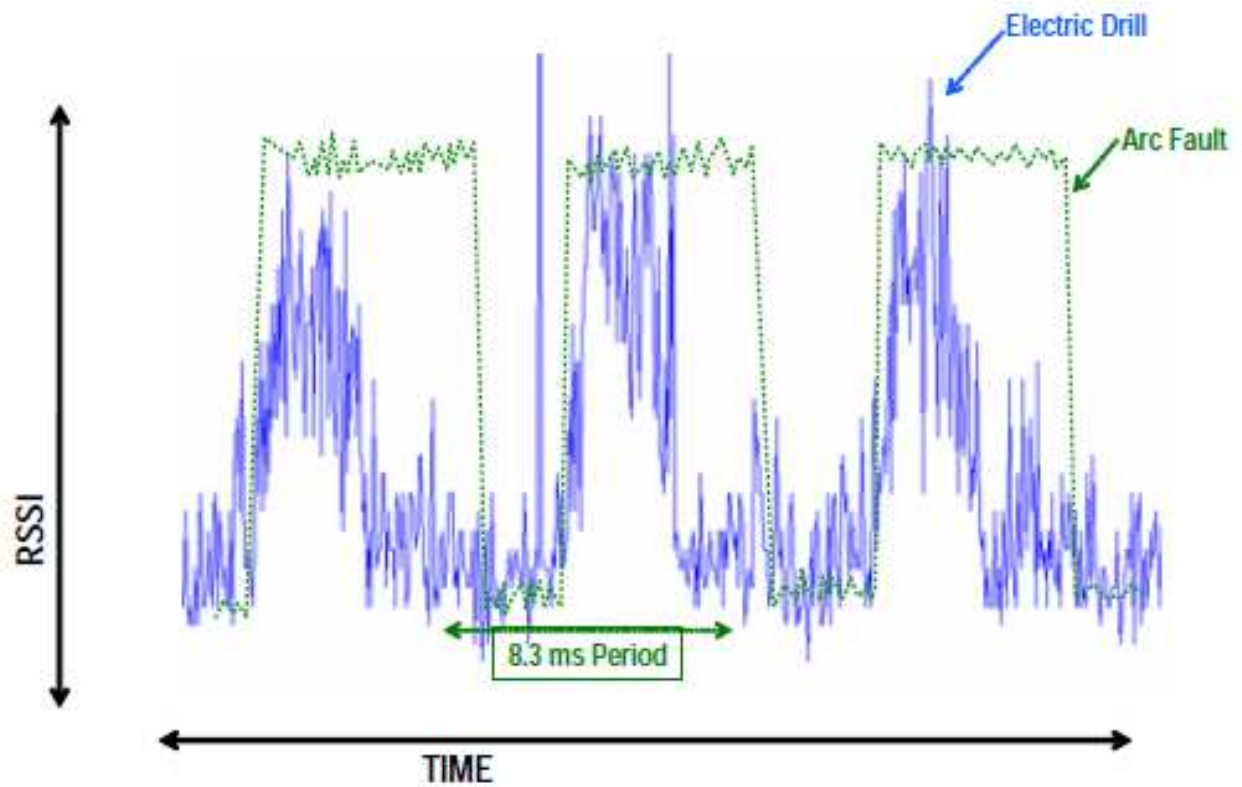
Na následujících obrázcích 3.16 a 3.17 je zobrazeno frekvenční spektrum proudu pro různé spotřebiče. Na obrázcích je názorně vidět jak některé spotřebiče se svým spektrem přibližují spektru elektrického oblouku.

Na obrázku 3.16 je porovnání spektra vysavače se spektrem elektrického oblouku, je patrné, že rozdíl obou průchodů není odlišný natolik, aby bylo snadné ho pro AFDD rozeznat.



Obr. 3.13 – Porovnání spektra vysavače a elektrického oblouku

Na obrázku 3.17 je porovnání spektra elektrické vrtačky a elektrického oblouku, opět je spektrum dosti shodné. Z následujících obrázků je patrné, jak náročné je tedy vyhodnocování frekvenčního spektra, aby AFDD nevybavovalo v případech kdy to není nutné.



Obr 3.14 - Porovnání spektra elektrické vrtačky a elektrického oblouku

## 4.0 Princip činnosti AFDD

### 4.1 Dosavadní stav techniky

Je známo, že chyby elektrických rozvodných soustav mohou produkovat Joulovo teplo o takové intenzitě, která je schopna zažehnout požár. Elektrické proudy přitom jsou hluboko pod hodnotami, na které jističe standardně reagují a chrání distribuční sítě, tedy hlavně jejich vedení. Bylo vytvořeno několik typů těchto jističů schopných detekce elektrických oblouků. Problém je ale umocněn tím, že existují normální zátěže produkující účinky, které jsou podobné těm při poruchách elektrického oblouku. Jeden z přístupů k řešení tohoto problému spočívá v tom, že elektrický oblouk vytváří širokopásmový šum. Mnoho detektorů poruch elektrického oblouku reaguje na vysoké frekvence, nebo radiové frekvence, které obsahují tento šum cca nad 1 MHz. Tyto detektory často reagují na vysokofrekvenční šumové signály ve snaze odlišit poruchy vyvolané elektrickým obloukem od jiných jevů. Například, chyby vzniklé při nízkém napětí (zejména paralelních oblouků) mohou být přerušované, což vede k systematickému narušování a zahřívání materiálu vlivem jevu nazývaného sputtering (postupné vytváření vodivé cesty). Náhodnost vysokofrekvenčního šumu je jedna z typických kritérií pro detekci poruchy elektrického oblouku. Další charakteristiky šumu vysokých frekvencí, které detektory chyb elektrického oblouku používají, zahrnují klidové doby v distribuci energie šumu atd. Moderní sofistikované detektory oblouku tohoto typu, používají k analyzování šumu mikroprocesor. Dalším problémem je, že mnoho zatížení na typickém systému rozvodu elektrické energie jako jsou televizory, mají kapacitní filtry na jejich vstupu, které tlumí radiofrekvenční rušení, a tím maskují rušení vyvolané obloukem.

Ostatní zařízení pro detekci elektrického oblouku, hledají skokové zvýšení proudu způsobené, při každém zažehnutí elektrického oblouku. Taková zařízení nejsou ovlivněna kapacitními filtry na zátěži, ale chyba na nich může být falešně vyvolána zatížením, které vytvářejí periodické děje, například při použití stmívací jednotky, které pracují na principu deformace sinusového signálu, aby dosáhly výsledného setmění světelného zdroje.



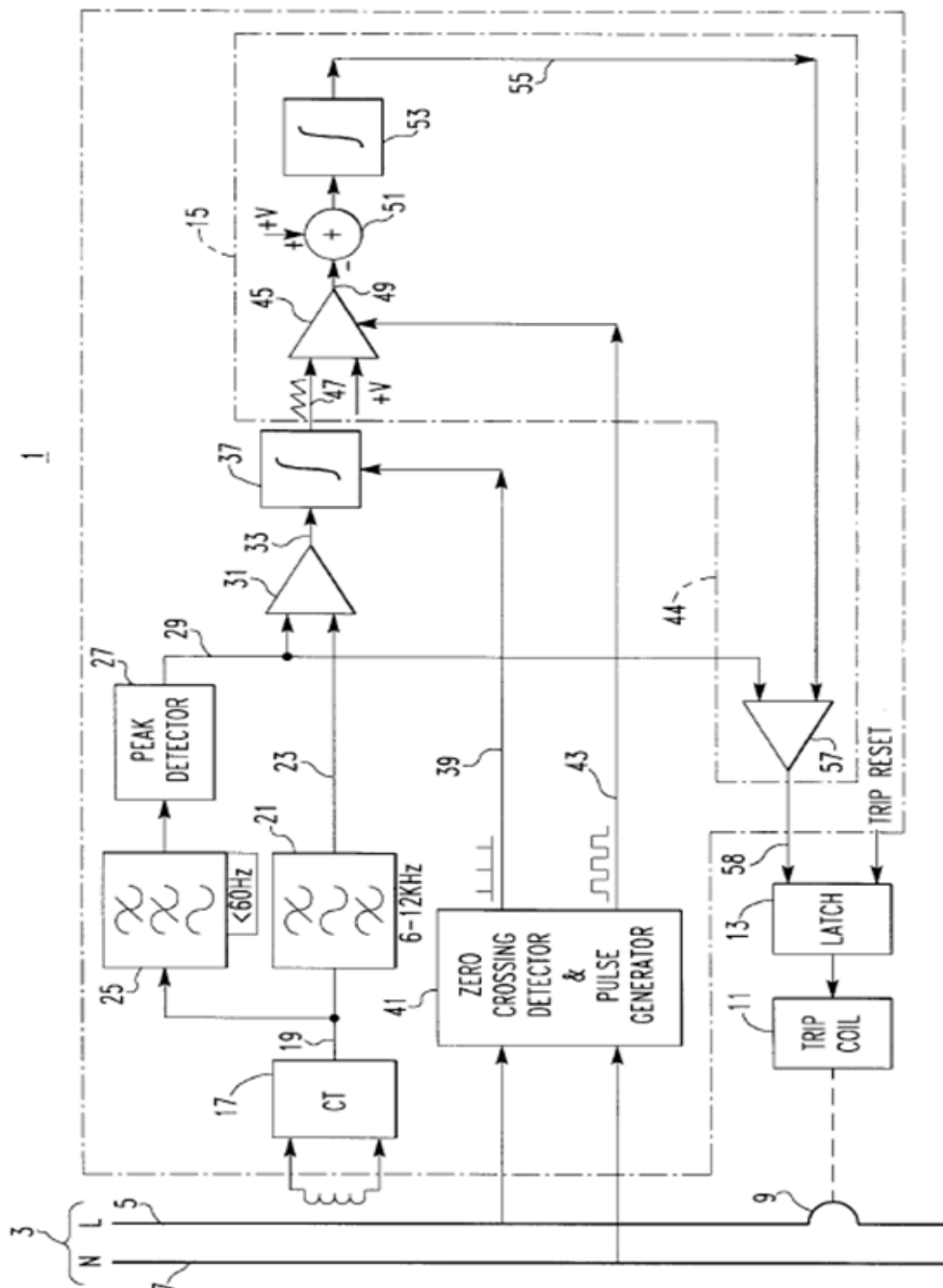
Je zde prostor pro zlepšení detektorů poruch elektrických obvodů. Konkrétně je potřeba zlepšit zařízení pro detekci poruch elektrických obvodů, které nebudou citlivé na maskování vysokými frekvencemi přerušovaného proudu kapacitními filtry v zařízeních, která jsou připojené k chráněnému rozvodu elektrické energie. Také je potřeba, aby zařízení nebylo citlivé na falešné vybavení jinými jevy. Důležité také je, aby tyto přístroje byly cenově dostupné a spolehlivé.

Tyto a další požadavky jsou splněny v tomto vynálezu, který je zaměřen na zařízení pro detekci elektrického oblouku. Tyto detektory sledují přítomnosti šumu nízké frekvence po zvolenou dobu a pro volitelné množství cyklů střídavého proudu. Konkrétněji přístroj obsahuje filtr typu pásmové propusti, který generuje nízkofrekvenční pásmo v okolí základního kmitočtu napájecí sítě, šířka tohoto pásma má frekvenční rozsah, který leží pod rádiovými frekvencemi, které bývají zeslabeny kapacitní filtrací v některých zařízeních, která se používají v elektrických rozvodných sítích. Tento rozsah je nad měřitelným harmonickým průběhem napájecího napětí a zároveň pod frekvencí komunikačního systému na elektrické síti. Propustné pásmo je přibližně 3 až 20 kHz a nejuhodněji přibližně 6 kHz až 12 kHz. Zařízení dále obsahuje pomocné obvody, které vytvářejí orientační signál v případě, že nízkofrekvenční šířku pásma omezuje proudový signál, který překročí zvolenou hranici po dobu zvoleného počtu cyklů střídavého proudu. Přednostně se prahová hodnota signálu volí tak, aby byla funkcí amplitudy základní složky střídavého proudu v distribučním systému elektrické sítě nn.

## 4.2 Popis vnitřního zapojení AFDD

### 4.2.0 Blokové schéma

Plného pochopení zařízení lze docílit pomocí následujícího popisu funkce AFDD a využitím analogového zpracování proudového signálu elektrického oblouku, které je popsáno v této kapitole.



Obr. 4.1 - Schéma AFDD v blokové formě, obsahující jednotku vypínající obvod při vzniku elektrického oblouku.

Jak je znázorněno na obr. 1, AFDD 1 poskytuje ochranu pro distribuční soustavy elektrické sítě nn 3, která zahrnuje fázový vodič 5 a střední pracovní vodič 7. Jistič 1 obsahuje oddělitelné kontakty 9 přivedené do fázového vodiče 5. Oddělitelnými kontakty 9 se jistič vypne otevřením vypínací cívky 11 aktivované západky 13. V souladu s tímto zařízením, západka může být provozována na detekční jednotce obloukového zkratu 15 pro vypnutí otevřením oddělitelných kontaktů. I když to není znázorněno, jistič také zahrnuje tepelně-magnetickou vypínací jednotku nebo elektronickou vypínací jednotku, která poskytuje běžnou nadproudovou vypínací jednotku a ochranu proti zkratu pro distribuční soustavy elektrické energie 3.

Detekční jednotka poruch vlivem elektrického oblouku 15 obsahuje proudový senzor, který je v ukázkovém provedení tohoto zařízení proudový transformátor 17, který generuje signál snímaného proudu 19 reprezentující proud, který teče v distribuční soustavě elektrické sítě nn 3. Signál snímaného proudu 19 prochází pásmovou propustí 21, která jak bude vidět, se skládá z dolní propusti a horní propusti filtrovaných prvků s hraniční frekvencí 12 kHz a 6 kHz. Prvek horní propusti účinně blokuje základní a všechny měřitelné harmonické složky výkonu signálu 50 Hz, zatímco prvek dolní propusti blokuje radiové frekvence rušení a jakýkoli nosného signálu z komunikačního systému fungujících na elektrické síti, který může fungovat na fázovém vodiči a na středním pracovním vodiči 5 a 7. Výstupem pásmová propusti 21 je nízká frekvence s omezenou šířkou pásma proudového signálu 23, která je citlivý na jiskření ve vlnové podobě střídavého proudu.

Zachycený proudový signál 19 také prochází filtrem dolní propustí 25 s hraniční frekvencí 80 Hz. Poté prochází přes detektor píků 27, kde dochází ke generování signálu 29 úměrnému amplitudě střídavého proudu na vedení 5 a 7. Tento signál 29 je použit k výběru prahové signálu, na kterém nízkofrekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 je porovnávána v komparátoru 31. Když nízkofrekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem překročí prahový signál 29, výstup komparátoru 31 přejde do jedničky. Přiměřený prahový signál 29 amplitudy základní složky připojené k elektrické síti je zvolen tak, aby výstup komparátoru 31 přešel do jedničky, je-li nízká frekvence šířky pásma omezující proudový signál vyplývající z jiskření. Jak je možné vidět, tato prahová úroveň se mění s amplitudou. Signál 33 na výstupu komparátoru 31 je fixovaný amplitudový signál, který

zůstává na jedničce, dokud je nízkofrekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 nepřekročí prahovou hodnotu signálu 29. Doba trvání dokud nízkofrekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem nepřekročí práh, se měří pomocí integrátoru 37, který začlení fixovaný amplitudový signál 33. Integrátor 37 se resetuje pulzním signálem 39 na konci každého cyklu, generovaného detektorem nuly a pulzním generátorem 41. Impulzy z pulsního signálu 39 jsou generovány na přechodu nuly při vlně střídavého proudu na vedení 5 a 7.

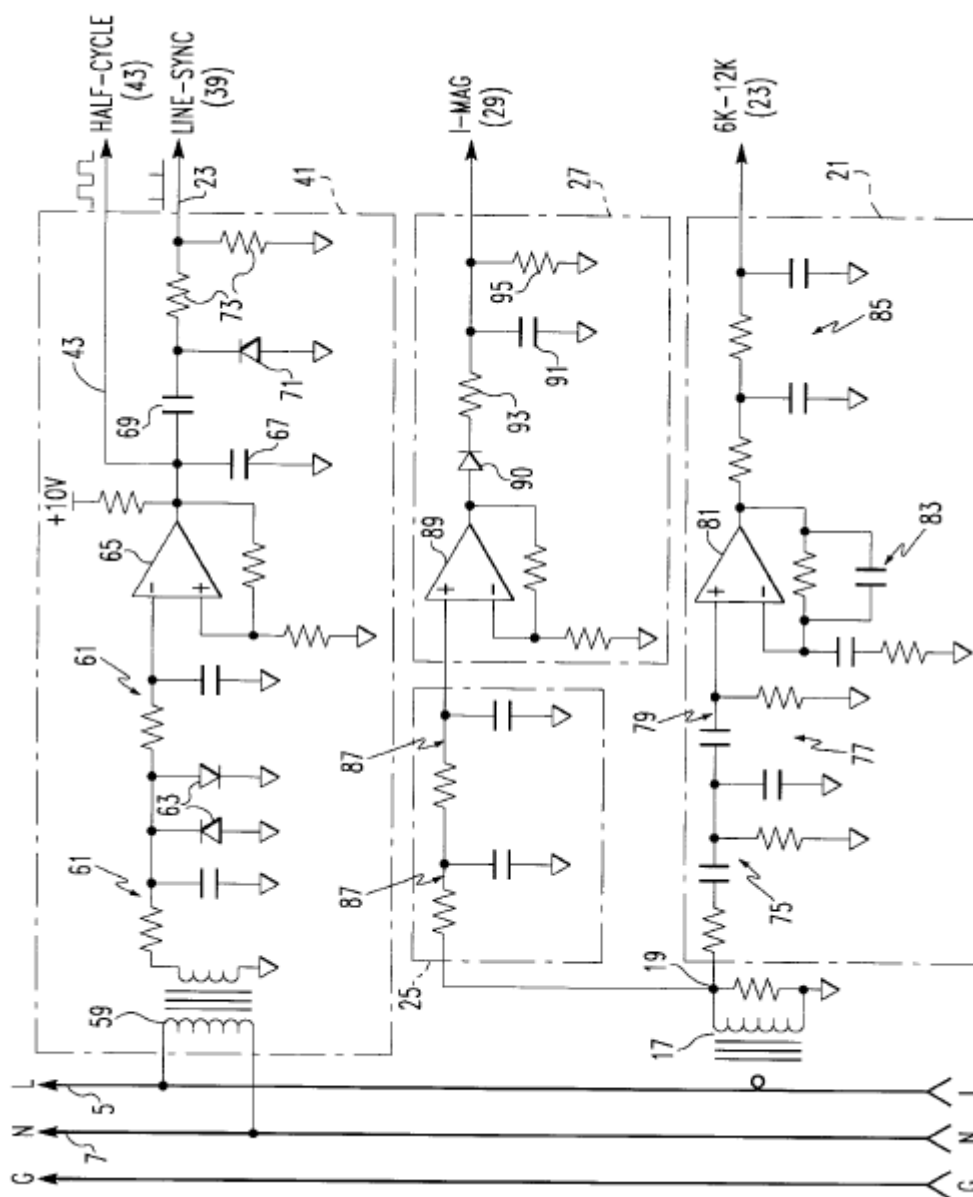
Odezva obvodu 44 zahrnuje synchronní komparátor 45, který pomocí integrátoru 37 srovnává výstup integrovaného signálu 47 s pevným prahovým napětím + V. Výstup synchronního komparátoru 45 je potvrzen, když integrovaný signál 47 překročí referenční napětí + V, což znamená, že integrátor 37 zjistil významnou energii oblouku během předchozího cyklu linky. Srovnání probíhá na náběžné hraně hodinového signálu 43. Výstup 49 synchronního komparátoru 45 bude uplatněn na část cyklu vlny střídavého proudu určené pracovním cyklem hodinového signálu 43. Proto je vidět že synchronní komparátor 45 generuje impuls 49 fixované amplitudy a trvání každé předchozí poloviny cyklu vlny střídavého proudu, v níž nízkofrekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí prahový signál po předem stanovenou dobu trvání cyklu určeného napětím + V.

Pevné impulzy 49 generované synchronním komparátorem 45 jsou aplikovány na součtový zesilovač a integrátor 53. Integrátor je napájen pevným napětím +V připojeným na + vstup součtového zesilovače 51. Každý puls 49 generovaný synchronním komparátorem 45 se aplikuje v negativním smyslu k integrátoru 53. Tudiž, výstup integrátoru 53 je obvykle jednička, ale je stahován pulzy označující přítomnost jiskření. Současné veličiny součtového zesilovače 51 jsou nastaveny tak, aby referenční proud + V bude saturovat integrátor 53 jedničkou po přibližně 10 sekund a kontinuální detekce oblouku bude saturovat integrátor nulou po přibližně 1 sekundu. To znamená, že součtový zesilovač 51 a integrátor 53 generují signál 55, který je časově oslabený akumulací impulsů 49 generovaných synchronním komparátorem 45.

Výstup 55 integrátoru 53 je aplikován na vypínací komparátor 57, který je porovnán se zvolenou referenční hodnotou. V příkladném provedení tato referenční hodnota poskytuje signál 29 úměrný amplitudě vedení proudu. Výstup z vypínacího komparátoru 57 nastaví

západku 13 pro generování orientačního signálu 58 elektrického oblouku, kdykoliv doba oslabené akumulace pulzů generovaných integrátorem 53 je menší, než je prahová hodnota signálu 29. Proudové vedení větší amplitudy vyžaduje méně cyklů jiskření pro vypnutí západky 13. Jinými slovy, méně impulzů 49 je zapotřebí k zatažení výstupu integrátoru 53 až na vyšší úroveň prahové hodnoty signál 29.

## 4.2.1 Detektor průchodu nuly a pulsní generátor



Obr. 4.2 Detailní schéma filtrační části jednotky AFDD z obr. 4.1.

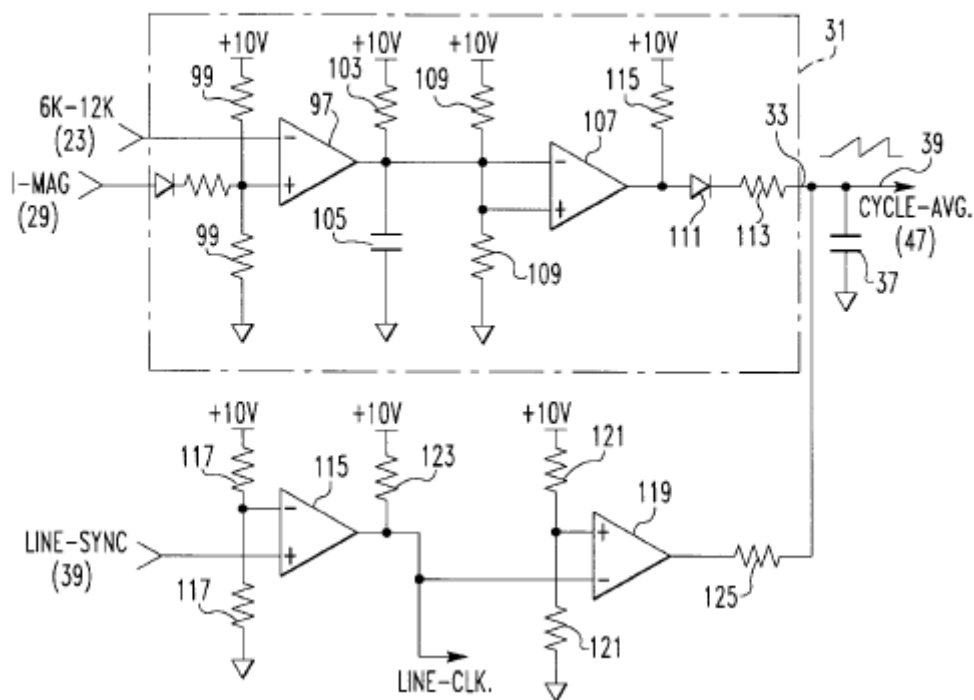
Generátor přechodu nuly a pulsní generátor 41 obsahuje transformátor klesání 59 připojený přes fázové a nulové vodiče 5 a 7. 60 cyklů základní komponenty se získává filtrem nízké propusti 61. Tato základní komponenta je oříznuta diodami 63 pro vytvoření čtvercové vlny, která se aplikuje na neinvertující vstup operačního zesilovače op 65 pro generování půlplnového signálu 43. Synchronní linkový signál 39 je generována z půlplnového signálu 43 prostřednictvím derivátoru, který je vytvořen kondenzátory 67 a 69 a rezistory 73. Dioda 71

odstraňuje negativní přechodové impulzy k omezení fázového synchronního signálu 39 pozitivní nulou základní složky střídavého proudu. Dvojice rezistorů 73 stanoví rozsah tohoto linkového synchronního signálu.

#### **4.2.2 Filtr pásmová propust**

Filtr typu pásmová propust 21 na obr.2 je použit pro filtraci proudového signálu, generovaného proudovým transformátorem 17. Obsahuje 6 KHz filtr horní pásmové propusti 75, po níž následuje 12 kHz filtr dolní pásmové propusti 77 a další 6 KHz filtr horní propusti 79. Výsledný signál se aplikuje na neinvertujícím vstupu operačního zesilovače 81, který má zpětnovazební obvod 83 připojený na invertující vstup, která tím získává charakteristiku pásmové propusti. Dvou pólový 12 kHz filtr dolní propusti 85 je připojen na výstup operačního zesilovače 81. Jak bylo uvedeno výše, filtr pásmová propust 21 produkuje jiskřící proudový signál, generovaný jiskřením, který má pásmo propustnosti v kmitočtové oblasti 6 kHz až 12 kHz. Filtr dolní pásmové propusti 25 zahrnuje dvě fáze 87 filtrování dolní propusti k extrahování 50 Hz ze základní složky střídavého proudu, který teče v elektrickém systému rozvodu elektrické energie. Detektor píku 27 obsahuje operační zesilovač 89, na kterém je použito 60 Hz základní složky. Tento signál je z poloviny vlny usměrněný diodou 90 a aplikuje se na kondenzátoru 91. Řada odporů 93 a odporový bočník 95 jsou vybrány tak, aby napětí na kondenzátoru 91 označené jako I-MAG, kopírovalo obalovou křivku 50 Hz základní složky střídavého proudu.

### 4.2.3 Vnitřní zpracování signálů



Obr. 4.3 Detailní schéma bloku 31 (komparátoru) z obr. 4.1.

Pokud jde o Obr. 3, komparátor 31, který porovnává nízkofrekvenční pásmo omezující jiskření proudového signálu 23 a I-MAG prahový signál 29, který obsahuje první komparátor 97, který má prahový signál 29 aplikovaný na neinvertující vstup a nízkofrekvenční pásmo omezující jiskření proudového signálu 23 aplikováno na invertující vstup. Malé vychýlení je také aplikováno odpory 99 na neinvertující vstup a dodávku +10 V. Rezistor 103 a kondenzátor 105 formuje síť prodlužování impulsů pro výstup s otevřeným kolektorem komparátoru 97. Výstup komparátoru 97 je aplikován na invertující vstup druhého komparátoru 107, který má pevné napětí aplikované na jeho neinvertující vstup přes rezistory 109 a přívod +10 V. Výstup komparátoru 107 je připojen přes diodu 111 a rezistor 113 na integrační kondenzátor 37. Rezistor přerušení 115 poskytuje proud k nabíjení integračního kondenzátoru 37, je-li výstup kolektoru komparátoru 107 na jedničce. Dioda 111 zabraňuje vybití integračního kondenzátoru 37, pokud je výstup komparátoru 107 na nule.



Pokud nedochází k jiskření, výstup komparátoru 97 je na jedničce, a proto je výstup komparátoru 107 na nule, a proto je nula poskytována integračnímu kondenzátoru 37. Avšak když nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí prahový signál 29, který je úměrný amplitudě 50 Hz složky střídavého proudu, výstup komparátoru 97 přeskočí na nulu, což způsobuje, že výstup komparátoru 107 přeskočí na jedničku, čímž se dodává náboj integračního kondenzátoru 37. Napětí signálu dodávající náboj kondenzátoru 37 je konstantní, bez ohledu na výši, kdy nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí práh. To znamená, že napětí na kondenzátoru 37 představuje čas, kdy nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročil práh. Tento integrovaný signál 47 je také identifikován jako CYCLE-AVG signál na obr. 3.

Integrátor 37 se resetuje na začátku každého cyklu LINE-SYNC signálu 39, který se aplikuje na non-invertující vstup komparátoru 115. Pevné a kladné napětí stanovené odpory 117 a +10 V se použije na invertující vstup komparátoru 115 tak, aby výstup komparátoru byl na nule, od té doby, kdy je na nule signál LINE-SYNC 39. Výstup komparátoru 115, který byl identifikován jako LINE-CLK signál je aplikován na invertující vstup dalšího otevřeného kolektoru komparátoru 119. Tento komparátor 119 má pozitivní referenční napětí stanovené rezistory 121 a napájecím napětím +10 V je aplikováno na jeho neinvertující vstup tak, že jeho výstup je obvykle na jedničce. Výstupní proud pro komparátor 115 poskytuje napájecí napětí + 10 V přes rezistor přerušení 123. Výstup komparátoru 119 je připojen přes odpor 125 k integračnímu kondenzátoru 37. Normálně je výstup komparátoru 119 na jedničce, avšak kromě náboje dodaného komparátorem 31 není k dispozici žádný proud k napájení integračního kondenzátoru 37.

U každého pozitivního přechodu nuly střídavého proudu, LINE-SYNC signál 39 generuje impuls, který způsobí, že na výstup komparátoru 115 je jednička a proto na výstupu komparátoru 119 je nula. Tento krok resetujete integrátor 37 vybíjením cesty přes rezistor 125.



Jak je znázorněno na obr. 4, synchronní komparátor 45 zahrnuje komparátor 127 s pevným pozitivním referenčním napětím aplikovaným na jeho neinvertující vstup tak, že za normálních okolností jeho výstup je na jedničce. Invertující vstup komparátoru 127 je připojen přes diodu 129 na výstup Q klopného obvodu D 131. Když je výstup Q klopného obvodu D 131 na jedničce, deseti voltový signál je přiváděn na invertující vstup komparátoru 127 přes odpor 133, čímž způsobuje, že výstup komparátor 127 je na nule. K tomu může dojít pouze v případě, že komparátor 127 umožňuje půlvlnový signál 43 aplikovaný přes diodu 135 v pozitivním cyklu střídavého proudu. Jinými slovy, diody 129 a 135 spolu s rezistor 133 jsou bránou pro výstup klopného obvodu 131 a půlvlnného signálu 43.

Výstup klopného obvodu D 131 je závislý na době trvání předchozího cyklu, kdy nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí prahový signál 29. Na druhé straně je to zastoupeno velikostí integrovaného signálu 47 generovaného integrátorem 37. Tento integrovaný signál 47 je aplikován na neinvertujícím vstupu komparátoru 137. Reference je nastavena po dobu trvání selekčním referenčním napětím aplikovaným na invertující vstup komparátoru 137. Výstup Q klopného obvodu D 131 je určen hodnotou signálu přivedeného na jeho vstup D, který je spojen s komparátorem 137, je-li klopný obvod taktovaný. V příkladném systému je klopný obvod taktován na počátku každého cyklu střídavého proudu, pokud je generován pulzující signál LINE CLK. Tedy, pokud nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí prahovou hodnotu po více než předem stanovenou dobu trvání předchozího cyklu, napětí na integračním kondenzátoru 37 přesáhne referenční napětí přivedené do komparátoru 137 a Q výstup klopného obvodu D 131 bude na jedničce, pokud je klopný obvod uzavřený pulsy z LINE-CLK signálu. To bude mít za následek, že pokud to umožní HALF-CYCLE signál, tak na výstupu komparátoru 127 bude jednička po dobu poloviny cyklu. Všimněte si, že komparátor 127 generuje výstupní signál fixované amplitudy polovinu cyklu, kdykoliv nízko-frekvenční šířka pásma omezena proudovým signálem 23 překročí prahovou hodnotu pro předem stanovenou dobu trvání cyklu střídavého proudu. Je to nezávisle na hodnotě, o kterou je překročena prahová hodnota a je to nezávisle na době trvání, kdy je prahová hodnota překročena.

Doba oslabené akumulace pulzů generovaných tímto synchronním komparátorem 45 je udržována v integrátoru vytvořeného kondenzátorem 53. Tento kondenzátoru 53 je napájen z napájení +5 V přes odpor 139. Přes odpor 139 a rezistor 141, je impuls ze synchronního

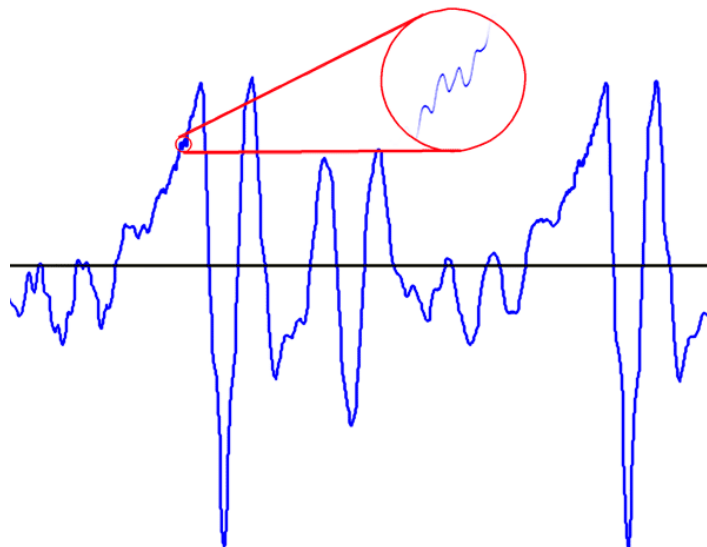
komparátoru 45 aplikován na kondenzátoru 53, tvoří součtový zesilovač 51 Obr. 1. Kondenzátor 53 je nabíjen +5 V a vybíjen negativními pulzy, které jsou generované synchronním komparátorem 45. Rychlost vybití je vyšší než nabíjecí proud, takže opakované impulzy generovaných synchronním komparátorem 45 stáhnou napětí na integrační kondenzátoru 53. Toto napětí je ve srovnání s referenční hodnotou ve vypínacím komparátoru 57. Jak již bylo zmíněno, je výhodné, že referenční hodnota souvisí s velikostí střídavého proudu proudu tak, aby větší proudy vyžadovaly méně impulzů pro vypnutí, nejlépe odpovídající křivce poškození vodiče. To znamená, že signál I-MAG 29 se aplikuje na neinvertující vstup komparátoru 57 přes rezistor 143 a diodu 145. Malé zkreslení zapříčiněno přívodem +5 V a odpory 147 se připočítávají k prahové signálu. Výstup vypínacího komparátoru 57 se aplikuje na sadu vstupu S jednoho klopného obvodu tvořící západku 13 tak, že když doba oslabené akumulace impulsů představující cykly, v nichž byl pozorován proud elektrického oblouku nad prahovou hodnotou po předem stanovenou dobu trvání, Q výstup západky 13 přejde do jedničky, což zajistí vypínací signál. Západka 13 se resetuje ručně stiskem tlačítka reset 149. Světelné diody 151 a 153 v obvodu na obr. 4 se rozsvítí pro ukázání vypnutí a ne pro indikaci, jak je uvedeno na obr. 1 vypínací signál může být použit k vypínací oddělitelných kontaktů 9 jističe 1.

## 4.3 Číslicové zpracování signálu

### 4.3.1 Úvod do číslicového zpracování signálu

Starší typy detektorů elektrického oblouku pracovali se spojitým signálem na základě metody analogové filtrace, jak je popsáno výše. Moderní technologie se však rozšířily i sem a dnes je trend spíše takový, že mozek, tedy vyhodnocování provádí procesor. Procesor je zařízení, které se chová přesně podle toho jaké instrukce má ve své programové paměti. To znamená, že kvalita jeho programu může velice ovlivnit kvalitu celého vyhodnocovacího procesu.

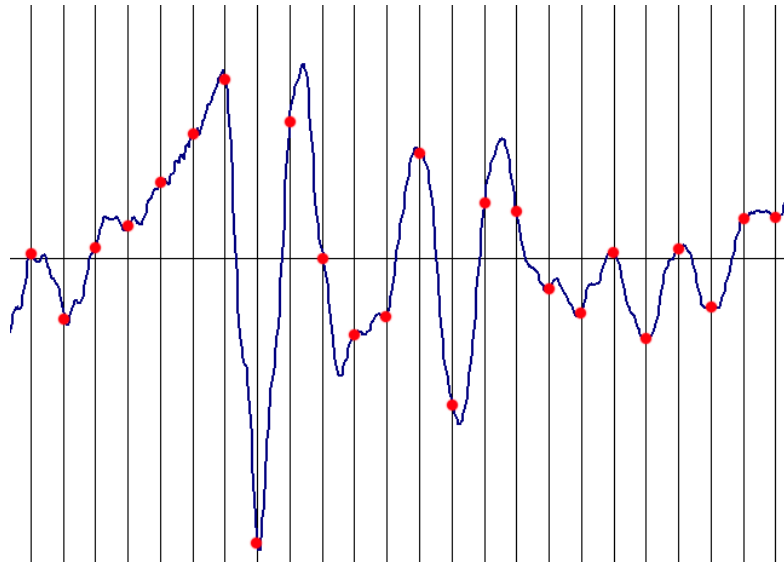
Problém s procesorem a tedy se součástí, která pracuje na základě binárního kódu, je v tom, že nedokáže přímo zpracovat spojitý (analogový) signál. Pro zpracování spojitého signálu je nutné provést jeho konverzi do digitální formy pomocí A/D převodníku.



Obr. 4.5 - Ukázka spojitého (analogového) signálu

### 4.3.2 Převod analogového signálu na digitální

Digitální signál je reprezentován nespojitým analogovým průběhem s dvěma úrovněmi napětí, které reprezentují hodnoty logické 0 a 1. Délka jednoho bitu (základní jednotky informace) je dána periodou vzorkování.



Obr. 4.6 – Vzorkování spojitého signálu

#### Vzorkování

Z analogového, časově spojitého signálu v určitých časech odebíráme vzorky. Vzorkování musí splňovat podmínky Shannon – Kotělnikovova teorému, který říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň 2x větší než maximální frekvence ve spektru vzorkovaného průběhu. Amplituda jednotlivých vzorků může nabývat nekonečného množství hodnot.

#### Kvantování

Zařazení vzorku do rozlišitelné hladiny. Přidělení k jednotlivým kvantizačním hladinám se děje podle rozhodovacích úrovní, které se nachází mezi jednotlivými kvantizačními hladinami. Přesáhne-li vzorek rozhodovací hladinu, je přiřazen k vyšší kvantizační hladině, nedosáhne-li jí, je přiřazen k hladině nižší. Počet kvantovacích hladin je určen počtem bitů v

kódu. n- bitový vzorek bude mít  $2^n$  kombinací. Jeden kvantovací krok (rozlišitelnost) se označuje  $q$  a spočítá se jako podíl maximálního napětí a počtu kvantovacích hladin.

$$q = \frac{U_{max}}{2^n}$$

### **Kódování**

Každé kvantovací hladině je přiřazen např. binární kód 4bitového vzorku.

Na základě takto vytvořených binárních kódů je procesor schopen vyhodnocovat situaci a určit, kdy je daný signál vyvolán hořením oblouku a kdy jde třeba jen o komutátorové jiskření.

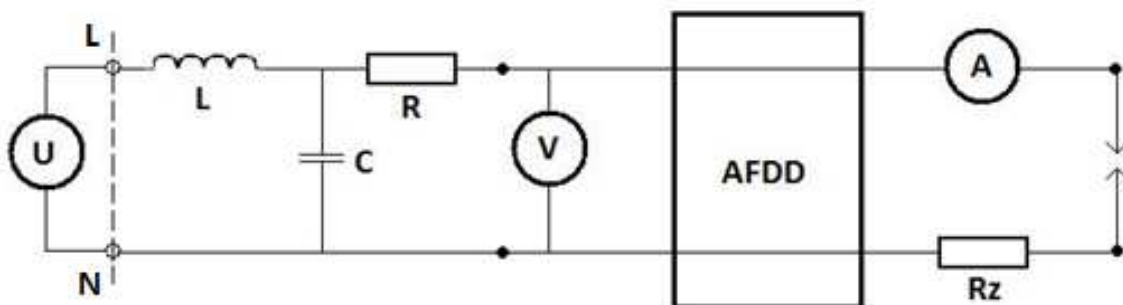
## 5.0 Testování AFDD

### 5.1 Testovací obvod

Důležitým krokem této práce bylo samozřejmě otestovat samotné zařízení AFDD aby bylo patrné, jak se chová a jestli je schopno reagovat vždy a v takovém čase kdy vyvolaný elektrický oblouk ještě nebude mít dostatečnou tepelnou energii, aby byl schopen vznítit požár.

Pro testování byl použit model AFDD od společnosti Siemens typ 5SM6011-1 v kombinaci s jednopólovým jističem se jmenovitým proudem 16A a vypínací charakteristikou C typ 5SY6016-7. AFDD v kombinaci s jističem jsme zapojili do testovacího obvodu.

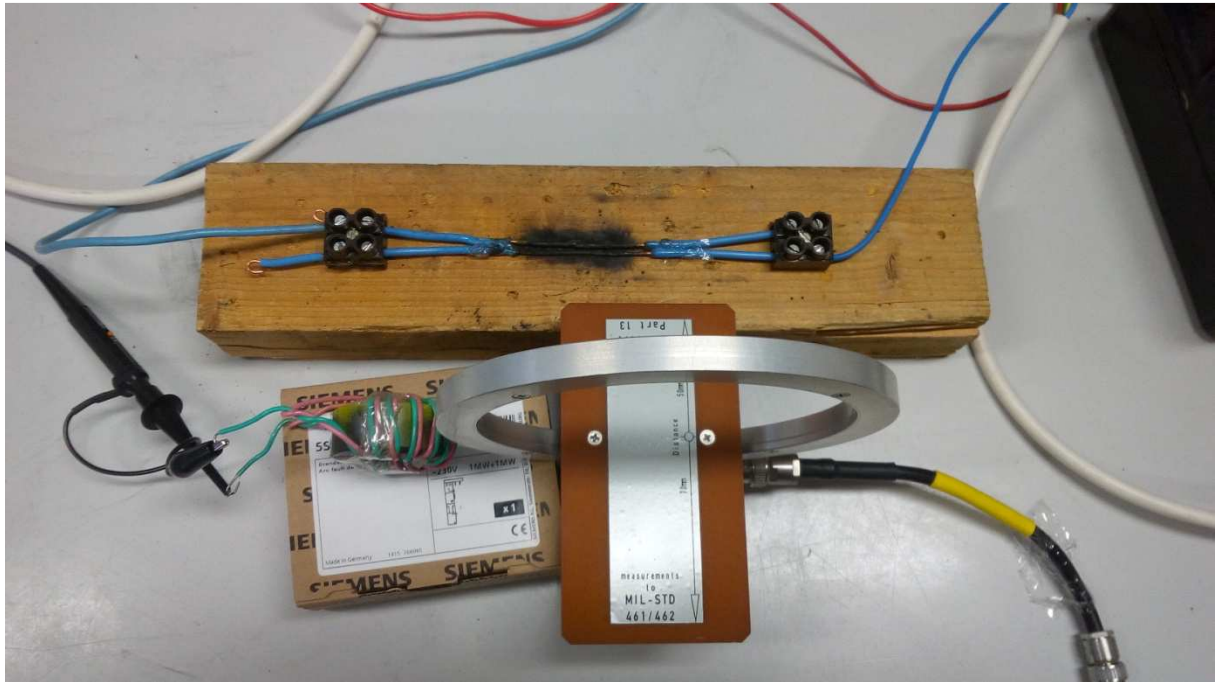
Na obrázku 5.1 je nakresleno náhradní schéma zapojení obvodu pro testování AFDD. Indukčnost  $L$ , kapacita  $C$  a odpor  $R$  reprezentují náhradní schéma vedení. Na zařízení AFDD je potřeba připojit jak fázový vodič, tak i pracovní nulový vodič. Odpořem  $R_z = 28 \Omega$  jsme vytvořili zátěž sítě a podle Ohmova zákona lze dopočítat, že proud procházejícím obvodem bude cca. 8,2 A. Na výstupní svorky AFDD je připojeno jiskřiště na kterém se bude vytvářet elektrický oblouk.



Obr. 5.1 – Náhradní schéma testovacího obvodu

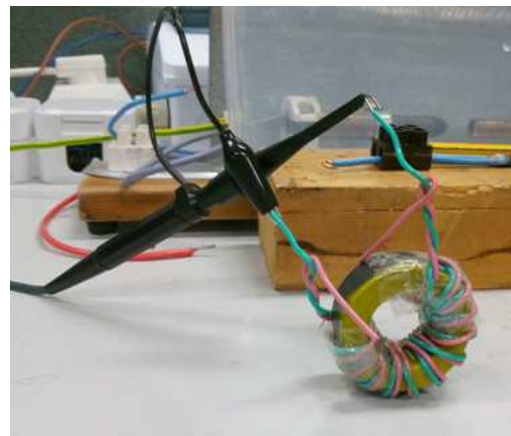


Jiskřiště (viz. obr. 5.2) bylo zkonstruováno pomocí dvou souběžně jdoucích odizolovaných vodičů na podložce z hořlavého materiálu tak, aby simulace poruchy elektrického oblouku byla co nejvíce přiblížena právě té poruše, která by byla schopna v praxi vyvolat požár.



Obr. 5.2 – Jiskřiště pro testování AFDD

Pro měření frekvenčního průběhu proudu elektrického oblouku jsme používali toroidní transformátorovou sondou (viz. obr. 5.3), u které jsme na základě předchozích měření zjistili, že její frekvenční rozsah je vyšší než u ostatních. Pomocí této sondy jsme zachytávali frekvenční spektrum proudu v okolí vodiče a následně ho zobrazovali na osciloskopu.



Obr. 5.3 – Toroidní transformátorová sonda



Obr. 5.4 – Analyzátor spektra

Pro zobrazování frekvenčního spektra proudu jsme používali analyzátor spektra (viz. obr. 5.3), který zobrazoval naindukovaný signál do toroidní transformátorové sondy. .

Soupis všech měřících zařízení , které byly potřeba pro řádné otestování detektoru AFDD je uveden v tabulce č.1 pod tímto textem.

<b>Měřicí přístroj</b>	<b>Výrobce</b>
Střídavý ampérmetr 10-50A	Metra Blansko
Analyzátor frekvenčního spektra 9kHz – 3Ghz	Rohde &Schwarz
Osciloskop TDS 210	Tektronix
Toroidní transformátorová sonda	Laboratorní vzorek

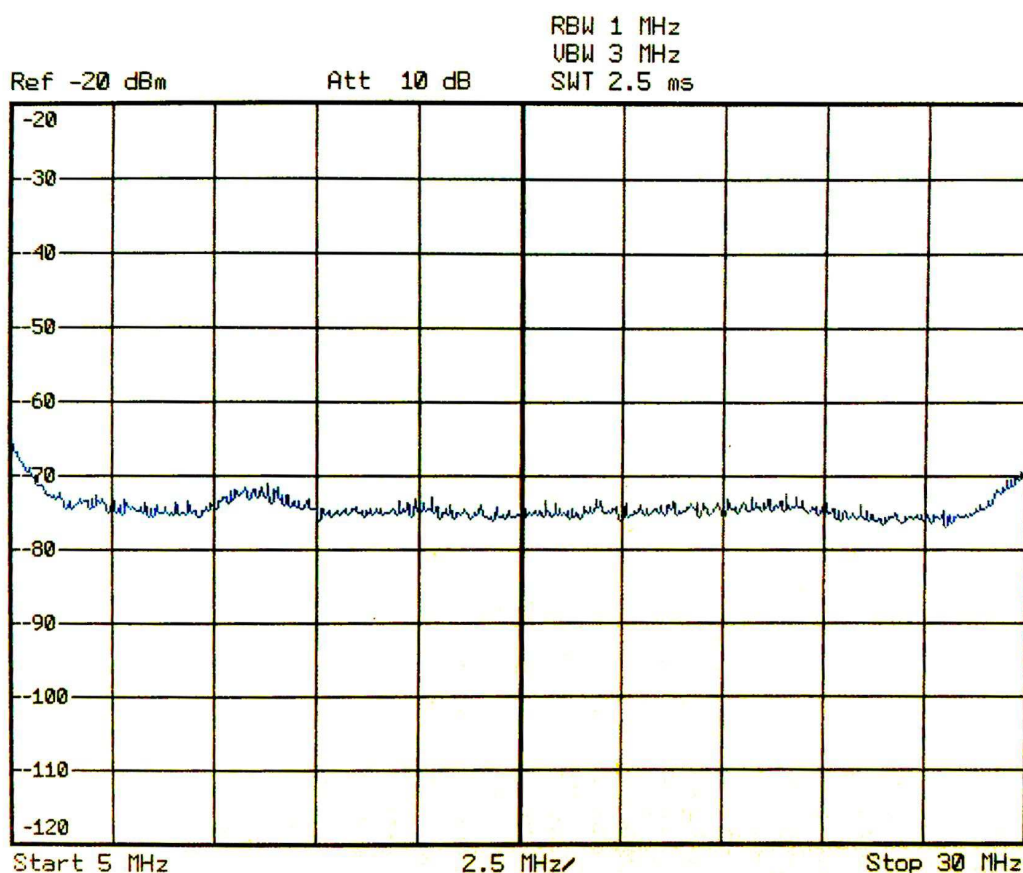
Tab.č.1 – Soupis použitých měřících přístrojů

## 5.2 Výsledky testování AFDD

Po několika měřeních je patrné, že zařízení AFDD reaguje na elektrický oblouk jen v případě, že jeho frekvenční spektrum proudu není pravidelné, ale s výrazným převýšením složek v okolí 17-20 MHz. To znamená, že pokud dojde k výrazným neopakujícím se změnám ve frekvenčním spektru proudu oblouku, zařízení je schopno je rozpoznat a vybavit. Naopak, pokud je spektrum spojitého charakteru, s rovnoměrným rozdělením složek po celém sledovaném frekvenčním pásmu, přístroj tento signál vyhodnocuje jako spojitě rušení (např. od komutátoru elektrického motoru) a v tomto případě nevybaví.

### 5.2.1 Spektrum nezatíženého obvodu

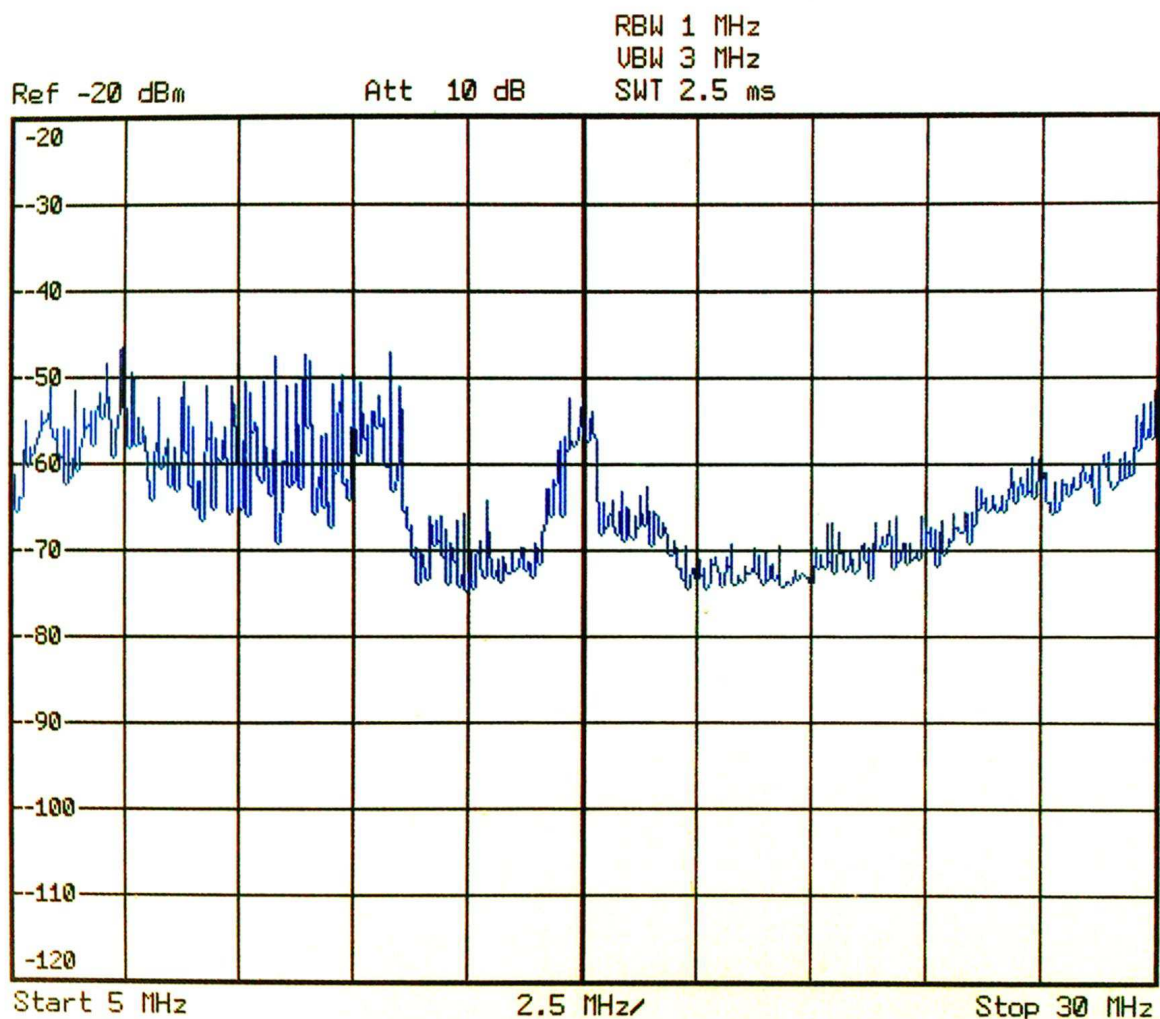
Na obrázku 5.5 je zobrazeno rozložení frekvenčního spektra v okolí jiskříště u obvodu, kterým neprocházela žádná proud a nebyl tedy vyvolán el. oblouk. Je patrné, že spektrum je vyhlazené, bez výrazných výchylek a skoků v průběhu.



Obr. 5.5 – Frekvenční spektrum nezatíženého obvodu

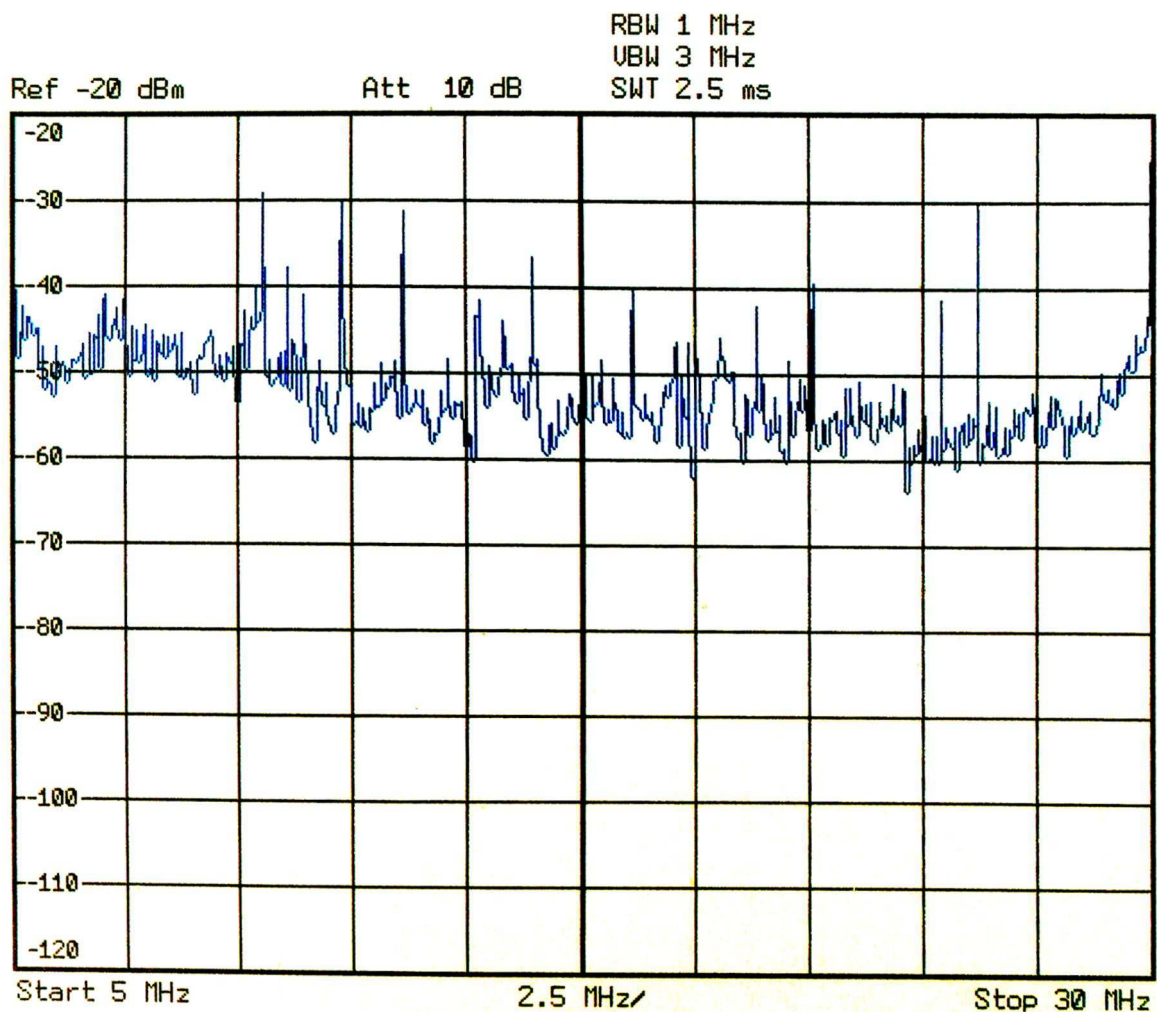
## 5.2.2 Spektrum elektrického oblouku

Na obrázku 5.6 ze záznamu z osciloskopu je zobrazeno spektrum, kdy AFDD rozpoznalo vyvolaný elektrický oblouk a správně vybavilo. Ve spektru je přesně vidět ten moment, kdy zařízení vyhodnotilo elektrický oblouk, a to v místě náhlého poklesu a opětovného rychlého vzestupu spektra. V tomto případě AFDD vybavilo v okolí frekvence 17MHz, kde je jeho citlivost nejvyšší.



Obr. 5.6 – Frekvenční spektrum proudu, které zařízení vyhodnotilo jako špatné a vybavilo

Na dalším snímku z osciloskopu na obr 5.7 bude frekvenční průběh proudu, který sice má velké změny, ale za to pravidelně se opakující. Elektrický oblouk hořel pravidelně i po dobu několika sekund, ale zařízení ho nevyhodnotilo jako elektrický oblouk. Zařízení je konstruováno tak aby nevybavilo vždy, kdy bude mít jen podezření na elektrický oblouk jak podélný anebo příčný v síti nízkého napětí. Dalšími problémy, na které musí být AFDD odolné jsou, například jiskření od komutátoru elektrického motoru nebo komunikační signály (HDO a atd.), které se v síti vyskytují.



Obr 5.7 – Frekvenční spektrum proudu, které zařízení nerozpoznalo

## 6.0 Závěr

Detektor AFDD je dalším logickým krokem v ochraně zdraví a majetku před následky požáru způsobeného elektrickým proudem. Svou ochrannou funkcí doplňuje jističe a proudové chrániče. Za určitých okolností funguje velmi spolehlivě, to znamená, že pokud je frekvenční spektrum proudu nespojitého charakteru s nerovnoměrným rozdělením složek po sledovaném frekvenčním pásmu, zařízení ho vyhodnotí jako poruchový oblouk a vybaví. Může nastat situace, kdy frekvenční spektrum proudu hořícího oblouku bude spojitě s rovnoměrným rozdělením složek po sledovaném pásmu a AFDD ho nebude schopné rozpoznat a reagovat.

V převodu analogového signálu na digitální signál a v jeho následném zpracování procesorem je dle mého názoru prostor pro další vývoj nových detektorů elektrického oblouku s větší citlivostí rozpoznávání elektrických oblouků v sítích nízkého napětí, tak aby vždy spolehlivě rozpoznal elektrický oblouk, a zároveň nikdy nevybavil na základě chybného vyhodnocení. Další vývoj bych očekával v portfoliu typů detektorů, například detektory pro různé jmenovité proudy, aby bylo možné použít pro více okruhů jen jeden detektor.

## Seznam použitých zdrojů:

[1] PETR VOŽENÍLEK, Vladimír Novotný, Pavel Mindl. *Elektromechanické měniče*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 9788001031377

[2] HAVLÍČEK, Václav a Ivan ZEMÁNEK. *Elektrické obvody 2*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, 368 s. ISBN 978-80-01-03971-7

[3] BIOLEK, Dalibor. *Elektronické obvody I: učebnice*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006, 318 s. ISBN 80-723-1169-7

## Elektronické zdroje:

[5] Vzdelačisluzby. Dalibor Fusek [online]. Rožnov p. Radhoštěm, © - 2014 [vid. 2015-4-13]. Dostupné z: <http://www.vzdelavacisluzby.cz/dokumenty/vzdelavaci-dokumenty/2462757.pdf>

[6] SIEMENS.COM. powerdistributin [online]. © Siemens AG 1996-2015 [vid. 1015-1-15]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/en/lv/product-portfolio/sentron/protection-devices/5sm6-afd-units/pages/5sm6-afd-units.aspx>

[7] NAUN.ORG. Shu-Chen Wang, Chi-Jui Wu, Yi-Jie Wang [online]. © - 2015 [vid. 2015-4-29]. Dostupný z: <http://www.naun.org/main/NAUN/circuitssystemssignal/16-449.pdf>

[8] SIEMENS.COM. Carlos E. Restrepo [online]. © Siemens AG 1996-2015 [vid. 1015-1-15]. Dostupné z: [www.siemens.com/download?BTLV\\_40672](http://www.siemens.com/download?BTLV_40672)

[9] Vzorkování [online], poslední aktualizace 28. února 2005 08:15 [vid. 4. 5. 2015], Wikipedie. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzorkov%C3%A1n%C3%AD>

# Seznam obrázků

- Obr. 2.1. – Vypínací charakteristika jističů a pojistky 16 A
- Obr. 2.2. – Znázornění funkce proudového chrániče
- Obr. 2.3. – Graf příčin vzniku požáru v domácnostech
- Obr. 2.4. – Provrtání kabelů
- Obr. 2.5. – Přiskřípnutý kabel
- Obr. 2.6. – Prasklá izolace
- Obr. 2.7. – Degradace izolace
- Obr. 2.8. – Povolený vodič
- Obr. 2.9. – Přiskřípnutý kabel
- Obr. 2.10. – Prasklá izolace
- Obr. 2.11. – Závada spotřebiče
- Obr. 2.12. – Vadný prodlužovací přívod
- Obr. 2.13. – Ukázka AFDD
- Obr. 2.14. – Výtah z normy
- Obr. 3.1 - V-A charakteristika oblouku
- Obr. 3.2 – Průběh napětí na krátkém oblouku
- Obr. 3.3 – Průběh napětí na dlouhém oblouku
- Obr. 3.4 – Stabilita oblouku
- Obr. 3.5 – Dynamická charakteristika stejnosměrného oblouku
- Obr. 3.6 – Dynamická charakteristika střídavého oblouku
- Obr. 3.7 – Dynamická char. oblouku pro různě velké střídavé proudy
- Obr. 3.8 - Dynamická char. oblouku pro různé kmitočty střídavého proudu
- Obr. 3.9 – Chlazení oblouku
- Obr. 3.10. – Základní časový interval vypínacího pochodu
- Obr. 3.11 – Vypínání střídavého oblouku
- Obr. 3.12 – Frekvenční spektrum proudu při elektrickém oblouku
- Obr. 3.13 – Porovnání spektra vysavače a elektrického oblouku
- Obr. 3.14 - Porovnání spektra elektrické vrtačky a elektrického oblouku
- Obr. 4.1 - Schéma AFDD v blokové formě, obsahující jednotku vypínající obvod při vzniku elektrického oblouku.
- Obr. 4.2 - Detailní schéma filtrační části jednotky AFDD z obr. 4.1.
- Obr. 4.3 - Detailní schéma bloku 31 (komparátoru) z obr. 4.1.
- Obr. 4.4 - Detailní schéma generátoru synchronizačních impulsů z obr. 4.1.
- Obr. 4.5 - Ukázka spojitého (analogového) signálu
- Obr. 4.6 – Vzorkování spojitého signálu
- Obr. 5.1 – Náhradní schéma testovacího obvodu
- Obr. 5.2 – Jiskřiště pro testování AFDD
- Obr. 5.3 – Toroidní transformátorová sonda
- Obr. 5.4 – Analyzátor spektra



Obr. 5.5 – Frekvenční spektrum nezatíženého obvodu

Obr. 5.6 – Frekvenční spektrum proudu, které zařízení vyhodnotilo jako špatné a vybavilo

Obr 5.7 – Frekvenční spektrum proudu, které zařízení nerozpoznalo