



České vysoké učení technické v Praze

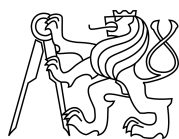
Fakulta elektrotechnická

K13115 - katedra elektroenergetiky

Tepelné namáhání rozváděčů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Daniel Krysl
Praha 2015



Czech technical university in Prague

Faculty of Electrical Engineering

K13115 - department of electroenergetics

Thermal load of switchboards

BACHELOR THESIS

Daniel Krysl
Prague 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Daniel Krysl**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Tepelné namáhání rozváděčů**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou dimenzování jednotlivých prvků v rozváděčích.
- 2) Seznamte se s problematikou sdílení tepla.
- 3) Pro vybrané prvky rozvaděče vytvořte matematický model, pomocí měření identifikujte jeho parametry a simulací přesnost modelu ověřte.

Seznam odborné literatury:

- [1] M. A. Michejev: Základy sdílení tepla, SPN 1952
- [2] J. Tlustý a kol.: Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT v Praze, 2011

Vedoucí: doc. Jan Kyncl Dr. Ing.

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

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 Praze dne

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za vedení, rady a podporu při zpracování práce. Dále bych rád poděkoval katedře elektroenergetiky za poskytnutí přístrojů a prostor pro měření. Také bych rád poděkoval firmě Energocentrum plus s.r.o. za poskytnutí materiálů a přístrojů pro zhotovení práce, konkrétněji Jiřímu Zikmundovi a Ing. Petru Kuderovi za podporu a trpělivost. Poděkování patří i vývojářům softwaru Wolfram Mathematica, který mi byl velice nápomocný při výpočtech. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu.

Abstrakt

Cílem této práce je seznámit čtenáře se základními prvky v rozváděcích a se základní problematikou sdílení tepla. Hlavním předmětem práce je nastínit problematiku ohřívání prvků a pomocí přiloženého programu predikovat možné oteplení. Pro tuto predikci je nutné provést referenční měření na daném prvku.

Klíčová slova Rozváděč, Stykač, Polovodičové spínače, Relé, Jističe, Pojistky, schématické značky, Dimenzování součástek, Tepelný odpor, Sdílení tepla, Konvekce, Kondukce, Sálání.

Summary

The goal of this work is to familiarize the reader with the basic parts of switchboards and also with the basic problems of the heat transfer in these parts. The main thought of my work is to clarify the issue of the heating in electronic parts of switchboard and try to predict the possible heating problem using program which is attached to my work. For the future prediction, it is necessary to perform a reference measurement on the specified part.

Key words Switchboard, Contactor, Semiconductor switches, Relays, Circuit breakers, Fuses, schematic brand, Sizing components, Thermal resistance, Heat transfer, Convection, Conduction, Radiation

Obsah

0.1 Úvod	10
I Všeobecný popis prvků v rozváděči.	11
1 Rozváděč	11
1.1 Popis	11
2 Stykače elektromagnetické	12
2.1 Popis	12
2.2 Dělení	13
3 Polovodičové spínače	13
3.1 Popis	13
4 Relé	14
4.1 Popis	14
4.2 Dělení	14
5 Jističe	15
5.1 Popis	15
5.2 Dělení	16
6 Pojistky	17
6.1 Popis	17
6.2 Dělení	17
II Ostatní	19
7 Regulátor	19
8 Svorky	19
9 Zdroje	20
III Teplo	21
10 Dimenzování součástek	21
10.1 Úvod	21
10.2 Tepelný odpor	21

11 Sdílení tepla	23
11.1 Základní pojmy	23
11.2 Kondukce (vedení)	25
11.3 Konvekce (proudění)	25
11.4 Radiace (sálání)	26
11.5 Důležité zákony pro sálání	27
11.6 Výměna tepla sáláním	28
IV Hodnoty z měření vybraných prvků	31
12 Popis zpracování	31
13 Stykač	32
13.1 Popis měření	32
13.2 Grafy z naměřených hodnot	33
13.3 Závěr z měření stykače	34
14 Jistič	34
14.1 Popis měření	34
14.2 Grafy z naměřených hodnot	35
14.3 Závěr z měření jističe	35
15 Závěrečné zhodnocení	36
16 Přílohy	I
16.1 Osobnosti	I
16.2 Použité přístroje k měření	II
16.3 Seznamy	II
16.4 Použitá literatura	IV
16.5 Zdroje obrázků	IV
16.6 Zdroje tabulek	IV
16.7 Program - jistič 15 A	IV
16.8 Schéma programu	VII
16.9 Příklad naměřených dat	VIII

0.1 Úvod

Tato práce se snaží přiblížit základní poznání ohledně prvků v rozváděči. Jsou zde popsány základní součástky jako jsou pojistky, jističe a další. Většinu prvků lze nalézt v každém domě a proto je zde teoretická část funkce jednotlivých prvků. Tato část je psaná s cílem takovým, aby ji pochopil kdokoliv se znalostí elektrotechniky.

Ve druhé části práce se nachází rozbor ohledně sdílení tepla. Tento jev je velice složitý a závislý na mnoha faktorech. Detailnější zkoumání by přesahovalo možnosti bakalářské práce jako takové.

Na konci se práce soustředí na praktické měření, které by mělo pomocí přiloženého programu dokázat předvídat chování prvku pro různé hodnoty proudů. Tyto hodnoty se zadají do přiloženého programu a při dodržení jistých podmínek, lze s jistotou předpokládat výsledný graf za skutečný možný. Samozřejmě je potřeba počítat s jistou chybovostí a výsledné hodnoty brát jako orientační. Pomocí tohoto výsledku je možné odhadnout kam se hodnoty mohou dostat a odhadnout výčet škod, které by nastaly, kdyby selhaly všechny ochrany.

Část I

Všeobecný popis prvků v rozváděči.

Obecně

V rozváděči se nachází celá řada elektrických prvků, které si budeme postupně popisovat. Nejvíce se liší parametry a svojí funkcí. Mezi základní funkce patří spojovací, odpojovací, uzemňovací, spínací, jisticí, spouštěcí a měřicí.

Každý prvek by pak měl nést specifické identifikační údaje¹, aby byl použit na správném místě vzhledem ke své konstrukci. Jedná se o jmenovité hodnoty (napětí, proud, frekvence), kategorii užití a jiné. Podle těchto hodnot se prvky vybírají, aby nebyly přetěžovány a nekrátila se tím jejich doba života.

Mezi přední výrobce například patří Schrack, Eaton, OEZ, Schneider Electric, kteří vyrábějí široké spektrum elektrických i neelektrických prvků.

1 Rozváděč

1.1 Popis

Jedná se o plechovou skříň, která je natřená barvou. Nejčastěji je osazena dveřmi z přední části se zámkem, který slouží proti vniku neoprávněných osob. Uvnitř bývá světelný zdroj pro lepší orientaci a plechová deska. Na této desce jsou pomocí DIN² lišt zacvaknuty základní elektrické prvky - regulátor, jističe, stykače, pojistky a jiné. Důležité je, aby všechny kovové části byly kvalitně pospojovány ochranným vodičem.

V jedné stavbě se může nacházet několikero rozváděčů, kde každý má svojí specifickou funkci. Například jeden ovládá vzduchotechniku, jiný reguluje teplotu vody a podobně. Všechny by se měly pak dávat, je-li to technicky možné a ekonomicky únosné, do jedné místnosti tzv. „rozvodny“. Rozvodny by měly být klimatizované, aby se prvky, uložené v rozváděčové skříni, zbytečně nezahřívaly a vydržely plnit svojí funkci co nejdéle a spolehlivě.

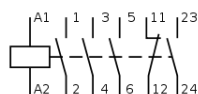


Obrázek 1: Otevřená skříň malého rozváděče 600x800 mm firmy Schrack.

¹Označování svorek řeší norma ČSN EN 60947-4-1 ED.3 - spínací a řídicí přístroje nízkého napětí.

²Perforovaný a profilový kovový plech, tvaru písmene „U“. V nejčastějším rozměru 35 x 7.5 mm (š x h)

2 Stykače elektromagnetické



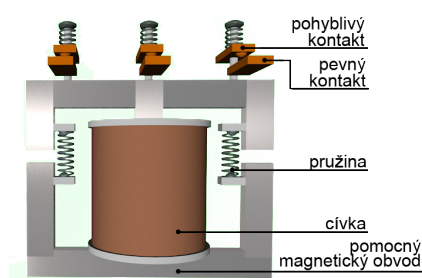
Obrázek 2: schématická značka třífázového stykače.

2.1 Popis

Jedná se o spínaný prvek „po drátu“ - základ automatizace. Takto se ovládají například silové přívody k motorům, čerpadlům a jiným výkonovým zařízením, kde malým proudem na cívce ovládáme silové kontakty. Vyrábí se jak třífázové (na obrázku 2) tak jednofázové (modulové) stykače.

Stykače mají jednu klidovou polohu - vypnuto. Ve stykači se nachází cívka, která je mezi svorkami A1 a A2. Při průtoku proudu tímto obvodem vznikne magnetické pole. Toto pole je rozšířeno přes pomocný magnetický obvod, který je oddělen vzduchovou mezerou (odpor). Při jmenovitých hodnotách se vytvoří dostatečně veliké pole na to, aby prostoupilo touto vzduchovou mezerou a přitáhlo horní část magnetického obvodu k sobě. S touto částí jsou spřaženy pohyblivé kontakty a právě při přitažení se spojí s pevnými kontakty. Pohyblivé kontakty mají na sobě také pružiny, aby se vytvořil co nejdokonalejší kontakt (přítlak). Pružina se nachází mezi částmi magnetických obvodů, aby došlo po vypnutí ovládacího signálu k odskočení kontaktů.

Stykače prošly značným vývojem. Některé stykače jsou vybaveny spínacím pomocným³, popřípadě rozpínacím⁴ kontaktem. Ty například slouží pro indikaci sepnutí. Cívka disponuje ochranou, která zamezuje jejímu zničení. Střídavá cívka používá RC člen nebo varistor, stejnosměrná cívka je vybavena diodou v závěrném směru nebo varistorem jako zhášecím členem. Samozřejmě vše je úměrné cenové hladině za daný produkt. Stykač je možné dovybavit o nadstavbu⁵, která zvýší využitelnost.



Obrázek 3: Model elektromagnetického stykače.

³NC - normally close

⁴NO - normally open

⁵Jedná se především o pomocné kontakty, blokovací kontakty, tepelné ochrany, časovací prvky a jiné.

2.2 Dělení

Stykače rozdělíme podle typu proudu cívkou na střídavý nebo stejnosměrný. Také je lze dělit podle druhu zátěže, jak naznačuje „Tabulka 1“, která vychází z normy ČSN EN 60947-4-1. Stykače jsou schopny pracovat se všemi druhy zátěže, což jim dává velkou výhodu. Zátěž může být čistě odporová, kapacitní a induktivní. Charakter zátěže u střídavého proudu určuje účinník. U stejnosměrného proudu je určena časovou konstantou.

Kategorie užití	Příklady použití
AC-1	Neinduktivní zátěž
AC-2	Motory s kroužkovou kotvou - spouštění, vypínání
AC-3	Motory s kotvou nakrátko - spouštění, vypínání při chodu
DC-1	Neinduktivní zátěž
DC-6	Spínání žárovek
DC-12	Řízení odporových zátěží

Tabulka 1: Kategorie střídavých a stejnosměrných stykačů. [Zdroj 24]

Je důležité správně vybírat, aby se nepřetěžovaly. Při tepelném přetížení hrozí stavení kontaktů k sobě. V takovém stavu by stykač neodpojil kontakty ani kdyby přestal téci proud cívkou. Pružina by neměla dostatečnou sílu pro rozpojení stavených kontaktů. Je to velmi nebezpečný případ a je nutné mu zamezit už při projektování. Při neodpojení by mohlo dojít k poškození majetku nebo osob.

3 Polovodičové spínače

3.1 Popis

Příkladem polovodičových spínačů může být frekvenční měnič, polovodičový stykač, omezovač záběrného momentu a jiné. Jedná se o robustní celky, které jsou většinou z polovodičových výkonových součástek, chladiče, kontaktů. Dnešní polovodičové součástky jsou velmi rychlé a spínáním nevzniká takové opotřebení jako u mechanických spínačů, což přináší značnou výhodu⁶.

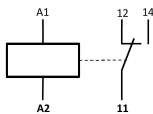
Konstrukce se rozdělují dle typu proudu. U stejnosměrného systému mluvíme o tranzistorech (IGBT, FET) a pro střídavý systém se využívají tyristory v antiparalelním zapojení. Vzhledem k typu součástek je nutné upozornit, že ve vypnutém stavu nemusí být rozepnuté. Na rozdíl od stykače, kde nám bariéru tvoří mezera fyzicky odpojených kontaktů (vzduch), zde se bavíme o polovodičovém přechodu, který neodděluje fyzicky. Proto se k těmto prvkům předřazuje, kvůli bezpečnosti, kontaktní vypínač. Nejčastěji se vypínač umísťuje k zátěži, aby měl technik jistotu, že obvod je odepnutý.

Jedná se o drahou záležitost a tak je adekvátně jištěna. Základem bývá chlazení. Ve většině případů postačí pasivní chladič v černé barvě⁷. Dále ochranné prvky proti přepětí jako jsou varistory, supresory či bleskojistky. Proti přetížení máme tepelné ochrany, které jsou u styku s chladičem. Při vyhodnocení přehřátí se odpojí nadřazená ochrana.

⁶Aplikačně jsou nasazovány hlavně tam, kde už elektromagnetické prvky nevyhovují.

⁷Matná černá kvůli emisivitě.

4 Relé



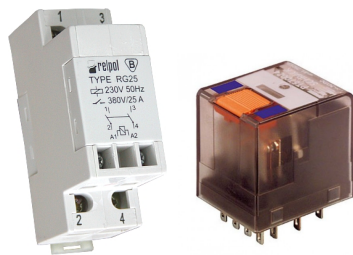
Obrázek 4: schématická značka pro relé.

4.1 Popis

Jedná se o jeden z nejstarších přístrojů (Josef Henry, 19.století). Primární využití bylo k zesílení signálu pro telegrafické systémy. Relé si od svého vzniku prošlo značným vývojem. Dnes máme vícero druhů - impulsní, časové, pomocné, programovatelné a jiné. Jsou používána ve velké míře a to hlavně díky své ceně a spolehlivosti. Výhodou je galvanické oddělení ovládacího a kontaktního systému a zároveň vytváří jednoduchou zesilovací funkci.

Jádrem relé je elektromagnet. Po připojení proudu mezi A1 a A2 (obr. 4), začne cívkou protékat proud. Tím se vytvoří magnetické pole, které přitáhne pohyblivou kotvu s kontakty. Po přitažení se spojí kontakt mezi svorkami 11 a 14 (NO), které byly v klidovém stavu spojeny mezi 11 a 12 (NC). Aby se kontakt vrátil do klidové polohy, nachází se zde pružina, která ho odtáhne.

Nejobyčejnější relé nám je schopno přepínat mezi dvěma výstupy, jeden vstup. Dělalí se také více-pólové (2,4,6 atd.), kde takových to vstupů a výstupů je x. Všechny většinou ovládá jediná cívka.



Obrázek 5: Výkonové a signálové relé. [Zdroj 9]

4.2 Dělení

Relé můžeme rozdělit do různých skupin. Například podle funkce - bistabilní, časové, zpožďovací, regulační, světelné a jiné. Ale i podle ovládacího signálu cívky na střídavý a stejnosměrný. Podle počtu kontaktů nebo jmenovitých proudů a napětí. Nejvíce se uchytilo rozdělení na - signálová a výkonová.

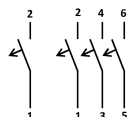
Výkonová relé jsou určena pro vyšší hodnoty proudů a napětí. Jde o hodnoty do 30A/600V. Využívají se k výkonovým zařízením hlavně v průmyslu⁸. V domácnostech jsou ojedinělá, zde se ujal spíše stykače⁹.

⁸Mohou pracovat jak s induktivní tak s odporovou zátěží.

⁹Často se ovšem využívají pro havarijní smyčky, spínání signálů a v dalších ne-výkonových aplikacích.

Signálová relé jsou velmi precizní přístroje. Jelikož jsou určena pro přenos i malých napětí, tak musí být velice „dokonalá“. Například by mohly spínat proudy do 2A a napětí do desítek voltů, ale i velmi nízké napětí a proud v řádech 10^{-3} . Proto musí jejich kontaktní systém mít co nejmenší přechodový odpor. Nevýhoda je, že nevzniká oblouk, který by čistil kontakty. Čistění se provádí pohybem zapínacího a vypínacího cyklu.

5 Jističe



Obrázek 6: schématická značka jističe.

5.1 Popis

Jedná se o elektrický přístroj, který nám chrání zařízení před nebezpečnými vlivy el. energie. Zvládají zkraty a nadproudy, ovšem po každém vypnutí se musí „nahodit¹⁰“. Tímto „nahozením“ nakumulujeme energii do pružiny, která po uvolnění mechanismu spouště vypne nežádoucí sekci. Vše by mělo proběhnout do pěti sekund, aby do zařízení prošlo co nejméně energie.

Podle povahy zkratu a nadproudu musíme mít pro každý případ speciální spoušť. Zkrat je chybový stav, kdy se výstup zdroje spojí přes body se zanedbatelnou impedancí a vytvoří se velké proudy (několikanásobky I_n). Tyto proudy by zničily zařízení nebo přívod. Ovšem u nadproudu je chyba ve vzdálenější části¹¹ a jističem prochází zvýšená hodnota proudu. Zde musí také zareagovat ochrana, aby se tepelně neznížila izolace. Nadproud by zničil vinutí až po čase, svými tepelnými účinky. Proti těmto účinkům slouží dvě spouště - bimetalová a elektromagnetická.

Bimetal je ze dvou plíšku různých kovů svařených k sobě. Ty mají odlišné koeficienty roztažnosti. Při průtoku zvětšeného proudu se plíšek začne ohýbat. Při dosažení nastavené pozice odepne jištěný okruh (přes volnoběžku). Jedná se o ochranu proti tepelnému přetížení. Tento jev má určité časové zpoždění. Ať už při zahřívání nebo chladnutí. Bimetal je pořád přihnutý a nezapadne spoušť.

Zkrat má tak velké a rychlé hodnoty, že nelze čekat na ohřátí. Proto je zde tzv. „zkratová spoušť“. Jedná se o cívku, která vypne v dostatečně rychlé době. Cívka vtáhne kotvu přes magnetické pole. Tím se uvolní pružina (přes volnoběžku) a ta opět odskočí i s kontaktem. Odepnutím však problém nekončí. Při odepnutí teče velký proud a vzniká elektrický oblouk mezi kontakty. Proto se zde nachází komora¹². V ní jsou umístěna žebra, která oblouk „rozřežou“. Ten ztrácí energii a s ní i stabilitu. Oblouk už není problém zhasit (samovolně, vzduchem, SF6).

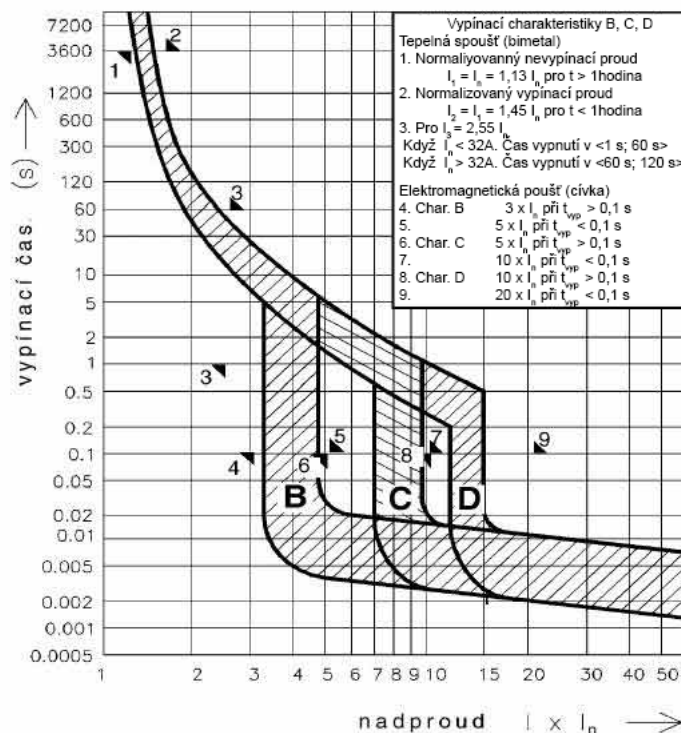
¹⁰Nahození jističe je slangový výraz. Jedná se o analogii jakéhosi zapnutí a uvedení do provozního stavu.

¹¹Započítá se impedance spotřebiče, vedení a všech částí k místu problému

¹²Dráha vedoucí proud je přizpůsobena tak, aby podle zákonů elektromagnetického pole, byla vtahována do komory

5.2 Dělení

Základním rozdělením je podle tříd. Ty se odvíjejí od charakteristiky čas-proud. Ta popisuje vypínání v čase v závislosti na násobku jmenovitého proudu I_n , který protéká jističem. Na obrázku níže jsou vypínací charakteristiky čas-proud pro třídy B, C a D. Charakteristika B je nejčastěji využívána v domácnostech. Charakteristika C má oproti B nastavenou spoušť na cca dvojnásobek jmenovitého proudu. Pro spouštění motorů se využívají charakteristiky typu D, které vydrží prvotní proudový ráz (motorový jistič).

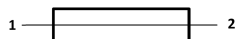


Obrázek 7: Charakteristika proud-čas pro jističe B,C,D. [Zdroj 0]

Jak vyplývá z normy ČSN EN 60898-1, interval pro vypnutí třídy B je ($3I_n$ až $5I_n$), pro C je ($5I_n$ až $10I_n$) a pro D je ($10I_n$ až $20I_n$). Pro maximální hodnoty intervalů jednotlivých tříd platí, že studený jistič musí odepnout do 0,1s. Také musí být splněno, že pro $2,55 I_n$ nesmí být vypínací doba kratší než 1 sekunda a delší než 60s do 32A a 120 sekund nad 32A jmenovitých hodnot.

Na každém jističi najdeme základní údaje. Nalezneme zde mimo jiné logo výrobce, schéma, označení svorek a jiné. Dále jmenovité parametry proud, napětí, frekvenci a třídu. Proud uvedený na štítku jističe nám udává tzv. vypínací proud. Tyto hodnoty jsou právě závislé na teplotě a jističe mají dovolené tolerance dle normy. Při uložení vedle sebe můžeme ovlivnit hodnoty až o třídu, proto je nutné dbát na chlazení a umístění. Někteří výrobci nabízejí příslušný software pro výpočet chlazení, ovšem většinou podporují jen svoje vlastní výrobky. Což je ekonomicky logické, ovšem technicky nepraktické.

6 Pojistky



Obrázek 8: schématická značka pojistky.

6.1 Popis

Jedním z nejstarších elektrických zařízení pro ochranu je pojistka. Chrání obvod před přetížením a zkraty. Po splnění své funkce se musí vyměnit za jinou stejného typu. Cenově se proto pohybují v jednotkách korun. Právě kvůli ceně a dobrým vypínacím vlastnostem jsou pořád užívány nejen v autech, ale i v domácnostech a rozvaděčích. Po vybavení se zakazuje je opravovat, jedná se totiž o jednorázový člen. Pokud se obvody moc nepřetěžují, tak jsou schopny pojistky jistit velmi dlouhou dobu.

Princip pojistky je velmi jednoduchý. Jedná se o tavný drátek či pásek, který je připevněn mezi kontakty (dle typu pojistky, jsou různé druhy kontaktů) a vše zalité plastem nebo schované v baňce. Drátek je nejčastěji ze slitiny stříbra a mědi. Musí mít definované vlastnosti a to hlavně : nízkou teplotu tavení, malou oxidaci, odpaření bez zbytků a velkou elektrickou vodivost (konduktivita). Za normálního stavu teče veškerý proud přes drátek. Proto je drátek nadimenzovaný podle proudu, napětí a dle užití - připojené zařízení určuje typ pojistky.

Při vyšších hodnotách proudu je obvod tepelně namáhán. Nejslabší článek, který se poškodí jako první, je právě pojistka, tím se ochrání vedení a zařízení připojené v obvodu. Vzhledem k tomu, že ztrátový výkon je úměrný kvadrátu proudu, tak s větším proudem se taví rychleji.

6.2 Dělení

Vyrábí se mnoho druhů. Od plastových do automobilů, přes skleněné do spotřební elektroniky, či keramické, s křemičitým pískem jako zhašedlem oblouku, pro vyšší výkony (rychlejší odstranění elektrického oblouku). Všechny mají společné to, že se zandávají do své specifické patice, aby šly lehce měnit. To se provádí za vypnutého stavu obvodu!

Pojistky také mají charakteristiku čas-proud $f(t) = I$ v logaritmickém měřítku. Jejich rychlé zareagování je velkou výhodou, hlavně pro obvod, který chrání. Rychlou reakci určuje charakteristika, která je velmi strmá. Tu však lze upravit za využití perforace pásku.

Obecně jsou rychlé (F) a pomalé pojistky (T - šnek). Dále se dělí dle druhu charakteristiky : gL a gG je pro jištění vedení a kabelů před přetížením a zkratem, aM pro jištění motorů, stykačů a jiných před zkratem, gTr pro jištění distribučních transformátorů. Tento údaj je vždy na pojistce uveden..

6.2.1 Keramické pojistky

Používají se především v domácnostech a bytových zařízeních. Mají keramické tělo ve kterém se nachází tavný vodič zasypaný křemičitým pískem. Tento písek má za úkol zhasit elektrický oblouk, který vzniká při přetavení. Je ho potřeba zhasit co nejrychleji, aby přešlo co nejméně energie do systému. Jeden kontakt pojistky je zmenšený a velikost se odvíjí od proudu, tedy nelze zasunout větší pojistku než je určená.

2A	4A	6A	10A	16A	20A	25A	35A	50A	63A	80A
růžová	hnědá	zelená	červená	šedá	modrá	žlutá	černá	bílá	měděná	stříbrná

Tabulka 2: Barevné označení keramických pojistek. [Zdroj 25]

6.2.2 Válcové pojistky

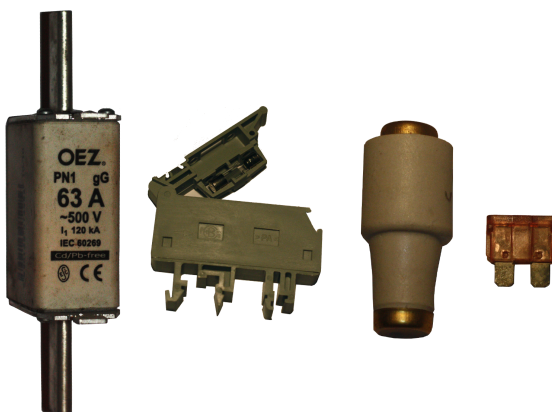
Jsou hojně používány v rozváděčích a elektrických zařízeních. Jedná se většinou o skleněnou baňku, která má na svém konci kovové kontakty. Mezi nimi je natažený tavný drátek. Hlavní nevýhoda je jejich snadné rozložení a proto si je lidé hojně opravovali. Tyto zásahy jsou zakázané, protože se jedná o neodborný zásah. Takto opravená pojistka při zkratu nemusí odepnout a hrozí riziko požáru.

Válcové pojistky se dělají ve třech hlavních rozměrech : 10x38 mm, 14x51 mm, 22x58 mm. Nejčastěji se vkládají do výklopného plastového nástavce s kontakty nebo se šroubují do válcové vložky.

6.2.3 Nožové pojistky

Jedná se především o výkonové pojistky. Velké využití mají v domácnostech, kdy se nacházejí na hlavním přívodu do domu. Jsou to v podstatě keramické pojistky ve větším provedení s rovnými kontakty. Rozlišují se od sebe potiskem a vyměňují se speciálním nástrojem.

Vyrábí se s charakteristikami gG, gTr a aM. Nožové pojistkové vložky se vyrábí v řadách PLN, PN, PHN, NH. Lze s nimi manipulovat pod napětím, ale bez proudu za pomoci pojistkového držadla.



Obrázek 9: Pojistka nožová, trubičková s patiči, keramická a autopojistka.

6.2.4 Automobilové pojistky

Tyto pojistky se už podle názvu využívají nejvíce v automobilovém průmyslu, tedy ve 12V napájení. Mají zásuvné kontakty do patice, které jsou zalité v levném plastu, aby držely na určené vzdálenosti. Kontakty jsou úzké pásky. Mezi těmito nožičkami je přidělaný tavný drátek a vytvarován do určitého obrazce (Z, spirála, oblouk a jiné). Ze shora je většinou průzor na kontrolu, zda je pojistka přepálená. Jedná se o velmi cenově levné pojistky, a proto jsou tak rozšířené v automobilovém průmyslu.

Část II

Ostatní

7 Regulátor

Každý výrobce má svůj specifický regulátor. Předními výrobci jsou Domat, Saia, HoneyWell. Všechny jsou dnes řízeny mikroprocesory. Tento procesor nám na základě vstupních signálů, ať už analogových (A/D) nebo digitálních, provede příslušný úkon. Toto rozhodnutí je podmíněno nejen vstupy, ale rozhodovací logikou programu, která je v paměti.

Takto řízený rozváděč je automatizovaný, ale je zde možnost i ručního ovládní. Tato možnost je spíše pro servisní účely. Automaticky řízené rozváděče jsou v poslední době velmi žádané. Umí usnadnit práci obsluze, ale také celkové náklady na provoz celého objektu.

8 Svorky

Popis

Svorky jsou pasivní prvky a to určuje jejich funkci. Hlavní funkce je spojení dvou vodičů. Přívod je z jedné strany přichycen, na druhé straně svorky je vývod a ten je také uchycen. Přichycení vodičů do svorek je možno několika způsoby - šroubem, pružinkou a jiné - záleží na použité technologii daného výrobce.

Vyrábí se vícero druhů - jednoduché, dvojité, trojitě. Jsou většinou plastové s kovovými šrouby pro vodič. Každá svorka je označena číslem, barvou, popřípadě jejich kombinací. Specifické jsou v průřezu vodiče, jsou 1.5 mm^2 , 2.5 mm^2 , 4 mm^2 , 16 mm^2 , 32 mm^2 a tak dále. Tyto rozměry se odvíjejí od výkonu. Je zvyklostí na každý kabel dávat popisek. Jedná se o gumovou návléčku s natištěným údajem. Tento údaj se různí, někteří udávají kam kabel vede, jiní zase odkud a kam vede. Ve výsledku se ovšem jedná o servisní záležitost, aby se technik vyznal kam který kabel vede¹³.

Jejich nesporná výhoda je při výrobě, než pro funkci celku. Rozváděč, který se montuje v dílně, se prodrátuje na svorkovnice, převezne na místo a z druhé strany svorek se připojí teploměry, motory, atd.

¹³Výhoda pro technika, který nemusí rozmotávat klubka licen, kterých v rozváděči najdeme pozhnaně.

9 Zdroje

Popis

Jedná se o nedílnou součást rozváděče, neboť prvky se liší v potřebě druhu ovládacího signálu. Některé jsou ovládány střídavým napětím (AC) nebo stejnosměrným (DC) a v neposlední řadě i fázově (230V). 12-voltová stejnosměrná úroveň se používá převážně v automobilech. Tyto úrovně získáme snížením (popřípadě zvýšením) přes transformátor a následným usměrněním.

Pro úroveň 24 střídavou se používá písmeno G s barvou kabelu fialovou, druhá svorka se označuje GO a náleží jí šedivý kabel. U stejnosměrného systému je kladné označení +24 s červeným kabelem a - 24 s tmavě modrým kabelem.

Samozřejmě vše musí být jištěné, jelikož zdroj ani transformátor není levná záležitost. Jištěny jsou jističem z vyšší strany napětí, někdy i přes přepětovou ochranou. Jištění připadá i na vývody obou prvků. U transformátoru se v praxi sekundární strana jistí dvoupólovým jističem. Zdroj je poté na výstupu jištěn dvojicí pojistek.

Podle velikosti rozváděče se přiřazují dostatečně výkonné zdroje. Není pravidlem, že v každém rozváděči se nachází transformátor nebo zdroj. To jestli zde je, či není, se odvíjí od prvků, které se sem instalují. Druhým faktorem je cenová dotace dané zakázky, popřípadě přání zákazníka.



Obrázek 10: Malý transformátor 160VA a zdroj 240W.

Transformátor je opticky menší, ovšem je složen z orientovaných plechů a váží mnohem více, než o dost větší zdroj stejnosměrného napětí vedle něj. Zdroj není problém nacvaknout na DIN lištu¹⁴, jelikož je lehký. Ovšem transformátor se přichytává samonosně, nejčastěji pomocí šroubků skrz plechovou základnu rozváděče.

¹⁴DIN lišta je ocelový profil v daném tvaru dle normy, na který lze přichytit všechny možné prvky.

Část III

Teplo

10 Dimenzování součástek

10.1 Úvod

Při návrhu součástek je jeden z hlavních údajů zahřátí příslušného prvku při trvalém (S1) chodu. Teplota daného prvku se odvíjí od hodnoty proudu, který jím prochází, dále od dokonalosti systému chlazení, až po okolní prostředí ve kterém se nachází. Oteplení má svojí setrvačnost danou především druhem použitého materiálu. Při návrhu součástky nás bude zajímat především : maximální provozní teplota součástky (junction), teplota okolí (ambient) a způsob chlazení (pasivní, aktivní). Důležité je, že životnost součástky se odvíjí od její teploty.

Budeme chvilku uvažovat o dimenzování samotné součástky, tudíž pomineme-li sériové a paralelní řazení¹⁵, které nám přináší „odlehčení“ na jednotlivé prvky. Celá věc se nám zjednoduší, jelikož budeme pracovat v určitém omezení teplot, podle potřeb aplikace.

Použití	Příklad	Rozsah teplot
Komerční využití	Počítače, mobily, televize	od 0°C do 70°C
Průmyslové využití	Vlaky, tramvaje	od -25°C do 85°C
Automobilový průmysl	Auta, motocykly	od -25°C do 125°C
Armádní aplikace	Armáda - speciální aplikace	od -40°C do 125°C

Tabulka 3: Rozdělení teplot. [Zdroj 26]

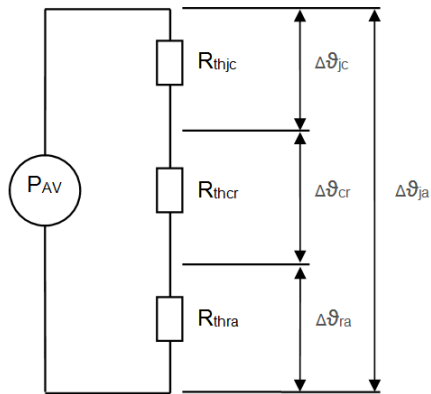
10.2 Tepelný odpor

Základem všeho je přenést teplo od zdroje (například PN přechod) na náš chladič. Ten může být pasivní, nebo aktivní. Aktivní chladič má nucené proudění, které vyvolá např ventilátor. Pasivní je bez ventilátoru a proudění vyvolá teplý vzduch, který stoupá vzhůru. Samozřejmě aktivní chladič je účinnější, ale hlučný.

Pro ustálený stav platí obrázek (12), na kterém máme přechod (j)¹⁶ od zdroje tepla P_{av} , přes pouzdro (c), chladič (r) až do okolí (a). Spočítá se dovolené oteplení dle vzorce (1). Tepelný odpor se odvíjí i od přechodu. Aby byla co největší styková plocha (materiál není dokonale hladký), tak se používají speciální pasty, která nám při správné aplikaci sníží přechodový odpor.

¹⁵Paralelní řazení rozdělí proud. Seriové řazení rozděljuje napětí.

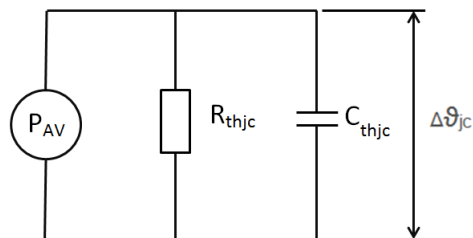
¹⁶(j) - junction; (c) - case; (r) - radiator; (a) - ambient



Obrázek 11: Schéma tepelného odporu pro ustálený stav. [Zdroj 12]

Pro přechodný stav se používá model s tepelnou impedancí ¹⁷, která se mění v čase. Ta do sebe zahrnuje i tepelné kapacity, které jsou schopny pohltit špičky, nebo krátkodobé děje. Přetížení trvajících delší dobu už nepohlít a může také dojít až k poškození součástky. V trvalém zatížení se vracíme zpátky k ustálenému stavu a tepelná impedance přechází na tepelný odpor, jelikož kapacita v nekonečnu ztrácí význam.

Nevýhodou tohoto systému je jeho náročnost. Každý náhradní model obsahuje nespočet náhradních kapacit a odporů, které se těžko započítávají, aby daný výsledek odpovídal skutečnosti. Tyto kapacity a odpory jsou paralelně naskládány vedle sebe, podle daného typu (tvaru) objektu. Pro jednoduché objekty lze tento způsob představy využít, ovšem pro složitější už by vznikala velká nepřesnost.



Obrázek 12: Schéma tepelného odporu pro přechodný stav. [Zdroj 13]

¹⁷Také označována jako tranzienční impedance.

11 Sdílení tepla

11.1 Základní pojmy

11.1.1 Tepelná vodivost λ

Je analogií elektrické vodivosti. Jak je tedy zřejmé, bude to schopnost materiálu vést teplo. Pro jednotlivé materiály je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti, který udává kolik tepla projde tělesem o délce l při jednotkové teplotovém spádu¹⁸ a jednotkové poloměru přezu. Tento spád je právě pokles na dané délce, např. u jednoduché stěny má lineární charakter.

11.1.2 Absolutně černé těleso

Tento výraz zavedl Gustav Kirchhoff. Jedná se o ideální těleso, které pohlcuje záření všech vlnových délek, které dopadají na jeho povrch a současně emituje záření, které závisí na jeho teplotě. Název je odvozen od faktu, že pokud nevyzařuje viditelné spektrum¹⁹, pak se jeví černé. Příkladem je slunce, což odpovídá AČT o 5730 ± 90 K. Výkon sálaný AČT je $P = \sigma T^4$.

11.1.3 Emisivita ϵ

Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která vyjadřuje jak těleso vyzařuje teplo. Jedná se o poměr vyzařování tělesa k vyzařování dokonale černého tělesa při stejné teplotě : $\epsilon = \frac{H_T}{H_{AČT}}$. Závísí na řadě parametrů samotného tělesa od povrchu tělesa, úhlu normály až k samotné vlnové délce.

11.1.4 Součinitel přestupu tepla α

Také označován h_k . Množství tepla sdílené stykem dvou ploch je odvozené od Fourierova zákona $Q = -\lambda \int \text{grad } t_f dS$. Jelikož není znám průběh teplotového gradientu podle integrované plochy S , tak přecházíme pro praktické počítání na Newtonův tvar (1), což je výhodnější :

$$Q = \alpha S(t_1 - t_w) \quad (1)$$

Jednotkou α je $Wm^{-2}K^{-1}$. Jedná se o množství tepla za jednotku času při spádu 1K přes stykovou plochu. Pozorování ukázalo, že je funkcí více činitelů, které se podílejí na přestupu tepla²⁰.

Výpočet pomocí Newtonova vzorce požaduje znát součinitel přestupu tepla. Ten získáme z mezních (okrajových) podmínek, kde se teplo v laminární vrstvě přenáší vedením. Z porovnání rovnice Fourierova zk. $dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial \eta} dS$ a rovnice sdíleného tepla $dQ = \alpha \Delta t dS$ vznikne diferenciální rovnice přestupu tepla:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\Delta t} \frac{\partial t}{\partial \eta} \quad (2)$$

¹⁸Pro jednoduchost se předpokládá šíření jedním směrem (osou).

¹⁹Viditelné spektrum oka je přibližně od 380 nm do 720 nm.

²⁰ $\alpha = f(t, l, \mu, \lambda, \Phi \text{ atd.})$

Další důležitá rovnice pro stanovení součinitele přestupu tepla je diferenciální rovnice pro vedení tepla. Zkráceně řečeno se odvozuje od zákona zachování energie a Fourierova zákona²¹. Kde se opíráme o elementární kvádr v systému os x, y, z kde pro každý směr platí (jen s obměnou x, y, z) : $dQ_x = Q_{xPŘED} - Q_{xZA} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz dt$. Po následném sečtení všech směrů, dostaneme energii sdělenou celému tělesu ve všech směrech souřadného systému.

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z \quad (3)$$

$$dQ = \lambda \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] dx dy dz dt \quad (4)$$

Přírůstek tepla za čas $d\tau$ o hodnotu $\frac{Dt}{dx} d\tau$ způsobí nárůst tepelné energie o $dQ = xy \frac{Dt}{dx} dx dy dz d\tau$. Porovnáme-li rovnici (4) s rovnicí nárůstu tepelné energie. Upravením a vyjádřením členu $\frac{Dt}{d\tau}$ získáme tím Fourier-Kirchhoffovu diferenciální rovnici vedení tepla :

$$\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] \quad (5)$$

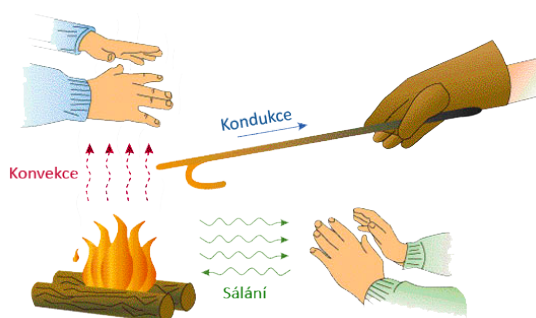
Pro zjednodušení toho výrazu využijme Laplaceova operátoru, který je definován jako divergence gradientu skalárního pole, pomocí operátoru nabla. Matematicky ho lze zapsat takto²²:

$$\Delta = \nabla^2 = \text{div grad} \quad (6)$$

Potom tvar Fourier-Kirchhoffovy rovnice přejde do následující formy. Jednoduše řečeno se jedná o závislost teplotových změn v čase a souřadnicích tělesa.

$$\frac{Dt}{d\tau} = a \nabla^2 t \quad (7)$$

V další části budou probrány výměny tepla různými způsoby. Pro lepší pochopení využijeme obrázek níže, ještě před začátkem popisu jednotlivých dějů. Jedná se o kondukcí, konvekci a sálání.



Obrázek 13: Konvekce, sálání a vedení tepla. [Zdroj 14]

²¹Je zde malé zanedbání, pak ze ZZE : „Množství přivedeného tepla je ekvivalentní přírůstku tepelné energie tělesa.“

²²Platnost je n-rozměrná. Specificky pak pro trojrozměrný euklidovský prostor : $\Delta = \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right]$

11.2 Kondukce (vedení)

Jedná se o šíření tepla v tuhých tělesech o různých teplotách, při vzájemném styku více těles, nebo v samotném tělese. Dochází k procesu šíření tepla kdy částice s vyšší kinetickou energií předávají část této energie částicím s nižší kinetickou energií. Dochází k tomu díky vzájemným srážkám a tím se i snižuje pohybová energie částic. Tímto procesem se těleso snaží dostat do tepelné rovnováhy.

Analogicky jako u elektřiny, lze určit dvě hlavní skupiny : vodiče a izolanty, ovšem tepelné. Z názvu vyplývá, že vodiče dobře vedou teplo a izolanty zase hůře. Tento fakt je mimo jiné dán teplotním součinitelem dané látky a rychlostí prostupu tepla tělesem, tedy materiálem.

$$\Delta T = R_{th} P_{th} \quad (8)$$

11.3 Konvekce (proudění)

Tento proces je těžké popsat, neboť je zde velký počet činitelů. Probíhá u kapalin, popřípadě plynů. Závisí například nejen na vlastnostech dané látky, ale také jejímu pohybu v určeném geometrickém tvaru²³. Jedná-li se o proudění kapaliny v uzavřeném tubusu, tudíž je zde styk tuhé a kapalné látky, pak dochází k výměna tepla vedením a prouděním současně.

Proudění vzniká dvěma způsoby: volně a nuceně (i kombinace). O volném proudění hovoříme právě tehdy když je pohyb vyvolán změnou hustoty v důsledku teplotního rozdílu. Vlastnosti tohoto procesu jsou ovlivněny především prostorem a rozdílem teplot. Nazývá se také přirozenou konvekcí. Nucené proudění je označováno jako takové, kde je pohyb vyvolán jinak než-li u volného.

$$P_{th} = S\alpha\Delta T \quad (9)$$

11.3.1 Proudění kapalin a plynů

Proudění kapalin (popřípadě plynů) můžeme rozdělit na dva poddruhy. Jedná se o laminární a turbulentní proudění. Laminární je specifické tím, že částice se pohybují rovnoběžně s povrchem, ve kterém jsou vedeny. Jakmile střední průtočná rychlost²⁴ dosáhne kritické hodnoty, přechází laminární proudění na turbulentní. Tato kritická hodnota se různí v závislosti na geometrickém tvaru tuhé látky v níž protéká daná kapalina a také na vlastnostech této kapaliny. Turbulentní proudění se vyznačuje neuspořádaným pohybem částic (chaosem). Ovšem vzniká zde tenká vrstva tzv. mezní vrstva. Tato vrstva má laminární charakter a je omezena na blízkou tenkou oblast u stěny tuhé látky. Tloušťka mezní vrstvy se odvíjí od střední průtokové rychlosti, čím je tato rychlost větší, tím menší je tloušťka vrstvy.

Charakter proudění má vliv na sdílení tepla. Mluvíme-li o laminárním proudění, tak zde přechází teplo kolmo na směr proudění výhradně pomocí vedení. Teplo je pak určeno vodivostí samotné kapaliny. Při uvážení turbulentního charakteru bereme v potaz hlavně mezní vrstvu, kde je charakter opět laminární, a samotné jádro je chaotické. Poté přecházení tepla je závislé právě na tloušťce této mezní vrstvy.

²³Tvarem se myslí objekt, který omezuje kapalinu - tuhé těleso (roura, žlab..).

²⁴Střední průtočná rychlost je rychlost v objektu [m/s]. Např. vlivem tření teče u stěn kapalina pomaleji než ve středu objektu. Provedeme průměr těchto hodnot, aby se počítalo s jednou hodnotou

11.4 Radiace (sálání)

Elektromagnetické vlnění existují v různých vlnových délkách²⁵. Existují tepelné paprsky, kterými nazýváme ty, které se při dopadu na objekt přeměňují v teplo. Největší podíl přeměny v teplo produkují viditelné a infračervené vlnové délky²⁶. Tepelné paprsky mají stejné vlastnosti jako viditelné, tudíž pro ně platí stejné zákony. Jejich šíření je označováno jako tepelné sálání. Ve formě elektromagnetických vln se šíří i ve vakuu. Vyzářený výkon lze spočítat následovně $P = S\varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4)$.

Jedná se o proces kdy dochází k vyzařování energie tělesa. Takto vyzářená energie se u dalšího tělesa rozdělí na energii pohlcenou, odraženou a procházející. Část pohlcené a procházející energie se mění v teplo. Každé těleso nejen sálá do svého okolí, ale také pohlcuje sálavou energii od těles ve svém okolí. Takovýto proces, kdy tělesa na sebe sálají a pohlcují navzájem, se nazývá výměna tepla sáláním. V případě, kdy teplota všech těles systému je stejná, tak se vyzářené energie rovná energii pohlcené, tento stav se nazývá pohyblivou tepelnou rovnováhou.

Základní jednotkou sálavého výkonu je $[Wm^{-2}]$, označujeme ji písmenem E a spočítá se ze vzorce:

$$E = \frac{Q}{S} \quad (10)$$

Rozdělení dopadající sálavé energie Q_0 se chová dle následující rovnice : $Q_A + Q_R + Q_D = Q_0$. Po převedení do poměrných jednotek je vzorec názornější : $A + R + D = 1$ ²⁷. Dle velikosti těchto hodnot lze určit vlastnost tělesa(viz tabulka).

Hodnoty poměrné jednotky A,R,D	Vlastnost	Typ tělesa
A=1, pak R=0 a D=0	Q_0 je pohlcena tělesem	Dokonale černé těleso
R=1, pak A=0 a D=0	Q_0 je odražena tělesem	Dokonale bílé těleso / zrcadlové
D=1, pak A=0 a R=0	Q_0 prochází tělesem	Dokonale průteplivé těleso

Tabulka 4: Rozdělení A,R,D těles.

Jedná se o idealizovaná tělesa, v přírodě se k nim můžeme téměř blížit. Hodnoty A, D, R závisí na vlastnostech tělesa a vlnové délce Q_0 . Například Slunce je dokonale černé těleso, vzduch je průteplivý dle svého znečištění a tuhá tělesa a kapaliny jsou neprůteplivé (atermické). Platí pak vzorec :

$$A + R = 1 \quad (11)$$

Z této rovnosti plyne, že když těleso výborně pohlcuje a nemůže logicky výborně odrážet. V přírodě ovšem záleží na materiálu a od něj se odvíjí vlnové délky pro dané těleso, pro které je buď průteplivé, odrazivé nebo pohltivé - nejčastěji se setkáme s kompromisní kombinací, aby bylo vše v rovnováze. Jedná se o vybraná pásma vlnových délek k danému materiálu. Zajímavá je i vlastnost barvy bílé oproti černé, jejich odlišná pohltivost, resp. odrazivost. Ovšem větší význam má povrch - hladký a lesklý povrch má větší odrazivost než drsný. S nátěrem sazíme schopni dosáhnout pohltivosti 96%.

²⁵Spektrum je dáno od 1 km do 10 pm, v pořadí zleva : radiové vlny, mikrovlny, IČ, viditelné, UV, RTG a gama záření.

²⁶Jedná se o vlny přibližně od 0,4 μm do 40 μm. IR využívají termokamery.

²⁷Kde energie A je pohltivost, R je odrazivost, D je průteplivost. Jde o bezrozměrné poměrné veličiny.

11.5 Důležité zákony pro sálání

Následující zákony jsou důležité pro sdílení tepla. Na některých z nich jsou postaveny i funkce termokamer, které jsou dnes hojně využívány pro měření. Jedná se o snímání infračerveného záření, které ukáže rozložení tepla na povrchu tělesa v tzv. termogramu.

11.5.1 Stefan-Boltzmannův zákon

Důležitý zákonem je Stefan-Boltzmannův zákon, ve kterém je zavedena tzv. Stefan-Boltzmannova konstanta : $\sigma = 5,6710^{-8} W m^{-2} K^{-4}$. Ukazuje, že energie záření je úměrná čtvrté mocnině absolutní hodnoty teploty tělesa vynásobenou konstantou a emisivitou. Emisivitu dostaneme buď z tabulek, nebo měřením.

$$E = \varepsilon \sigma [T]^4 \quad (12)$$

11.5.2 Lambertův zákon

Narozdíl od Stefan-Boltzmannova zákona, který udává množství ve všech směrech, nám Lambertův zákon zavádí změny záření v závislosti na směru. Tento směr je dán úhlem, který svírá daný paprsek s normálou k povrchu. Největší množství pak je dáno ve směru normály $\varphi=0^\circ$ a nulové pro $\varphi=90^\circ$ odklonu od této normály. Pro zajímavost lze uvést nejstarší matematickou formulaci tohoto zákona.

$$d^2 Q_\varphi = E_n d\Omega \cos\varphi \quad (13)$$

11.5.3 Kirchhoffův zákon

Jedním z méně známých zákonů od pana Kirchhoffa je zákon který říká : „Poměr sálavosti (E) k pohltivosti (A) je stejný pro všechna tělesa, rovná se sálavosti dokonale černého tělesa a závisí jen na absolutní teplotě“. Matematická formulace pro různá tělesa 1, 2, 3 vypadá takto :

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \frac{E_{A\check{C}T}}{A_{A\check{C}T}} = f(T) \quad (14)$$

Je nutné zmínit, že pohltivost šedých těles je menší jak 1 a jejich sálavost je menší než sálavost AČT. Sálavost černých těles je vždy maximální při jakékoliv teplotě. Zároveň z tohoto zákona vyplývá, že sálavost tělesa je tím větší čím větší je pohltivost tohoto tělesa. Proto lze konstatovat, že sálavost těles, jež „dokonale“ odrážejí dopadající energii, je blízká nule

11.5.4 Planckův zákon

Za zmínku stojí i Planckův zákon. Tělesa nevyzařují/nepohlcují spojitě, ale po kvantech. Figuruje nám zde další konstanta $h = 6,625 \cdot 10^{-34} J s$ tzv. Planckova konstanta. Má-li záření danou frekvenci f , pak energie e těchto kvant je dána podle následujícího vzorce.

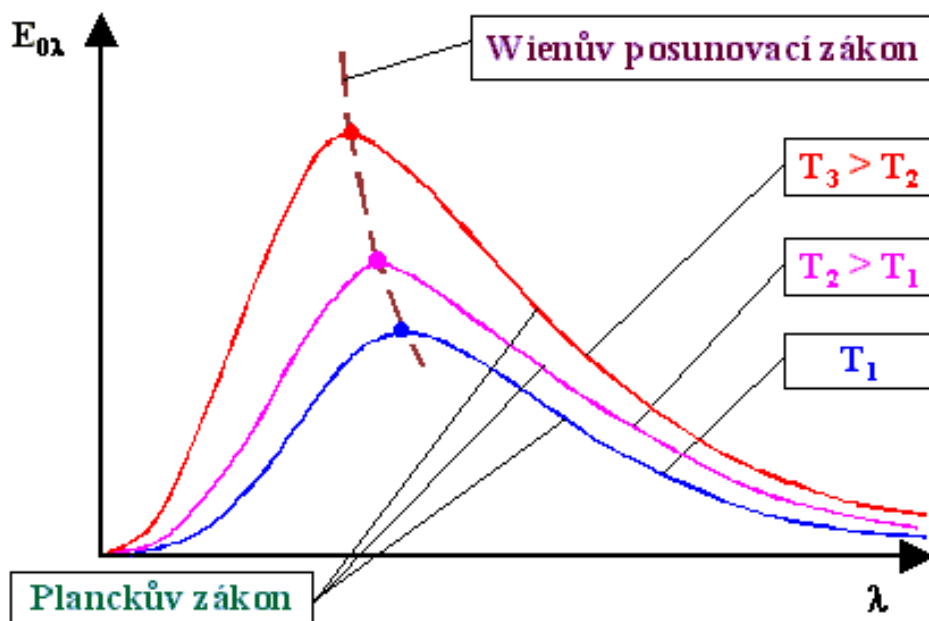
$$e = hf \quad (15)$$

11.5.5 Wienův posouvací zákon

Mezi další důležité zákony patří Wienův posouvací zákon, za něj obdržel i Nobelovu cenu za fyziku. Tento zákon popisuje posun maximální vlnové délky směrem ke kratším vlnovým délkám se stoupající teplotou. Matematicky ho můžeme napsat následujícím vzorcem :

$$\lambda_{Max} = \frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{T} \quad (16)$$

Existuje i grafické znázornění, které je daleko názornější. Dnes lze tento zákon odvodit od Planckova vyzařovacího zákona pomocí derivace spektrální hustoty zářivého toku AČT podle vlnové délky.



Obrázek 14: Wienův posouvací zákon graficky. [Zdroj 15]

11.6 Výměna tepla sáláním

V našem měření bude docházet k nesčetným výměnám, ať už mezi cívkou a kontakty, nebo rozváděčem a samotným prvkem, který se bude měřit jako první. Nehledě na výměny mezi samotnými prvky navzájem, kde v každém rozváděči jich najdeme nesčetně.

Jedná se o velice složitý děj, kde každá plocha s různou teplotou hraje svoji roli. Dochází zde k mnohonásobným odrazům a útlumům. Zde hraje velkou roli tvar tělesa, vzájemné vzdálenosti a poměrná pohltivost. Jsou-li známy rozměry, vlastnost povrchu a teplota lze provést výpočet užitím Stefan-Boltzmannova zákona. Tyto výpočty nejsou vůbec lehké a i s moderním výpočetním systémem mohou, pro složitá tělesa, zabrat spoustu času.

Nejlépe se princip vzájemné výměny ukazuje na dvou rovinných deskách, které na sebe navzájem sálají. Řekněme, že první deska vyzářuje energii E_1 směrem k druhé desce.

Velikost vyzářené energie z první desky směrem k druhé bude :

$$E_1$$

druhá deska má pohltivost A_2 a tedy pohltí od první desky následující množství :

$$E_1 A_2$$

a zároveň odrazí zpět směrem k první desce následující :

$$E_1(1 - A_2)$$

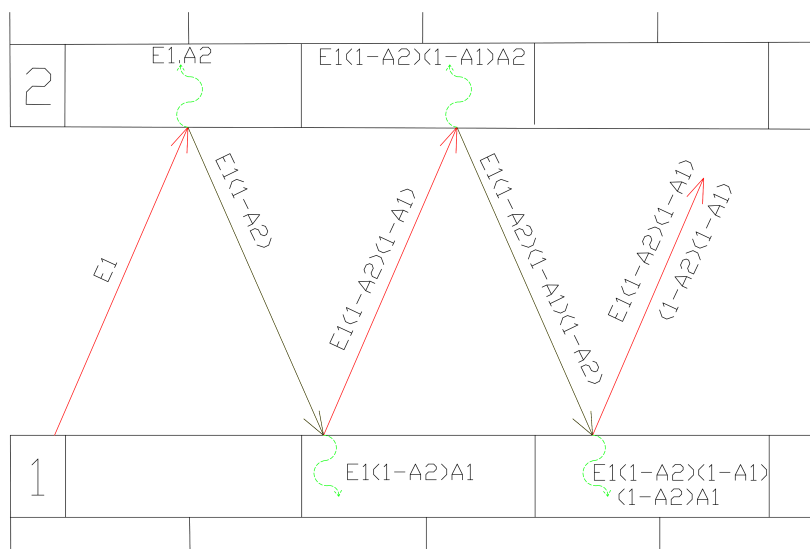
toto množství dopadá na první desku. Ta má svojí pohltivost A_1 a pohltí tedy :

$$E_1(1 - A_2)A_1$$

a zároveň odrazí směrem k druhé desce :

$$E_1(1 - A_2)(1 - A_1)$$

tento děj pokračuje až do ztracena, kdy lze nadneseně říci, že se jedná o nekonečný děj.



Obrázek 15: Schématické znázornění děje výměny energie.

Samozřejmě, že zároveň kdy první deska vysílá k druhé množství E_1 , vysílá také druhá k první své vlastní množství E_2 , pro které platí stejná úvaha jako je zmíněná výše pro E_1 .

Výsledný vzorec, pro výměnu tepla mezi dvěma rovinami je následující :

$$q_{12} = \frac{E_1 A_2 - E_2 A_1}{A_1 + A_2 - A_1 A_2} = C_n [(T_1)^4 - (T_2)^4] \quad (17)$$

Několikanásobné odrazy a vzájemné sálaní nám prakticky znemožňují praktické počítání. Je zřejmé, že každý složitější systém se skládá právě z takovýchto plošek, kterých je zde nespočet. Všechny pak na sebe navzájem takto sálají. Pro tyto výpočty existují programy, jako například Ansys Fluent, který umí tento děj spočítat. Je otázka do jaké míry je přesný a jaký algoritmus je přesně použit. Je tedy nutné zdůraznit, že tyto výpočty budou pouze orientační, bez ohledu, jaký výkon by na takový výpočet byl potřeba. Rendrování pak trvá v řádu desítek hodin, právě z výše zmíněného důvodu ohledně náročnosti na výpočetní hardware.

Část IV

Hodnoty z měření vybraných prvků

Cílem měření bylo získat matematický model pro konkrétní prvky. Je nutné zdůraznit, že tento model je velice specifický a přibližný, jelikož nelze zaručit ideální podmínky. Ať už se jedná o přístroje využití při měření, nebo samotný měřený prvek a v neposlední řadě lidský faktor. Základním měření bylo snímání teploty v čase při různých hodnotách proudů. Všechny naměřené hodnoty se nacházejí na přiloženém CD. Všechna měření byla zvolena tak, aby se navzájem co nejvíce shodovala.

12 Popis zpracování

Hodnoty uložené ve formátu .xlsx byly importovány do matematického prostředí Wolfram Mathematica 8.0. K tomu byla využita instrukce `Import["soubor.xlsx"]`. Následně jsem rozdělil celou měřenou oblast na podsekcce pomocí funkce „Drop, Take“. Každá podsekcce představuje svojí specifickou strmost, tak aby nedošlo k velkému zkreslení při prokládání. Následně tyto sekce byly proloženy stejným způsobem, jak bude popsáno níže.

Samotné proložení dat je možné vícero způsoby. Vybral jsem způsob, kde základním řešením je následující rovnice (15). Rovnou si její základní formu matematicky upravíme.

$$mc \frac{dT}{dt} = P - \alpha S(T - T_0) \quad (18)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{mc} - \frac{\alpha S(T - T_0)}{mc} \quad (19)$$

Nyní dosadíme $P = RI^2$ a označíme parametry, kde $k_1 = \frac{R}{mc}$ a $k_2 = \frac{\alpha S}{mc}$ budou konstantní koeficienty. Zároveň dosadíme i teplotu okolí $dT = d(T - T_0)$. Těmito úpravami dostaneme výsledný vzorec, který bude dále používán pro prokládání.

$$\frac{d(T - T_0)}{dt} = k_1 I^2 - k_2 (T - T_0) \quad (20)$$

První data proženeme funkcí `MovingAverage[data, kolik]`, která nám zjemní data, aby mohla být následně derivována²⁸. Dále použijeme příkaz interpolace : `Interpolation[data, InterpolationOrder→3]` a označíme ji `intT`. Tato funkce prokládá vstupní data podle příznaku „Order“, kde každé číslo představuje jiný stupeň proložení²⁹. Následně byly vybrány krajní intervaly a označeny příslušně t_1, t_2 , jedná se tedy o meze dané křivky. Stejně proložení bylo provedeno i pro data s proudem, tyto data byly označeny `intI`. Příkazem `Table[{výrazy[t]}, {t, t_MIN, t_MAX, krok}]` dostaneme ze vstupních dat list v závislosti na hodnotě t od minima do maxima podle určeného kroku. Tento příkaz byl konkrétně označen `dataSI`.

²⁸Velké množství dat naměřených v části B umožní jejich zprůměrování (po 20ti). Kdyby nebylo provedeno, tak by derivace v některých bodech mohly být nulové, jelikož data mají houpatící charakter.

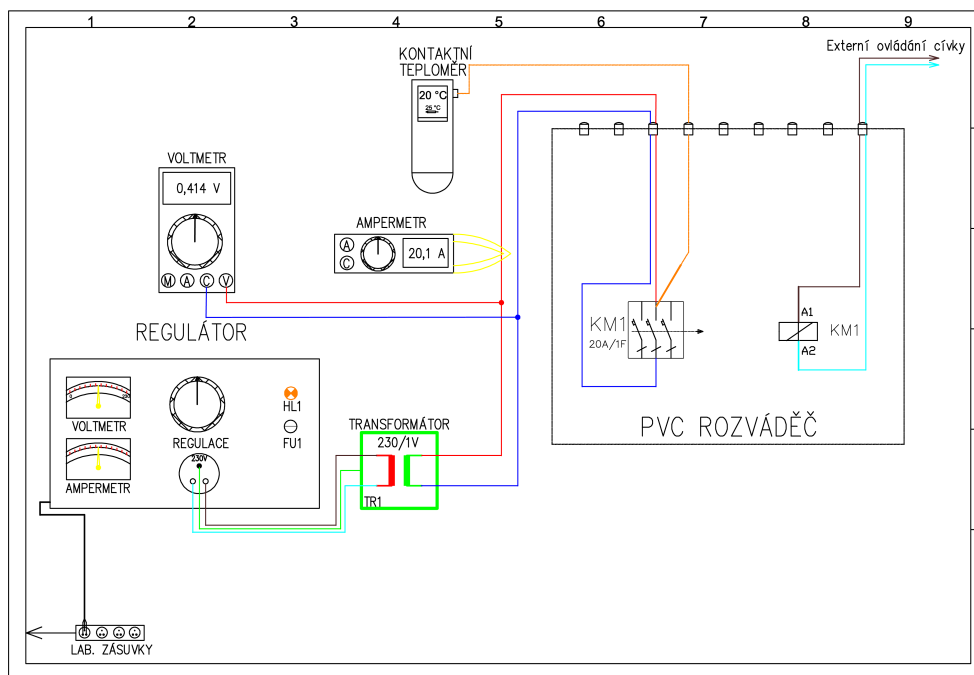
²⁹Např. 0 je proložení konstantou, 1 je propojení přímkou, 2 je kvadratický základ atd..

Následně byl aplikován příkaz $Fit[data, \{funkce\}, \{proměnné\}]$, který najde nejvhodnější aproximaci vstupních dat pomocí nejmenších čtverců kombinací lineárních proměnných. Tento příkaz je označen $nahrderSI$. Z toho byla vytvořena rovnice která byla ve formě $nahrderSI = T'[t], T[t_1] = intT[t_1]$. Na ni je aplikován $NDSolve[rce, y, \{x, x_{MIN}, x_{MAX}\}]$, který vyřeší diferenciální rovnici bez větších obtíží. Posledním krokem bylo vykreslení grafu, pomocí funkce „Plot, Show“.

13 Stykač

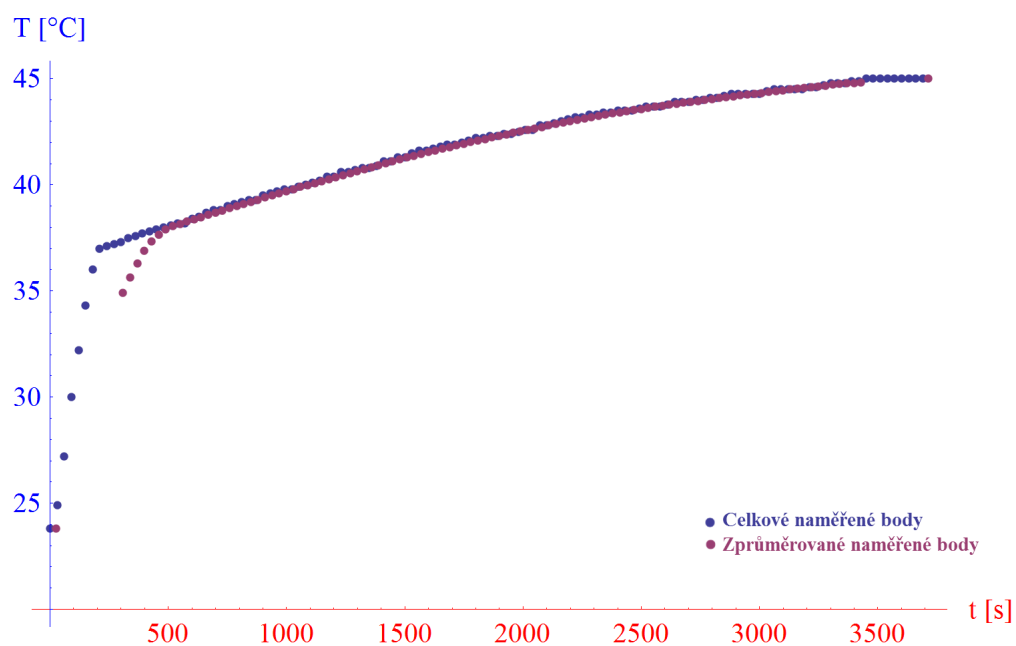
13.1 Popis měření

Prvním měřeným prvkem byl stykač KM1. Měření probíhalo dle schématu níže a bylo opakováno pro tři hodnoty proudu - 10A, 20A, 30A. Odečítání hodnot bylo prováděno manuálně za pomoci kontaktního teploměru a stopek. Odečítáno bylo po 30 sekundovém intervalu. Hodnoty byly přenášeny do sešitu microsoft excel ve sledu : t [min] ; t [s] ; T [°C] ; U [V] ; I [A]. Následující schéma popisuje měření, kde tabulky použitých přístrojů lze nalézt v příloze.

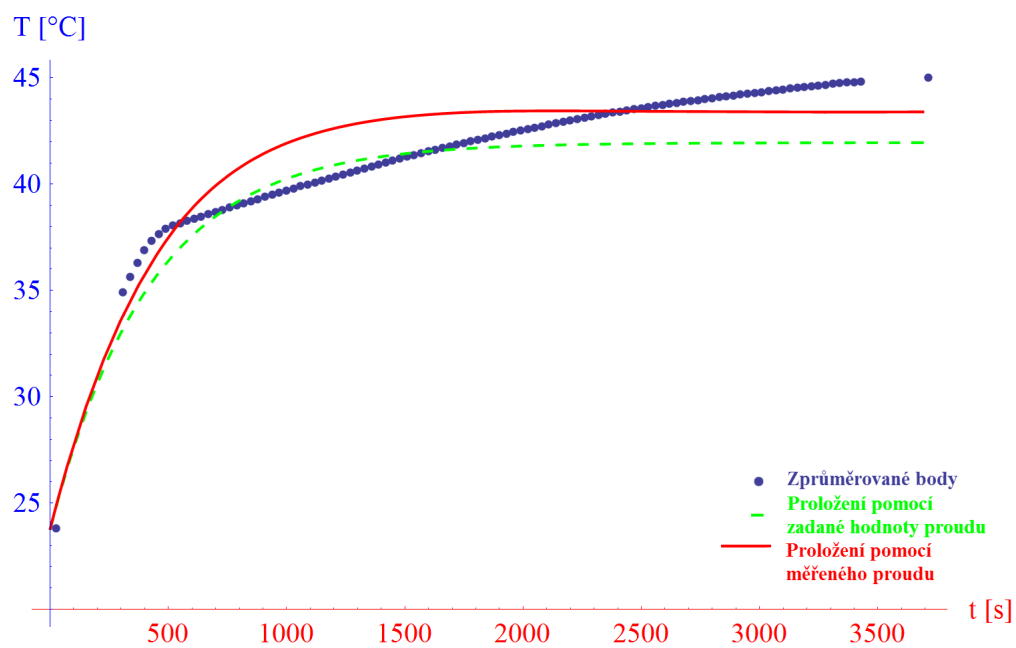


Obrázek 16: Zapojení pro měření stykače

13.2 Grafy z naměřených hodnot



Obrázek 17: Graf bodů



Obrázek 18: Graf proložení

13.3 Závěr z měření stykače

První poznatek z měření je takový, že síť v laboratoři je velice měkká. Hned při prvním měření, kdy při spuštění dalšího spotřebiče pokleslo napětí o necelou $\frac{1}{4}$ a tím se narušila spjitost oteplování. Toto měření bylo opakováno a zajištěno, aby se nepouštěly jiné spotřebiče v laboratoři.

Dalším zjištěním je, že je dobré měřit pro hodnoty větší než-li menší, samozřejmě pokud to dovolí podmínky. Tím se zamezí dominantnímu sálání a konvekci do okolí nad přichozím elektrickým výkonem a eliminuje se tak nepřesnost pro následující predikci hodnot.

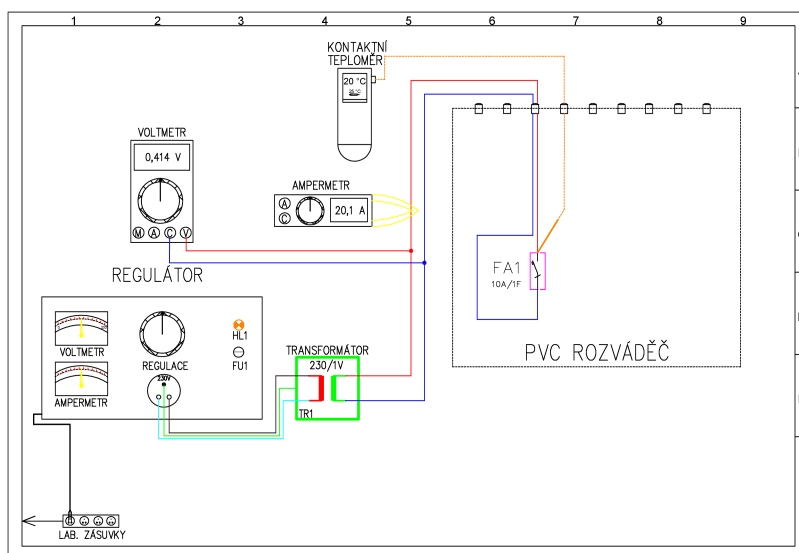
Zároveň je z grafů vidět, že se systém chová jako model o malé a velké tepelné kapacitě. Lze pozorovat dvě části nástupu. První část je velice rychlá, kdy teplota narůstá velmi strmě, druhá je pozvolná a ustálení zde trvá v řádu desítek minut. Detailní analýza tohoto jevu je nad rámec této práce, ale můj osobní odhad je takový, že kontakt je tvořen ze dvou materiálů, kde šroubový spoj je nejspíše z hliníku a samotný vodící prvek mezi kontakty je z mosazi. Každý poté má jinou kapacitu, ať už díky rozdílným rozměrům, nebo také kvůli rozdílnosti materiálu - respektive jejich tepelných vlastností.

I když byl stykač dimenzován na 10A, nebyl pro něj problém vydržet trojnásobný proud. Teoreticky by měl stykač vydržet takový proud, než se začne tavit nejslabší článek.

14 Jistič

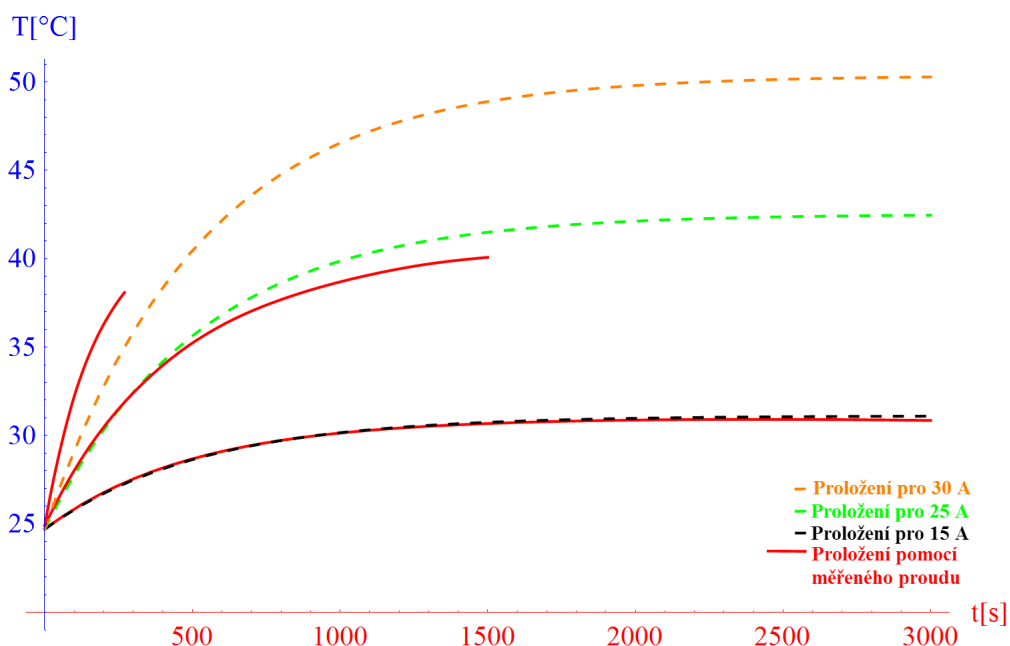
14.1 Popis měření

Druhým měřeným prvkem byl jistič s označením FA1. Měření probíhalo dle schématu níže a bylo provedeno pro tři hodnoty proudu - 15A, 25A, 30A. Hodnota pro 15A byla proměřena celá, jelikož jistič je dimenzován na 16A. Ostatní hodnoty se proměřily do doby, než jistič vybavil.



Obrázek 19: Zapojení pro měření jističe

14.2 Grafy z naměřených hodnot



Obrázek 20: Graf proložení pro 30A, 25A,15A

14.3 Závěr z měření jističe

Proměřovaný jistič byl od firmy OEZ. Jedná se o poměrně nový typ jističe a fungoval bez větších obtíží. Za připomenutí stojí fakt, že i když je jistič psán na 16A, nemá problém snést i dvojnásobek hodnoty. Po nějaké době samozřejmě zareagovala bimetalová spoušť, ovšem podle normy by takový násobek I_n měla vypnout do 45 sekund, což dodrženo nebylo.

Základním bodem bylo změřit proud pro 15 A a predikovat oteplení pro větší hodnoty. Hodnoty byly odečteny z grafu pro právě 15 A a zjištěno kam se dostane jistič při 25 A a 30 A, pomocí přiloženého programu. Tento odhad byl následně ověřen tento odhad.

Dále je z měření patrné, že se jistič chová odlišně. Nárůst grafu je více ucelený, není tak rozdělený jako v případě stykače. Lze tedy považovat jistič za více jednotný z hlediska materiálu, jelikož zde není vícero tepelných kapacit. Z tohoto důvodu byl také program upraven a použito celistvé proložení, jelikož rozdělení dat tu nebylo zapotřebí.

15 Závěrečné zhodnocení

První část práce by měla poskytnout ucelený náhled na základní prvky nacházejících se v rozváděči. Cílem této části bylo seznámit s funkcí, dělením a charakteristikami vybraných prvků.

Druhá část práce směřovala k základům sdílení tepla. Tento obor je velice rozsáhlý a bylo by nad hranice této práce zachytit všechny děje v tomto oboru. Pro bližší přiblížení doporučuji nahlédnout do literatury [zdroj 0] uvedou v příloze, která je víc než podrobná.

Posledním úkolem bylo samotné měření, které mělo odhadnout chování prvků v nejspolehlivějších stavech. Tento fakt byl prozkoumán a ověřen. Je zde jistá odchylka, kterou je možné pozorovat v grafech. Tato nesrovnalost je způsobena tím, že nebylo možné udržet konstantní proud dodávaný poměrně měkkým zdrojem. Pro lepší měření bych doporučoval tvrdší zdroje s automatickou regulací. Přesto lze odhadnout, že odchylka se pohybuje okolo 10%.

Porovnání charakteristik jističe a stykače si lze povšimnout onoho jevu, který byl probrán v závěru stykače. Tedy jevu dvou tepelných kapacit, kde u jističe takovýto trend nepozorujeme.

S následujícím programem je možné, pomocí uvedených přístrojů v příloze, proměřit všechny prvky v rozváděči, pokud to místní podmínky dovolí.

Rozdíl mezi bezkontaktním snímáním teploty přes termokameru a kontaktním snímáním přes teploměr je nepatrný. U termokamery ovšem musíme nastavit emisivitu, k čemuž stejně potřebujeme kontaktní teploměr, nebo termočlánek, popřípadě známost materiálu. Jelikož data z termokamery a teploměru byla shodná s odchylkou do 5 %, byl zvolen způsob kontaktního teploměru. Je třeba zdůraznit, že jakmile se proměří jeden prvek jednou metodou, bylo by na místě všechny proměřovat tou stejnou metodou, aby se nezanášela chyba odlišnosti přístrojů.

Samotný program naleznete v příloze. Na přiloženém CD se nachází dvě verze programu, kde první program prokládá s rozdělením dat na dvě části (viz schéma programu v příloze). Tato metoda je výhodná z hlediska přesnosti, jelikož přímý proklad zanáší o něco větší chybovost a to v místech, kde je charakteristika strmější a není zde taková četnost bodů. Pro tuto část je navrženo proložení bez průměrování. Na druhou stranu použití přímého uceleného prokladu je rychlejší a komfortnější z hlediska měření vícero druhů prvků. Každý prvek se totiž chová odlišně, jak bylo ukázáno v porovnání stykač - jistič.

16 Přílohy

16.1 Osobnosti

Michail Alexandrovič Michejev

Narodil se 7/6/1902 v Tambovské oblasti a zemřel 6.7.1970 v Moskvě. Byl to ruský vědec hlavně v oblasti energetiky. Mimo jiné publikoval Základy sdílení tepla a Modelování tepelných zařízení.



Obrázek 21: Michail Alexandrovič Michejev [Zdroj 15]

Gustaf Kirchhoff

Narodil se 12/3/1824 v Prusku a zemřel 17.10.1887 v Berlíně. Byl to významný německý fyzik, který se proslavil v oblasti elektřiny a spektroskopii. Jedná se o žáka Carla Friedricha Gausse.



Obrázek 22: Gustaf Kirchhoff [Zdroj 16]

Joseph Henry

Narodil se 17/12/1797 v Albaně (NY) a zemřel 13.5.1878 ve Washingtonu. Byl to americký vynálezce a fyzik, který se proslavil v oblasti elektromagnetismu. Jednotka indukčnosti je právě po svém objeviteli.



Obrázek 23: Joseph Henry [Zdroj 17]

16.2 Použité přístroje k měření

Samotné naměřené údaje lze najít na CD přiloženém k této práci, protože se jedná o rozsáhlá data.

Použité přístroje pro měření

Většina přístrojů je majetkem Katedry Elektroenergetiky FEL ČVUT a v době měření byla zde k dostání. Ampérmetr, skříň, jistič a stykač jsou majetkem společnosti Energocentrum Plus s.r.o sídlící ve školním areálu.

Schéma	Označení, název, výrobce
Regulátor	SPARSTELLTRAFO, LSS 010
Voltmetr	UNI-T UT33A multimetr
Ampérmetr	BEL, DM6056C, clamp meter
Transformátor	Bez označení. Vlastnictví vedoucího práce
Kontaktní teploměr	Laser Sight, LS-D2006-01-A
Stykač KM1	230V,50Hz,10A, V16D
Jistič FA1	OEZ, 16/B, 1F, Nr.22-U16A
Stopky	Mobil Jiayu G3S

Tabulka 5: Tabulka použitých přístrojů k měření

16.3 Seznamy

Seznam základních symbolů

Symbol	[Jednotka]	Název veličiny
C_n	$[Wm^{-2}K^{-4}]$	Složený součinitel sálání těles
E	$[Wm^{-2}]$	Hustota zářivého toku
$E_{AČT}$	$[Wm^{-2}]$	Hustota zářivého toku AČT
Q	$[J]$	Množství tepla
S	$[m^2]$	Uvažovaná plocha
T	$[K]$	Teplota absolutní
t	$[s]$	Uvažovaný čas
α, h_k	$[Wm^{-2}K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla (koeficient přenosu tepla konvekcí)
σ	$[Wm^{-2}K^{-4}]$	Stefan-Boltzmannova konstanta ($5,669 \cdot 10^{-8}$)
ε	$[-]$	Emisivita
λ	$[Wm^{-1}K^{-1}]$	Tepečná vodivost

Tabulka 6: Tabulka symbolů a jednotek

Součinitel přestupu tepla je možné značit jak α , tak i h_k (od anglického slova „heat“). V práci je upřednostněno písmenko α .

Seznam obrázků

1	Otevřená skříň malého rozváděče 600x800 mm firmy Schrack.	11
2	schématická značka třífázového stykače.	12
3	Model elektromagnetického stykače.	12
4	schématická značka pro relé.	14
5	Výkonové a signálové relé. [Zdroj 9]	14
6	schématická značka jističe.	15
7	Charakteristika proud-čas pro jističe B,C,D. [Zdroj 0]	16
8	schématická značka pojistky.	17
9	Pojistka nožová, trubičková s patici, keramická a autopojistka.	18
10	Malý transformátor 160VA a zdroj 240W.	20
11	Schéma tepelného odporu pro ustálený stav. [Zdroj 12]	22
12	Schéma tepelného odporu pro přechodný stav. [Zdroj 13]	22
13	Konvekce, sálání a vedení tepla. [Zdroj 14]	24
14	Wienův posouvací zákon graficky. [Zdroj 15]	28
15	Schématické znázornění děje výměny energie.	29
16	Zapojení pro měření stykače	32
17	Graf bodů	33
18	Graf proložení	33
19	Zapojení pro měření jističe	34
20	Graf proložení pro 30A, 25A,15A	35
21	Michail Alexandrovič Michejev [Zdroj 15]	I
22	Gustaf Kirchhoff [Zdroj 16]	I
23	Joseph Henry [Zdroj 17]	I
24	Schéma programu	VII

Seznam tabulek

1	Kategorie střídavých a stejnosměrných stykačů. [Zdroj 24]	13
2	Barevné označení keramických pojistek. [Zdroj 25]	18
3	Rozdělení teplot. [Zdroj 26]	21
4	Rozdělení A,R,D těles.	26
5	Tabulka použitých přístrojů k měření	II
6	Tabulka symbolů a jednotek	II
7	Tabulka části naměřených dat pro jistič 25 A	VIII

16.4 Použitá literatura

Seznam knižních a internetových zdrojů, ze kterých se čerpalo v bakalářské práci.

Zdroj 0 : Elektromechanické měniče, ČVUT Praha, FEL, 2011, ISBN 978-80-01-04875-7, Petr Voženílek, Vladimír Novotný a Pavel Mindl.

Zdroj 1 : Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav, ČVUT Praha, FEL, 2011, ISBN 978-80-01-04940-2, Josef Tlustý a spol.

Zdroj 2 : Montáž a připojování elektrických přístrojů, IN-EL Praha, 1999, ISBN 978-80-86230-12-2, Ing. Michal Kříž.

Zdroj 3 : Projektování elektrických zařízení, IN-EL Praha, 1999, ISBN 978-80-86230-10-8, Ing. Karel Dvořáček, Ing. Vincent Csirik.

Zdroj 4 : Příručka pro zkoušky elektrotechniků, IN-EL Praha, 2009, ISBN 978-80-86230-47-4, Ing. Michal Kříž.

Zdroj 5 : Firemní poklady OEZ

Zdroj 6 : Firemní poklady Moeller

Zdroj 7 : PV education PV Education

Zdroj 8 : Optika Doc. Ing. Pavelek, Csc. Web VUTRB

16.5 Zdroje obrázků

schématické značky jsou překresleny podle ČSN norm.

Zdroj 9 : obrázek 5 : Výkonové a signálové relé - Web ELKO ep

Zdroj 10 : obrázek 6 : Pracovní oblasti spínacích prvků - ze Zdroje 1, strana 198

Zdroj 11 : obrázek 9 : Charakteristika proud-čas pro jističe B,C,D - ze Zdroje 1, strana 206

Zdroj 12 : obrázek 11 : Schéma tepelného odporu pro ustálený stav - přednášky A1B13VVZ

Zdroj 13 : obrázek 12 : Schéma tepelného odporu pro přechodný stav - přednášky A1B13VE1

Zdroj 13 : obrázek 13 : Konvekce, sálaní a vedení tepla - Web Schoolworkhelperu

Zdroj 14 : obrázek 14 : Wienův posouvací zákon graficky - Web VUTBR

Zdroj 15 : obrázek 21 : Michail Alexandrovič Michejev - Ruská wikipedia

Zdroj 16 : obrázek 22 : Gustaf Kirchhoff - Web univerzity Heidelberg

Zdroj 17 : obrázek 23 : Joseph Henry - Anglická wikipedia

16.6 Zdroje tabulek

Tabulky jsou přepsány a upraveny. Základní podobu najdete ve zdrojích uvedených níže.

Zdroj 24 : tabulka 1 : Kategorie střídavých a stejnosměrných stykačů - ze Zdroje 1, strana 190

Zdroj 25 : tabulka 2 : Barevné označení keramických pojistek - ze Zdroje 2, strana 129

Zdroj 26 : tabulka 3 : Rozdělení teplot - přednášky Ing. Jiří Zdeněk, CSc., předmět A0B13MIS

16.7 Program - jistič 15 A

In[1]:= **Nastaveni exportu;**

```
ClearAll[Evaluate[Context[] <> "*"]]  
ClearAll["Global`*"];  
SetAttributes[exp, {HoldAll, Listable}];  
exp[co_] := Module[{a, graf}, a = ToString[Unevaluated[co]]; graf := Evaluate[co];  
    Export[Evaluate[a <> ".png"], graf, ImageResolution -> 300];
```

In[6]:= **Zakladni nastaveni;**

```
SetDirectory[NotebookDirectory[]]; (*Nastaveni slozky projektu*)  
dataIn = Import["Jistic_15A.xlsx"][[1]]; (*Nacteni dat*)  
datacela = Drop[dataIn, 1];  
Length[dataIn];  
Needs["PlotLegends`"]
```

In[12]:= **Nastaveni dat;**

```
(*FormAt dat a=t[min], b=t[s], c=T[st.C], d=I, e=U*)  
data = datacela /. {a_, b_, c_, d_, e_} -> {b, c - T0};  
databez = datacela /. {a_, b_, c_, d_, e_} -> {b, c};  
dataproud = datacela /. {a_, b_, c_, d_, e_} -> {b, d};  
p11 = ListPlot[data];  
  
T0 = First[databez][[2]] ;  
(*Teplota okoli-brÄna jako zacatecni teplota prvku*)  
nAV = 25; (*Nastaveni filtrace*)  
current = 15; (*Nastaveni proudu*)
```

In[20]:= **Vyber dat;**

```
dataprvy = List[First[data]];  
dataproudprvy = List[First[dataproud]];  
dataposledni = List[Last[data]];  
dataproudposledni = List[Last[dataproud]];  
  
dataNovy1 = MovingAverage[data, nAV];  
dataNovy2 = Union[dataprvy, dataNovy1];  
dataNovy = Union[dataNovy2, dataposledni];  
  
dataNovyproud1 = MovingAverage[dataproud, nAV];  
dataNovyproud2 = Union[dataproudprvy, dataNovyproud1];  
dataNovyproud = Union[dataNovyproud2, dataproudposledni];  
  
p1 = ListPlot[data];  
plav = ListPlot[T0 + dataNovy];
```

In[33]:=

Vypocet;

```

intT = Interpolation[dataNovy, InterpolationOrder → 3];
intI = Interpolation[dataNovyproud, InterpolationOrder → 3];

{t1, t2} = intT[[1, 1]];

datsSI = Table[{intT[t], intI[t]^2, intT'[t]}, {t, t1, t2,  $\frac{t2 - t1}{150}$  }];
nahrderSI = Fit[datsSI, {T, ikvadrat}, {T, ikvadrat}];

rce = {(nahrderSI /. {T → T[t], ikvadrat → intI[t]^2}) == T'[t], T[t1] == intT[t1]};
res = NDSolve[rce, T, {t, t1, t2}][[1]];

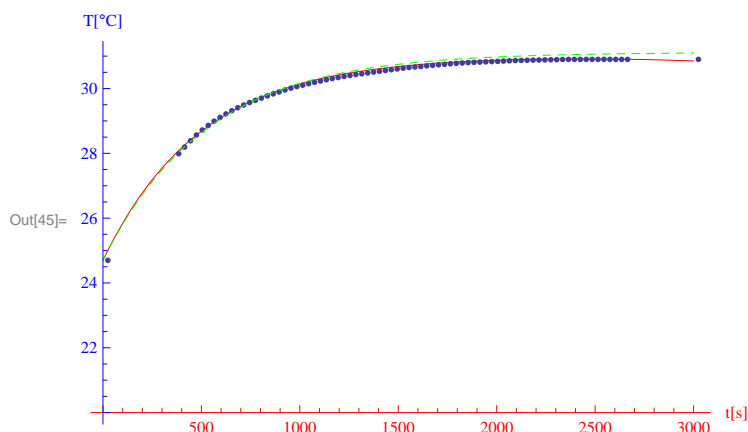
Labeled[proloz2 = Plot[T0 + T[t] /. res, {t, t1, t2},
  PlotStyle → Red, PlotRange → All, AxesOrigin → {0, 20},
  AxesStyle → {Directive[Red], Blue}, AxesLabel → {"t[s]", "T[°C]"}],
  Style["Graf prolození interpolací proudu", "Graphics", FontSize → 18]];

rce2 = {(nahrderSI /. {T → T[t], ikvadrat → current^2}) == T'[t], T[t1] == intT[t1]};
res2 = NDSolve[rce2, T, {t, t1, t2}][[1]];

Labeled[proloz10 = Plot[T0 + T[t] /. res2, {t, t1, t2},
  PlotStyle → {Dashed, Green}, PlotRange → All, AxesOrigin → {0, 20},
  AxesStyle → {Directive[Red], Blue}, AxesLabel → {"t[s]", "T[°C]"}],
  Style["Graf prolození ", "Graphics", FontSize → 18]];

Labeled[Show[proloz2, plav, proloz10],
  Style["Graf bodu s prolozením", "Graphics", FontSize → 18]]
(*intI>>"proud15";*)

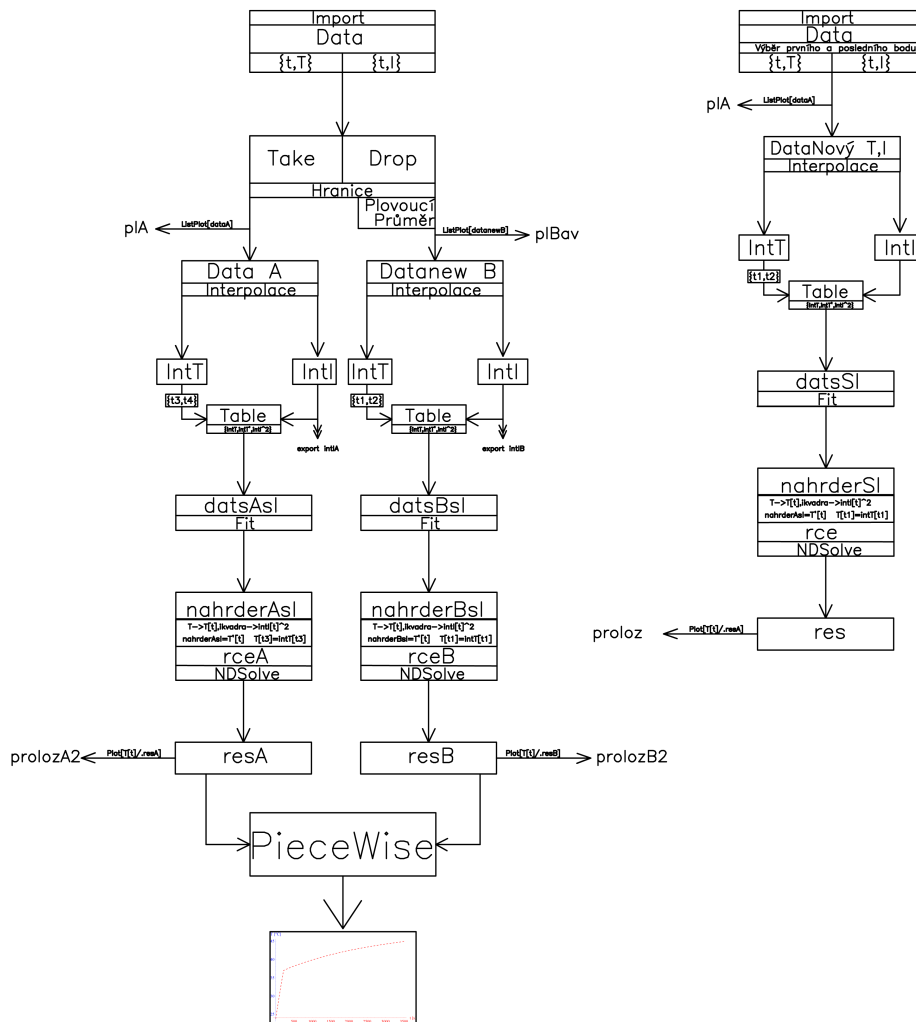
```



Graf bodu s prolozením

16.8 Schéma programu

Vlevo program pro měření s rozdělenými daty, kde by zprůměrování poškodilo nástupní část dat. Vpravo se pak nachází program, který prokládá vše naráz, bez zprůměrování.



Obrázek 24: Schéma programu

16.9 Příklad naměřených dat

Příklad části naměřených dat pro jistič při proudu 25 A.

t [min]	t [s]	T [°C]	I [A]	U [V]
0	0	24,9	25,2	0,78
$\frac{1}{2}$	30	25,7	24,4	0,77
1	60	27,1	24,2	0,78
$1\frac{1}{2}$	90	28,1	24,1	0,78
2	120	29,2	24	0,8
$2\frac{1}{2}$	150	30	23,8	0,78
3	180	30,8	24,4	0,81
$3\frac{1}{2}$	210	31,5	24,4	0,81
4	240	32	24,3	0,80
$4\frac{1}{2}$	270	32,6	24,2	0,80
5	300	33	24,2	0,81
$5\frac{1}{2}$	330	33,6	24,2	0,80
6	360	34	24,1	0,81
$6\frac{1}{2}$	390	34,4	24,1	0,81
7	420	34,7	24,1	0,81
$7\frac{1}{2}$	450	35,1	24	0,81
8	480	35,3	23,9	0,81
$8\frac{1}{2}$	510	35,7	24	0,80
9	540	35,9	24	0,80
$9\frac{1}{2}$	570	36,2	24	0,81
10	600	36,4	23,9	0,81
$10\frac{1}{2}$	630	36,6	23,9	0,81
11	660	36,8	23,8	0,81
$11\frac{1}{2}$	690	37	23,8	0,81
12	720	37,1	23,8	0,81
$12\frac{1}{2}$	750	37,3	23,8	0,81
13	780	37,4	23,8	0,81
$13\frac{1}{2}$	810	37,6	23,8	0,81
14	840	37,7	23,7	0,80
$14\frac{1}{2}$	870	37,8	23,7	0,81
15	900	37,9	23,8	0,81
$15\frac{1}{2}$	930	38,1	23,8	0,81
16	960	38,1	23,8	0,81
$16\frac{1}{2}$	990	38,3	24,3	0,83
17	1020	38,6	24,3	0,83
$17\frac{1}{2}$	1050	38,37	24,3	0,83
18	1080	38,9	24,2	0,83
$18\frac{1}{2}$	1110	39	24,1	0,83
19	1140	39,2	24,1	0,83
$19\frac{1}{2}$	1170	39,3	24,2	0,83
20	1200	39,4	24,1	0,83

Tabulka 7: Tabulka části naměřených dat pro jistič 25 A