

Jihočeská universita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta

**Vývoj měřicího systému pro bezkontaktní testování relé  
zabezpečovacího systému**

Vypracoval: Radomír Stránský

Vedoucí diplomové práce: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph. D.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vývoj měřicího systému pro bezkontaktní testování relé zabezpečovacího systému vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Tímto souhlasím v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Chtěl bych touto cestou poděkovat všem, kteří mi poskytli cenné informace při technické realizaci úkolu, opravách již napsaného textu a uskutečněných měření.

## **Anotace**

Práce popisuje metodu pro bezkontaktní testování stavů relé zabezpečovacího systému. Dále obsahuje popis použitého měřicího systému a speciálně pro tento účel vyvinutých detektorů. Součástí práce je též programové vybavení, které autor vyvinul pro záznam, analýzu a uchování získaných dat o konkrétním testovaném relé.

## **Abstract**

This thesis describes method of the detection of unique states of security relays. The work also describes applied measuring system and developed special detectors. The work includes measuring and controlling software, developed by author for data acquisition and analysis of the state of the tested relay.

## Obsah

1	Úvod a cíle práce .....	7
2	Zabezpečovací relé jako součást bezpečného zařízení .....	8
2.1	Druhy relé v zabezpečovací technice .....	8
2.2	Typy elektromechanických relé.....	9
2.3	Částečný popis některých vybraných typů relé .....	10
2.3.1	Neutrální elektromagnetická relé.....	10
2.3.2	Indukční relé .....	11
2.4	Magnetický obvod relé a jeho mechanická konstrukce.....	12
3	Alternativní postupy pro bezkontaktní metody testování funkce relé.....	16
3.1	Akustická detekce.....	16
3.2	Optická diagnostika .....	18
3.3	Měření magnetického pole relé .....	19
3.4	Volba metody .....	19
3.4.1	Popis Hallova jevu.....	20
3.4.2	Možnosti umístění detektoru s Hallovou sondou .....	21
3.5	Další převodníky fyzikálních veličin.....	22
3.5.1	Převodník teplota napětí .....	23
3.5.2	Převodník tlak napětí .....	23
3.6	Kalibrace měřících přístrojů .....	24
4	Diagnostický měřící systém.....	25
4.1	Napájecí zdroj operačních zesilovačů detektoru .....	26
4.2	Volba a realizace snímače včetně zesilovače .....	29
4.2.1	Popis zapojení přístrojového zesilovače.....	29
4.3	Použitý měřící systém.....	31
4.3.1	Napájecí zdroj pro měřící systém .....	32
4.3.2	Interface .....	33
4.3.3	Převodník.....	33
4.3.4	Multiplexer .....	35
4.4	Programové vybavení .....	35
4.4.1	Diagram tříd ovládacího programu .....	37
4.4.2	Ovládací uživatelská aplikace měřící jednotky .....	38

5	Aplikace a výsledky diagnostické metody .....	42
5.1	Podmínky při měření .....	43
5.2	Výsledky měření.....	45
5.3	Příklady dalších naměřených hodnot.....	53
6	Závěr.....	57
7	Literatura .....	59
8	Přílohy .....	60
8.1	Typové listy některých použitých součástí.....	60
8.1.1	Hallova sonda KMZ10A .....	60
8.1.2	Operační zesilovač TL071CP.....	64
8.1.3	Senzor MPX4112A .....	65
8.2	Vyobrazení a popis použitých konektorů .....	66

# 1 Úvod a cíle práce

Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivé funkce slouží reléový zabezpečovací systém (RZZ) [1, 2]. Hlavními konstrukčními prvky tohoto systému jsou, pro tyto účely speciálně vyvinutá malorozměrová zabezpečovací relé. Návrh reléového zabezpečovacího zařízení je proveden tak, že detekce jednotlivých stavů, ve kterých se zařízení nachází, například vlivem obsluhy, jízdou vlaků, poruchových událostí, se přímo odráží v jeho další činnosti. Informace o činnosti takového zařízení je přímo generována vlastním RZZ. Kontrola jednotlivých stavů, ve kterých se RZZ nachází, je indikována pomocí indikačních prvků na obslužných a dohlédacích pracovištích. Obsluhující zaměstnanec pak rozhoduje o dalším řešení vzniklých situací s ohledem na platné předpisy.

Pro činnosti spojené s údržbou a ověřování funkce by bylo výhodné vyvinout přístroj, který by jednak detekoval stavy konkrétních relé a také umožňoval získané informace po jistý čas uchovávat. Takto zpracované signály pak dále, dle možností, vyhodnocovat a na základě vyhodnocení provést závěry kontroly. Přístupů k řešení uvedeného problému je několik. Prvním hlediskem při výběru řešení je požadavek, že se nesmí do již zkonstruovaného zařízení zasahovat.

U konstrukce bezpečnostního zařízení by nebylo vhodné jeho činnost ovlivňovat přidáním kontrolních prvků do jeho obvodů a tím, když ne přímo znehodnotit, tak ovlivnit míru poruchovosti. Jedna možnost by se však mohla naskytnout, pokud by na kontaktní sadě relé byl volný jeden z jeho doteků. Takový dotek by se dal využít pro přímou indikaci jednotlivých stavů relé. V praxi se ale nedá předpokládat, že se na každém relé bude nacházet volný kontakt. Z těchto důvodů se jeví vhodnější navrhnout metodu bezkontaktního způsobu detekce stavů relé.

Hlavním cílem této práce je vyvinout metodu, případně testovací systém, který by bez mechanického i elektrického zásahu do RZZ měl schopnost ověřovat funkci výše uvedených relé. Za tímto účelem bylo nutno

- vytipovat metodu bezkontaktního ověřování funkce relé
- vyvinout a oživit odpovídající testovací systém funkce relé
- pro daný systém napsat základní programové vybavení
- otestovat systém při simulovaném provozu více než jednoho relé.

## 2 Zabezpečovací relé jako součást bezpečného zařízení

V RZZ se používá několik typů relé, dělených do skupin dle bezpečnosti. Podstatnou roli však hrají relé, která jsou konstrukčně uspořádána tak, že je lze použít jako bezpečného ovládacího prvku. Bezpečností je myšleno takové konstrukční řešení, které zaručí odpad kotvy relé a následně rozpojení jeho kontaktů při dané hranici napětí na vinutí, které vytváří magnetické pole určené pro ovládání kotvy. Z ekonomického pohledu je možno konstatovat, že se cena reléových prvků zvyšuje s ohledem na kladené nároky, které mají v zabezpečovacím systému plnit.

### 2.1 Druhy relé v zabezpečovací technice

Relé používané v zabezpečovací technice lze rozdělit do několika skupin dle různých technických parametrů [1].

Dělení dle principu činnosti:

- elektromagnetická
- indukční
- tepelná, založená na principu bimetalu
- elektronická, namísto klasických kontaktů je zde použito spínání pomocí polovodičové techniky

Dělení dle napájecího proudu:

- stejnosměrná
- střídavá
- stejnosměrná i střídavá

Dělení dle toho, zda je funkce relé závislá na směru toku proudu vinutím:

- neutrální
- polarizovaná

Dělení dle doby přitahu relé [1]:

- rychlá  $t_p < 1 \text{ ms}$
- normální  $t_p < 100 \text{ ms}$
- zpožděná  $t_p > 100 \text{ ms}$  zároveň  $t_p < 10000 \text{ ms}$
- časová  $t_p > 1 \text{ s}$



## 2.2 Typy elektromechanických relé

Jednotlivá relé se v zabezpečovací technice dělí do několika bezpečnostních skupin [1]. Jako první skupinu lze uvést relé 1. bezpečnostní skupiny (dle UIC – typ N – bez dohledu) [1]. U těchto relé je kladen požadavek na bezpečné odpadnutí kotvy při bezproudovém nebo takovém proudu v cívce relé, který nepřevyšuje přípustný proud pro odpad kotvy. Kotva odpadá sama vlastní vahou vlivem gravitace a kontaktní systém je uváděn do stavu, který je v nucené závislosti na poloze kotvy a mezi jednotlivými kontakty sady. To znamená, že jednotlivé kontakty jsou společně spojeny plastovým žebříčkem, který zabezpečí požadovaný společný chod. Bezpečné obvody jsou konstruovány použitím spínacích kontaktů, které nesmí zůstat spojené v klidovém stavu relé, tj. odpadlé kotvě. Tyto kontakty jsou zhotoveny z takových materiálů, které jsou při proudovém přetížení nesvařitelné. Spínací kontakty jsou vyrobeny z práškového uhlíku a stříbra technologií práškové metalurgie. Nespojitelné provedení spínacích kontaktů je výrobcem zaručeno do proudu 10 A. Jištění těchto obvodů je provedeno pomocí tavných pojistek. Použitím rozpínacích kontaktů relé však není možné realizovat bezpečnou inverzi signálu [1]. Uvedená skutečnost je důsledkem toho, že rozpínací kontakty nejsou konstruovány, narozdíl od kontaktů spínacích, jako bezpečné.

Spolehlivost relé je taková, aby i po  $10^6$  sepnutích plnilo spolehlivě svoji funkci. Maximální přechodový odpor po  $10^5$  spínacích cyklech mezi spínacími kontakty stříbro - uhlík musí být menší než  $300\text{ m}\Omega$ , mezi rozpínacími kontakty stříbro - stříbro pak přechodový odpor menší než  $30\text{ m}\Omega$ . Odolností vyhovuje relé pro provoz v prostředí prašném při vysoké relativní vlhkosti v rozsahu teplot od  $-25\text{ }^\circ\text{C}$  do  $+70\text{ }^\circ\text{C}$ . Pokud na cívku relé přivedeme střídavý proud, pak nedojde k přitažení kotvy vlivem její robustní konstrukce, která má velký moment setrvačnosti a tím nestačí sledovat změny v magnetickém obvodu. Druhá příčina takové odolnosti je vzrůst impedance pro střídavý proud o frekvenci  $50\text{ Hz}$ . Uvedenou vlastnost si pak relé drží do napětí  $600\text{ V}$ . Také izolační pevnost konstrukce cívky musí vyhovovat požadavkům pro provoz s elektrickou trakcí. V současné době relé splňuje nároky pro galvanické oddělení obvodů při zkušebním napětí  $4\text{ KV}$ .

Relé první bezpečnostní skupiny jsou pro dosažení spolehlivé činnosti pravidelně prověřována na splňování svých parametrů [3]. Jednotlivé cykly jsou určeny technickými provozními předpisy odvozenými z funkce, kterou relé plní v konkrétním zapojení.

Druhá bezpečnostní třída je další skupinou relé používaných v zabezpečovací technice. Tato relé nemusí mít zaručený odpad kotvy vlivem gravitace. Odpadnutí je zabezpečeno například pomocí pružných kontaktů. Splnění požadavku společného chodu kotvy a kontaktů musí být však u tohoto typu relé zachováno tak jako u relé první bezpečnostní třídy. Technologicky jsou provedena méně robustní a s kontakty, které nejsou odolné proti svaření. Lze je montovat i přímo do desek tištěných spojů. Celkově je takto konstruované relé méně spolehlivé než relé první bezpečnostní třídy a odpad kotvy musí být v zapojení, ve kterém je relé osazeno, kontrolován.

Poslední skupinou jsou relé, na které nejsou kladeny bezpečnostní požadavky. Ta jsou používána v indikačních a pomocných obvodech, kde není nárokována bezpečná funkce.

## **2.3 Částečný popis některých vybraných typů relé**

Pro zajímavost je možné uvést několik jednotlivých typů relé spolu s podrobnějším popisem činnosti a praktickým využitím.

### **2.3.1 Neutrální elektromagnetická relé**

Používají se pro logické vazby v obvodech elektromechanických přestavníků nebo návěštních obvodech. Mají otevřený magnetický obvod s pohyblivou kotvou, která má mechanickou závislost na kontaktní ústrojí. Tato relé přitahují svoji kotvu nezávisle na směru toku proudu cívkou. Jsou v provedení klasickém známá jako typ USA Westinghouse®, běžně nazývána jako „akvária“, nebo malorozměrová NMSŠ, kde jednotlivá písmena znamenají, „Neutralnoje Malogabaritnoje Štěpselnoje“.

Písmenné znaky typu relé mají následující význam [1].

- N – neutrální
- O – světelné s usměrňovačem
- M – malorozměrové
- V (G) – s usměrňovačem
- P – zesílené kontakty

- Š – zástrčkové (relé, jehož znak typu neobsahuje písmeno „Š“, je relé určené pro montáž do reléových sad)
- M – zpožděné na odpad (v případě, že je písmeno uvedeno na jiném než druhém místě v písmenném znaku typu relé)

Uvedený typ relé je stavebnicový, složený z menších jednotek, pracující jako relé první bezpečnostní skupiny. Použity mohou být i jako rozhraní mezi jinými elektrickými systémy. Většinou se používají pro obvody s napájecím napětím  $(12 \div 24)V$ . V případě, kdy se na místo stejnosměrného napájecího napětí použije střídavé, je relé vybaveno vestavěným diodovým usměrňovačem.

Číslo za písmenným znakem pak udává počet kontaktů v kontaktní sadě relé a to tímto způsobem.

- 1 – v kontaktní sadě se nachází 8 přepínacích kontaktů
- 2 – v kontaktní sadě se nachází 4 přepínací kontakty
- 3 – v kontaktní sadě se nachází 2 přepínací kontakty

### 2.3.2 Indukční relé

Jsou zvláštní skupinou fázově citlivých relé, které se používají ve funkci kolejových přijímačů, vyhodnocujících stav kolejových obvodů [4]. U takových relé je přítah [4] kotvy závislý nejen na intenzitě přijímaného signálu, ale i na jeho fázi. Nejvíce používaným typem jsou dvoufázové indukční relé. Jeho mechanismus je tvořen dvěma cívkami, mezi nimiž je uložena pohyblivá kotva vyrobená z vodivého neferomagnetického materiálu, například hliníku. Kotva má tvar kruhové výseče, která svým pohybem ovládá kontaktní sadu. Princip činnosti je založen na vytvoření dvou od sebe navzájem fázově posunutých magnetických toků. Místní, referenční, magnetický tok je vytvářen zdrojem, který je přímo napojen na cívku místního napětí relé. Kolejové napětí je naopak přivedeno z kolejiště s nastaveným fázovým posunem. Ve výseči jsou pak vytvořeny dva magnetické toky, které vyvolávají točivý moment

$$M = k \cdot f \cdot \Phi_m \cdot \Phi_k \cdot \sin \Psi . \quad (2.1)$$

V uvedeném vztahu znamenají jednotlivá označení

$k$  - součinitel nestability magnetických toků

$f$  - signální kmitočet

$\Phi_m, \Phi_k$  - magnetické toky vyvolané místním a kolejovým vinutím relé

$\Psi$  - fázový posun mezi místním a kolejovým magnetickým tokem.

Upravený vztah (2.1) lze uvést i pro hodnoty napětí a jejich fázového posunu

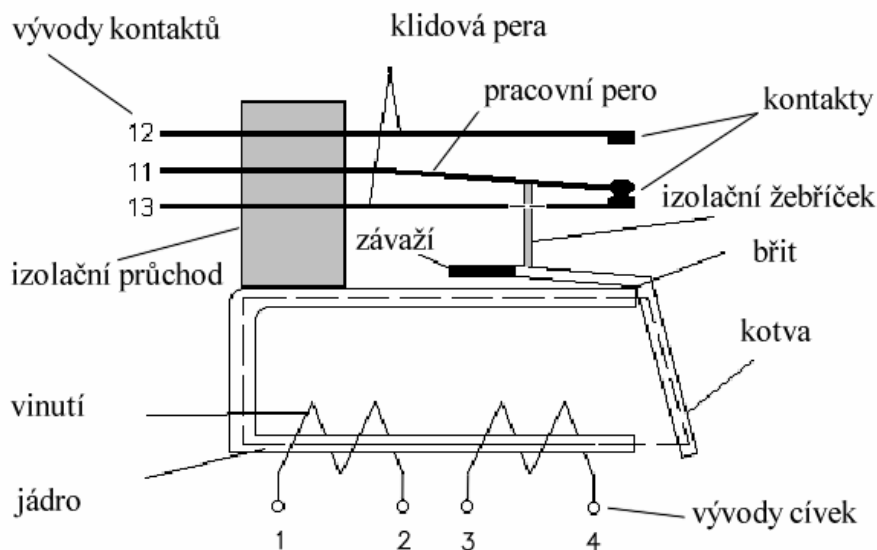
$$M = \frac{k \cdot U_m \cdot U_k}{f} \cos|\alpha_i - \alpha|, \quad (2.2)$$

kde  $U_m, U_k$  - jsou místní a kolejové napětí

$\alpha_i, \alpha$  - ideální a skutečný fázový posun mezi místním a kolejovým napětím.

## 2.4 Magnetický obvod relé a jeho mechanická konstrukce

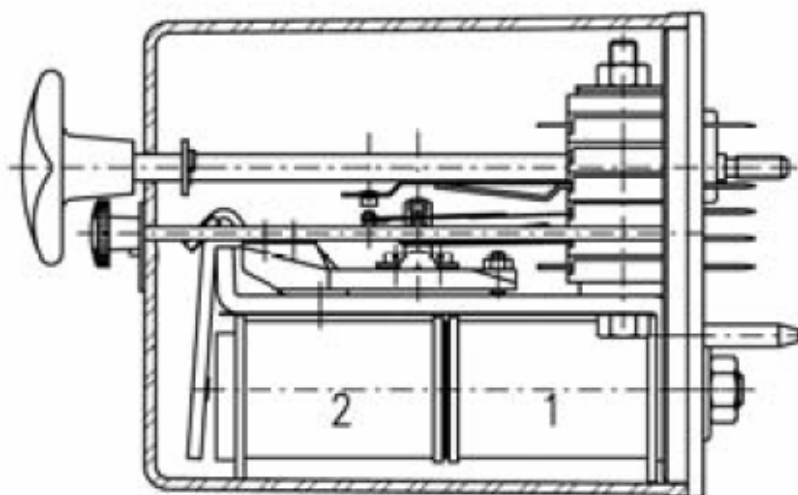
Magnetický obvod viz obr. 2.1 se skládá ze spodní válcové části, která je pomocí šroubového ukončení připevněna na rám zadní strany relé společně s vrchní částí magnetického obvodu. Na válcové části jsou pak navlečeny většinou dvě kostičky s vinutím daných parametrů. Konce jednotlivých vinutí jsou vyvedeny na kontaktní špičky, které se nacházejí spolu se špičkami kontaktní sady na zadní straně relé.



Obr. 2.1 Náčrt relé, převzato z [1]

Vrchní část magnetického obvodu je tvořena ocelovým plechem, na jejímž konci je břit, který je určen pro pohyblivé uložení kotvy. Na kotvě relé jsou umístěny izolační žebříčky sloužící k mechanickému propojení kotvy a přepínacích kontaktů. Uprostřed mechanické sestavy je zasunut upevňovací šroub, kterým je relé přichyceno na desku

s pérovými kontakty, do nichž se zasunují nožové vývody kontaktní sady relé. Uvedený celek je pak zakryt průhledným krytem sloužícím k zabránění vniku nečistot jak mezi jednotlivé kontakty, tak i do mechanické konstrukce pohyblivé kotvy. Průhledným krytem je také umožněna vizuální kontrola jednotlivých částí relé viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 Konstrukční uspořádání relé NMŠ, převzato z [5]

Čísla uvedená v konstrukčním uspořádání relé NMŠ obr. 2.2 znamenají:

1 - vinutí číslo 1

2 - vinutí číslo 2.

Na válcové části magnetického obvodu jsou navlečeny zpravidla dvě cívky, jejichž ohmický odpor je pak spolu s datem výroby a výrobním číslem vyznačen na štítku relé. Pro relé NMŠ1 - 2000 je vinutí provedeno ve dvou od sebe oddělených částech, přičemž na každé části je ohmický odpor  $1000 \Omega$ . Vývody kontaktních špiček vinutí 1, 2 a 3, 4, je možné společně mezi sebou dle potřeby různě propojovat. Vinutí relé je tedy možno propojit i způsobem, kdy se magnetické pole vytvářené oběma cívkami bude navzájem kompenzovat a tím bude, za předpokladu stejných parametrů cívek, výsledné magnetické pole nulové. Pak také ani kotva relé nebude přitažena a nedojde k sepnutí jeho spínacích doteků. Uvedený způsob zapojení se používá například u kontroly přepálení vlákna žárovky bílého světla, avšak s jiným typem relé (NMŠ1 – 3,4).

Celkový odpor vinutí lze vyjádřit jako [6]

$$R_C = R_1 + R_2, \quad (2.3)$$

kde  $R_C$  - celkový odpor vinutí

$R_1$  - odpor vinutí č.1

$R_2$  - odpor vinutí č.2

v případě již zmíněného relé NMS1 - 2000 bude při spojení obou jeho cívek do série celkový odpor vinutí  $R_C = 2000 \Omega$ . Pak lze proud cívkou určit z ohmova zákona [7]

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.4)$$

kde  $I$  - elektrický proud

$U$  - elektrický napětí

$R$  - elektrický odpor.

Pro jmenovité hodnoty relé vyjde proud protékající cívkami  $I = 0,012 A$ . Intenzita magnetického pole cívky relé je pak přibližně rovna dle (2.5)

$$H = \frac{N \cdot I}{l}, \quad (2.5)$$

kde  $H$  - intenzita magnetického pole

$N$  - počet závitů cívky

$I$  - elektrický proud

$l$  - délka solenoidu

ze statické definice indukčnosti

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (2.6)$$

kde  $\Phi$  - magnetický tok.

V případě více závitů bude mít cívka vlastní indukčnost

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}, \quad (2.7)$$

kde  $N$  - počet závitů cívky.

Z Hopkinsonova zákona odvodíme velikost magnetického toku

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{N}{R_m}, \quad (2.8)$$

kde  $F_m$  - magnetické napětí

$R_m$  - magnetický odpor

příčemž magnetický odpor bude

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S} \quad (2.9)$$

kde  $\mu$  - permeabilita

$l$  - délka

$S$  - plocha magnetického obvodu kolmá na směr siločar

a magnetomotorické napětí

$$F_m = I, \quad (2.10)$$

pro cívku s více závitů pak

$$F_m = N \cdot I. \quad (2.11)$$

Máme-li v magnetickém obvodu vzduchovou mezeru, pak je magnetický odpor železa ku magnetickému odporu vzduchové mezery zanedbatelný

$$R_{mFe} \ll R_{mvz}, \quad (2.12)$$

a lze počítat pouze magnetický obvod vzduchové mezery. Pohyb kotvy relé vyvolá změnu energie pole cívky

$$dW_m = \frac{1}{2} I^2 \cdot dL. \quad (2.13)$$

Pohybem kotvy je vykonána práce (2.15) po dráze

$$dx = r \cdot \alpha, \quad (2.14)$$

kde  $r$  - poloměr dráhy kotvy se středem v bodu uchycení

$\alpha$  - úhel sevřený mezi kotvou a jádrem relé v odpadlém stavu.

Práci kotvy můžeme vyjádřit jako

$$dW_{mech} = F_x \cdot dx, \quad (2.15)$$

zdroj musí do obvodu dodat energii na pokrytí změny energie magnetického pole a na vykonanou mechanickou práci

$$dW_z = I \cdot d\Phi. \quad (2.16)$$

Dosadíme-li do (2.15) vztah (2.4) dostáváme po úpravě

$$dW_z = I^2 \cdot dL. \quad (2.17)$$

Z rovnosti vykonané práce pak

$$dW_z = dW_{mech} + dW_m, \quad (2.18)$$

po dosazení do (2.17) za vyjádřenou práci

$$F_x \cdot dx = I^2 \cdot dL - \frac{1}{2} I^2 \cdot dL, \quad (2.19)$$

provedeme li úpravu (2.18)

$$F_x \cdot dx = \frac{1}{2} I^2 \cdot dL \quad (2.20)$$

$$F_x = \frac{1}{2} I^2 \cdot \frac{dL}{dx} . \quad (2.21)$$

Použijeme li (2.13) na kotvu tedy působí moment

$$\vec{M} = \vec{F}_x \cdot r = \frac{1}{2} I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} . \quad (2.22)$$

V blízkosti magnetického obvodu se bude vyskytovat magnetické pole, které lze za předpokladu kvalitního senzoru detekovat. Únik magnetických siločar bude nejvíce patrný na okrajích ostrých hran kotvy relé.

### 3 Alternativní postupy pro bezkontaktní metody testování funkce relé

Při výběru metody detekce stavů relé, lze uvažovat více variant řešení. Pak s ohledem na okolní parametry, spolehlivost, technickou a finanční náročnost, proveditelnost řešení a další podmínky, vybrat v současnosti optimální řešení pro skutečnou, fyzickou konstrukci.

Na jednotlivé stavy relé by se dalo usuzovat dle různých fyzikálních veličin. Jak vzhledem ke konstrukci relé, tak i konstrukci samotných reléových stojanů, ze kterých se RZZ skládá, je pak možno provést výběr způsobů vhodných k detekčním účelům. Po výběru je možné uvést několik možných fyzikálních principů, na nichž se jednotlivé metody detekce mohou zakládat. Jedná se především o detekci pomocí optického, akustického, tepelného a magnetického snímače. Za účelem výběru metody bude nejprve vhodné uvést několik informací, které se týkají konstrukce jednotlivých typů relé a přiblíží nám podrobněji parametry, které pak určují způsob provedení jednotlivých řešení.

#### 3.1 Akustická detekce

Jedna z možných metod použitých pro konstrukci detektoru je snímání akustických vzruchů vznikajících při spínání a rozpínání mechanických částí relé. V akustickém



prostředí se zvuk šíří jako postupná podélná vlna přenášením na jednotlivé jeho částice. Tím vznikají v prostoru oblasti se zředěnými a zhuštěnými místy, které znamenají místa s větším a menším tlakem. Tyto změny se superponují na barometrický tlak jako tlak akustický. Pak by bylo možné ze změn akustického tlaku, za současného eliminování okolních zvukových vzruchů, usuzovat na změnu polohy kotvy relé. V prostoru, kde by byla zvuková sonda umístěna je přenosovým prostředím pro zvuk vzduch. Ve vzduchu se zvuk šíří rychlostí, kterou lze zjistit pomocí vzorce

$$c = 331,8 \cdot \sqrt{1 + \frac{t}{273,13}}, \quad (3.1)$$

kde  $c$  - rychlost šíření zvuku

$t$  - teplota.

Obecněji lze pak rychlost zvuku určit z Laplaceova vzorce

$$c = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}}, \quad (3.2)$$

kde  $\kappa$  - Poissonova konstanta

$p$  - tlak plynu

$\rho$  - hustota plynu.

Rychlost přenosu signálu prostředím by tedy pro účel diagnostiky plně postačovala, neboť vzdálenost mechanických částí relé, generujících zvukové vzruchy, je v rozměru několika centimetrů. Překážkou pro takovou detekci by mohl být měnící se okolní hluk a také nestejný zvukový signál při spínání, rozpínání relé, mimo jiné, zapříčiněný i vlivem změny napájecího napětí.

Jednou z možností, jak uvedené problémy řešit, by bylo použití zvukového generátoru. Na pohyb kotvy relé by pak bylo možno usuzovat z Dopplerova jevu. Tímto řešením by bylo možno určit i směr pohybu kotvy při jejím přitahu a odpadu. Pro výpočet Dopplerova jevu je možné použít vzorec

$$f' = \frac{v_z \pm v_p}{v_z \pm w} \cdot f \quad (3.3)$$

kde  $f'$  - přijímaná frekvence

$f$  - frekvence zdroje

$v_z$  - rychlost zvuku

$v_p$  - rychlost pozorovatele

$w$  - rychlost zdroje.

Pro určení znaménka rychlosti pozorovatele  $v_p$  platí: pokud se pohybuje pozorovatel ke zdroji je znaménko kladné, pokud se pozorovatel od zdroje vzdaluje je znaménko záporné. V případě zdroje  $w$  platí: pokud se zdroj pohybuje směrem k pozorovateli je znaménko záporné, pokud se zdroj od pozorovatele vzdaluje použije se znaménko kladné.

Dalším možným řešením by mohlo být určování vzdálenosti překážky, kterou by byla pohyblivá kotva relé, pomocí sledování změny časové prodlevy po odrazu zvukového signálu. Ze zvukového generátoru definovaného signálu, by se zvuková vlna šířila směrem k reléovému prvku. Pak by se od něj odrazila zpět a pomocí vhodného detektoru byla zaznamenána. Měřením času mezi vysláním a přijetím zvukového signálu by bylo možné určit vzdálenost překážky, představované kotvou relé. Z vypočtené vzdálenosti by pak bylo možné usuzovat na provozní stavy reléového prvku, díky rozdílné poloze kotvy při odpadlém a přitaženém stavu.

### 3.2 Optická diagnostika

Vzhledem ke konstrukci krytu relé, který je vyroben z opticky průsvitného materiálu, by bylo možné zkonstruovat optickou diagnostickou soupravu. Ta by se skládala z laserové diody o nízkém výkonu, která by ozařovala diodu detekční. K řešení by se opět dalo přistupovat několika způsoby.

Prvním způsobem by byla možnost z odraženého laserového paprsku od kotvy, za použití dvou snímacích diod, usuzovat na sepnutý a rozepnutý stav kontaktní sady relé. Detekční diody by byly umístěny svisle na krytu relé. Horní detektor by snímal polohu „vypnuto“ a dolní pak polohu „sepnuto“. Nastavení laserového zářiče a snímacích prvků ba však muselo být provedeno přesně, aby po odrazu paprsek směřoval přímo na snímač. Další nepříjemnou skutečností je, že povrch kotvy relé není hladký a i jeho odrazivost bude špatná. Pokud se jedná o relé starší výroby, pak se na pohyblivou kotvu nalepoval štítek s výrobním označením. Tato skutečnost také zvyšuje nevhodnost uvedeného způsobu detekce.

Řešení pomocí světelného paprsku by bylo možné uskutečnit též jako světelnou závoru, kde by se snímala míra průchodnosti světla mezi pohyblivou částí kotvy a čelní

stranou magnetického jádra cívek. Mezera mezi těmito částmi je při rozepnutém stavu přibližně 2 mm. Po sepnutí relé a tím i přitažení kotvy by byl přerušen světelný tok pocházející z diody, která emituje světelné záření. Popsaným řešením by se dala ušetřit jedna z detekčních diod předchozího způsobu snímání laserového paprsku odrazem. Opět však zde vyvstává nutnost mít prostor pro snímání světelného paprsku volný. Uvedenou skutečnost však nelze zaručit z důvodu současného řešení vizualizace cyklických oprav, vlepováním štítků na boční plochu průsvitného reléového krytu.

### 3.3 Měření magnetického pole relé

Zabezpečovací relé má, jak bylo uvedeno, magnetický obvod vytvářející v okolí relé magnetické pole, které by bylo výhodné pomocí vhodného detektoru měřit a tím také usuzovat na stav jeho kontaktů. Snímač by bylo možné připevnit na čelní stranu relé. Ve stavu sepnutí by pak bylo detekováno magnetické pole pocházející z cívek připojených na zdroj elektrického proudu. Naopak rozepnutý stav by byl indikován v případě bezproudového stavu cívek. Jako snímač magnetického pole by mohla být zvolena Hallova polovodičová sonda, která by snímala velikost vektoru intenzity magnetického pole  $\vec{B}$  viz obr. 3.1 a proto by bylo vhodné umístit ji tak, aby na ni vektor směřoval pokud možno v kolmém směru.

### 3.4 Volba metody

Po úvaze o konstrukčních a fyzikálních skutečnostech výše uvedených jednotlivých řešení, byla upřednostněna metoda uvedená v kapitole 3.3. Jedná se o způsob, který je nejméně zatížen okolním mechanickým omezením a tím by se dalo spolehlivě dosáhnout požadovaného cíle, kterým je detekce stavu relé. To však za předpokladu, že je-li cívka relé pod napětím, pak i jeho spínací doteky jsou sepnuté a naopak při bezproudovém stavu cívek jsou spínací doteky kontaktní sady rozpojeny. Také byly vzaty v úvahu nároky na složitost montáže a nastavení detektoru při případné praktické aplikaci. Navíc by byl navrhnutý snímač schopen zaznamenat i vnější magnetická pole z jiných zdrojů. To znamená, že by mohl případně zachytit jejich interference v místě osazení. Tyto interference mohou být zdrojem náhodných poruch, vzniklých při tomto způsobu detekce. Při vyhodnocování naměřených hodnot je pak nutné na tyto skutečnosti brát ohled.

### 3.4.1 Popis Hallova jevu

Pro indikaci magnetického pole v okolí cívky byla zvolena Hallova sonda, jejíž princip je založen na jevu, při kterém se v polovodičové struktuře umístěné do magnetického pole a protékané elektrickým proudem, přemísťují elektrony k jedné ze stran polovodiče [8] v důsledku působení Lorentzovy síly na pohybující se náboj. Tuto sílu lze získat ze vzorce [8]

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad (3.3)$$

kde  $Q$  - elektrický náboj

$\vec{E}$  - vektor intenzity elektrického pole

$\vec{v}$  - vektor rychlosti

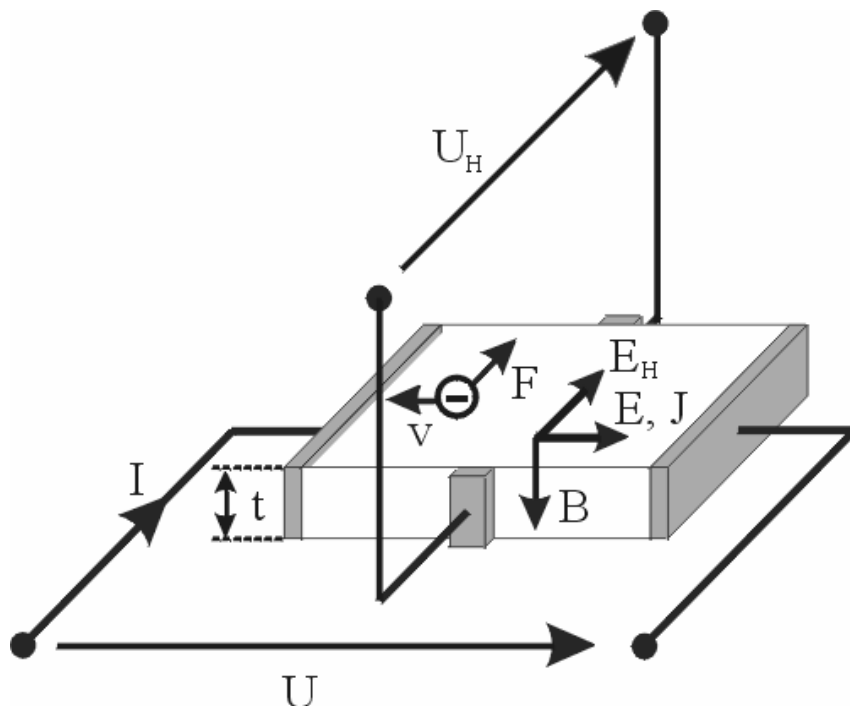
$\vec{B}$  - vektor magnetické indukce

přičemž pak elektrická složka síly je

$$\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E} \quad (3.4)$$

a magnetická složka síly

$$\vec{F}_m = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}). \quad (3.5)$$



Obr. 3.1 Hallův jev, převzato z [9]

Jednotlivé označení uvedené v obr. 3.1 znamená:

$I$  - elektrický proud procházející polovodičovou destičkou

$U$  - elektrické podélné napětí na polovodičové destičce

$t$  - tloušťka polovodičové destičky

$E$  - podélná intenzita elektrického pole

$J$  - proudová hustota

$E_H$  - intenzita elektrického Hallova pole

$B$  - magnetická indukce

$v$  - rychlost pohybu elektronu

$F$  - síla působící na elektron

$U_H$  - Hallovo napětí.

Hallovo napětí pak lze určit ze vzorce [9]

$$U_H = R \cdot \frac{I \cdot B}{t} \quad (3.6)$$

kde  $R$  - Hallova konstanta

$$R = \frac{1}{n \cdot q_e} \quad (3.7)$$

kde  $n$  - koncentrace elektronů

$q_e$  - elementární náboj.

### 3.4.2 Možnosti umístění detektoru s Hallovou sondou

Prostorové umístění sondy na čelní stěně relé bude mít zásadní vliv na napěťový zisk při detekci magnetického pole. Největšího zisku bude pak dosaženo v případě kolmého dopadu vektoru magnetického pole na Hallovu sondu. V okolí magnetického obvodu cívky je však magnetické pole různě tvarováno a při laboratorním zjišťování vhodného umístění sondy bylo nutné vyzkoušet několik poloh snímače. Je potřeba si uvědomit, že se měří úniky magnetických siločar z magnetického obvodu relé. Pak největší rozptyl do okolí, zaznamenaný Hallovou sondou na čelní straně relé, je v době, kdy není kotva plně přitisknuta na nosné jádro cívek. Tohoto stavu dosahuje relé ve fázích, kdy dochází k spínání a rozpínání proudového napájecího obvodu cívek. Povedeme-li teoretickou úvahu dále, je nutné také předpokládat chování cívek jako indukčního prvku,

který působí proti všem změnám magnetického pole v jeho okolí. Uvedené změny budou opět probíhat při změnách proudu v napájecím obvodu relé. Další výkyv hustoty magnetických siločar bude možno zaznamenat v oblasti ostrých hran magnetického obvodu a to z důvodu, že magnetické siločáry nekopírují přesně feromagnetické materiály, ze kterých je jádro relé vyrobeno.

Minimálně výše uvedené skutečnosti spolupůsobí při měřícím procesu a následně také i výsledná křivka, ukazující průběh intenzity magnetického pole v okolí relé, vykazuje kolísání při změnách spínacích stavů relé.

### **3.5 Další převodníky fyzikálních veličin**

Při měření fyzikálních veličin je nutné rozhodnout jakým způsobem bude požadovaná veličina převedena na elektrické napětí, které bude dále zpracovatelné pomocí elektronických obvodů detektoru. Pro převod fyzikální veličiny na napětí nám slouží snímač [10], který by měl mít svoji funkční závislost na měřené fyzikální veličině nejlépe v lineární oblasti. Je však také možné vybrat pouze malou část funkční závislosti snímače, která je z rozsahu předpokládaných měřených hodnot, kde je její výstupní průběh lineární. Tím se sice omezí rozsah měřených hodnot, ale výsledná měření mohou být o to přesnější.

Signál, který vystupuje z detektoru je možné dále zpracovávat v elektronických obvodech detektoru tak aby měl parametry vhodné pro vstupní obvody vyhodnocovacího zařízení. Jednou z možností je použít jako měřící jednotky prvek, který má své parametry nastaveny přímo od výrobce např. LCD jednotku s vestavěným A/D převodníkem. V současné době je dostupný typ 3 ½ Digit LCD Digital Panel Meter PM-428 / PM-438. Tato zobrazovací jednotka LCD umožní převedení napěťové hodnoty na hodnotu číselnou. Další možností by bylo použití již sestavenou a oživenou měřící jednotku určenou pro zpracování signálů z detektoru magnetického pole.

Pro pomocná měření, která poskytovala informace o stavech okolí v průběhu testování měřící jednotky, byl sestaven komplet měřící atmosférický tlak a okolní teplotu. Uvedený komplet byl vybaven dvěma zobrazovacími jednotkami LCD Digital Panel Meter PM-428 / PM-438.

Popis převodníků pro měření atmosférického tlaku a teploty je uveden v kapitolách 3.5.1 a 3.5.2.

### 3.5.1 Převodník teplota napětí

Jeden z dalších možných převodníků neelektrických veličin lze jednoduše vyrobit pomocí přechodu PN diody nebo tranzistoru. Při změně teploty pak bude vznikat přírůstek úbytku napětí, který je funkcí teploty. Pro výpočet exponenciální voltampérové charakteristiky lze použít tzv. diodovou rovnici [11], ze které se následně určí oblast linearity, ve které by bylo vhodné polovodičový přechod PN provozovat, při jeho použití jako tepelného detektoru. Diodová rovnice pak je [11]

$$I = I_0 \cdot \left( \exp^{\frac{e \cdot V}{k \cdot T}} - 1 \right), \quad (6.1)$$

kde  $I$  - proud procházející diodou

$I_0$  - nasycený zbytkový proud diody při závěrné polarizaci

$e$  - elementární náboj ( $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

$T$  - absolutní teplota v Kelvinech

$k$  - Boltzmanova konstanta ( $k = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$V$  - kladné napětí na přechodu v propustném směru.

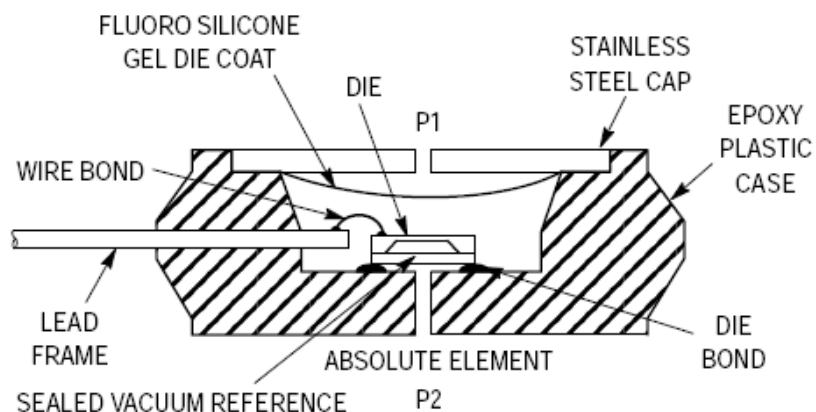
Uvedené zapojení požaduje zabezpečit napájecí napětí na přechodu PN tak, aby měl detektor co možná nejmenší kolísání výstupního signálu vlivem napájení. Úbytek napětí je pak možné opět, pomocí modifikovaného zapojení přístrojového zesilovače, vhodně upravit tak, aby byla úroveň signálu zpracovatelná pomocí měřicí jednotky, nebo přímo byla vstupem zobrazovací jednotky LCD.

### 3.5.2 Převodník tlak napětí

Při konstrukci převodníku tlak napětí, by bylo možné zvolit snímací čidlo MPX4115A. Taková volba by byla vhodná zejména z důvodu výhodného vnitřního uspořádání senzoru. Vnitřní elektrické provedení senzoru v sobě zahrnuje několik funkcí včetně výstupního zesilovače. Uvedený senzor je vhodný pro detekci v oblasti atmosférických tlaků. Jeho výstupní napětí by pak mohlo být použito přímo, pro napojení na vstup zobrazovací jednotky LCD pomocí děliče napětí, nebo dále zpracováno operačními zesilovači na požadovanou napěťovou úroveň.

Princip měření spočívá v umístění komůrky, která má svůj objem vyčerpán na definované vakuum, do vnitřního uspořádání uvedeného typu tlakového čidla. Měření

okolních tlaků je pak provedeno pomocí senzorů mechanického namáhání, které zaznamenávají změnu tvarů komůrky, ke kterým dochází v případě změn okolního tlaku. Mechanické změny tvarů komůrky s referenčním vakuem, převedené na elektrický signál, jsou zesilovány pomocí zesilovače umístěného uvnitř tlakového senzoru a výsledný signál je vyveden na jeho vývody.



Obr. 3.2 Vnitřní uspořádání senzoru MPX4112A, převzato z [12]

Z obr. 3.2 je zřetelné vnitřní uspořádání snímacího prvku, kde uvnitř detekčního prostoru je osazena komůrka s referenčním vakuem, na jejichž stěnách se projevují změny okolního tlaku.

### 3.6 Kalibrace měřících přístrojů

Po provedení elektrické a mechanické konstrukce měřícího zařízení, které je schopno měřit okolní teplotu a tlak dle kap. 3.5.1 a 3.5.2, byla provedena kalibrace obou snímacích systémů.

Teplotní senzor, skládající se z přechodu PN tranzistoru KC508 a zesilovacího stupně, byl kalibrován pomocí laboratorního teploměru. Nejprve bylo připraveno dostatečné množství ledu, které posloužilo k ochlazení vody. V první části kalibrace byl do studené vody přimíchán led a po jisté době, za současného míchání vody a ledové tříště, bylo dosaženo teploty roztoku  $0^{\circ}\text{C}$ . Současně spolu s ledem byl v nádobě umístěn tranzistorový senzor. V době, kdy byla na laboratorním teploměru měřena teplota  $0^{\circ}\text{C}$ , bylo provedeno nastavení nuly pomocí trimru přístrojového zesilovače. Druhá fáze kalibrace byla provedena opět vodním roztokem, který byl ale ohřát na  $50^{\circ}\text{C}$ . Teplota



vodního roztoku byla také měřena laboratorním teploměrem a seřízení zesilovacího stupně snímače proběhlo pomocí nastavení odporového trimru, určeného pro kalibraci teploty.

Za předpokladu, že se měřené teploty budou pohybovat v rozmezí kalibrovaných hodnot lze předpokládat, že takto kalibrovaný měřící přístroj, v uvedené oblasti rozmezí teplot, informuje o dostatečně přesné hodnotě okolní teploty snímacího prvku. Naměřená hodnota sloužila pro informaci o okolní velikosti teploty při průběhu měření reléových prvků.

Kalibrování snímače atmosférického tlaku MPX4115A bylo provedeno prostřednictvím internetových stránek meteorologických informací (<http://www.caramba.cz/page.php?PgID=63>). Nejprve bylo provedeno měření vlastním přístrojem a zároveň proveden zápis takto získaných hodnot pro pozdější použití při kalibraci. V době, kdy byly naměřené hodnoty meteorologické stanice dány k dispozici pro veřejnost, bylo provedeno porovnání obou hodnot. Eliminace rozdílů tlaků, získaných porovnáním, byla pak provedena pomocí odporového trimru, který byl zapojen v děliči napětí výstupního signálu, přicházejícího ze snímače MPX4115A.

Tím byla kalibrace měřícího přístroje určeného k měření atmosférických tlaků ukončena a zařízení připraveno k činnosti.

## **4 Diagnostický měřící systém**

Návrh diagnostického systému byl proveden tak, aby bylo možno nejvěrohodněji sledovat podstatné změny magnetického pole v okolí relé, dle kterých by se dalo usuzovat na jeho jednotlivé stavy. Celá měřící aparatura je složena z několika částí. V první řadě se jedná o snímací detektor magnetického pole, jehož signál je zesilován pomocí přístrojového zesilovače, který je zhotoven z diskrétních součástek na desce tištěných spojů. Detektor je osazen společně se zesilovačem na téže desce a vytváří tak aktivní měřící sondu, kterou lze přiložit na čelní stranu relé. Výstupním signálem je napětí úměrné velikosti magnetického pole.

Pro zpracování získaného analogového signálu z aktivní měřící sondy je použit měřící přístroj, jenž obsahuje tyto čtyři základní části:

- interface s osobním počítačem
- převodník A/D
- analogový přepínač signálů, multiplexer

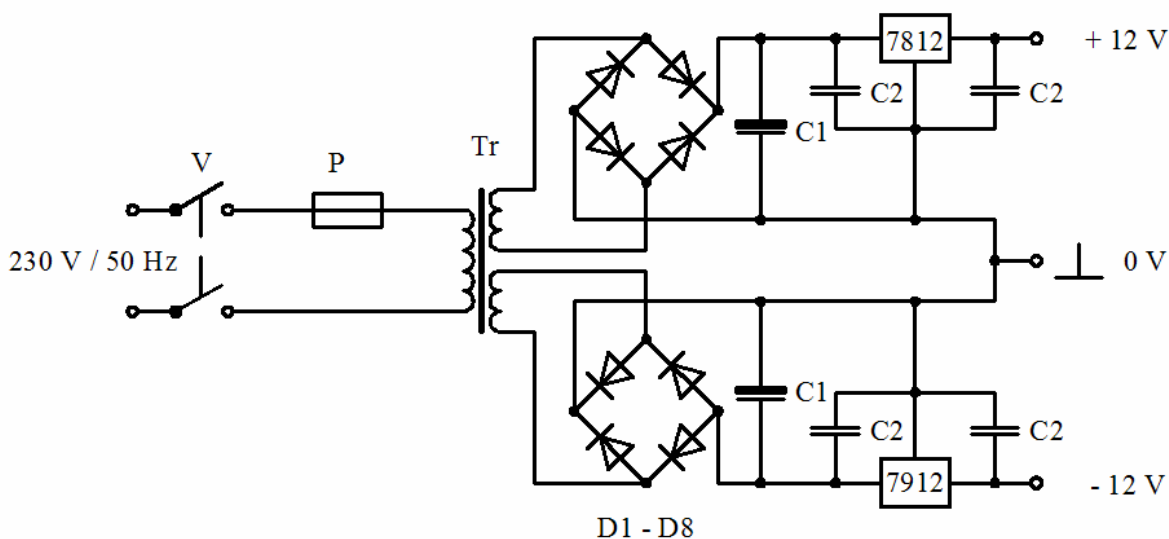
- napájecí zdroj.

Naměřený digitalizovaný vzorek napětí je pak přenesen do počítače, kde dochází k jeho zobrazení jako číslo, které může být pak prezentováno v grafické podobě pomocí navrženého ovládacího programu ve vývojovém prostředí C#.

Bylo vyvinuto několik magnetických sond, pro které byl navržen a realizován napájecí zdroj, umožňující napájení operačních zesilovačů použitých na deskách detektorů.

#### 4.1 Napájecí zdroj operačních zesilovačů detektoru

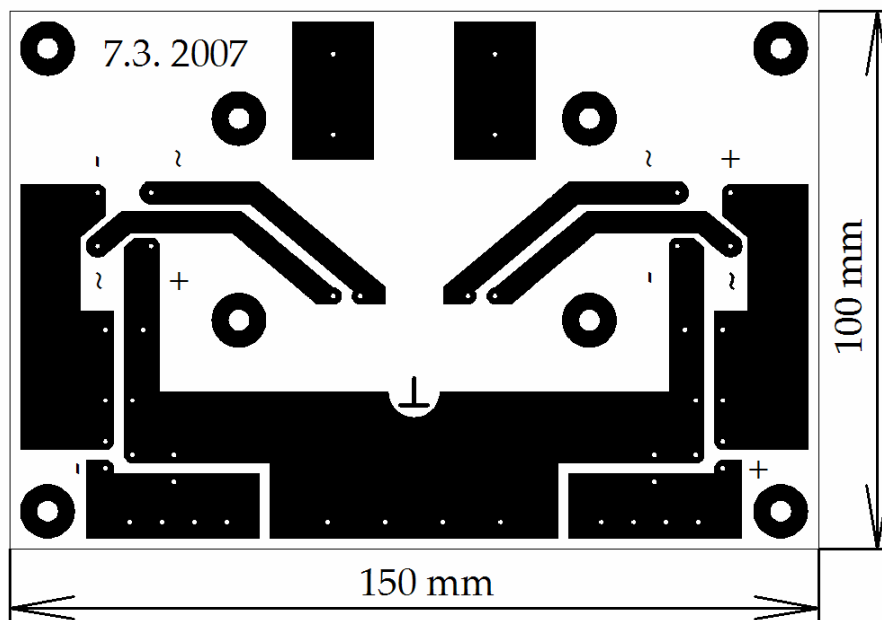
Pro operační zesilovače, které jsou použity v zapojení snímače magnetického pole, je nutné volit jako napájení symetrické stabilizované napětí o hodnotě +12 V, - 12 V. Na primární straně transformátoru byl vřazen vypínač a pojistka. Vypínač má pro lepší signalizaci stavů zapojenou optickou signalizaci. Pokud je transformátor připojen k síťovému napětí je uvedený stav signalizován červeně svítícím krytem vypínače. V opačném případě, při vypnutí síťového napájení, kryt vypínače nesvítí. Pojistka slouží k jistění případného přetížení nebo zkratu při poruše v obvodech napájecího zdroje. Celý zdroj je navržen tak, aby odpovídal krytí elektrických předmětů s dvojitou izolací včetně bezpečnostního transformátoru. Zdroj je schopen pokrýt spotřebu energie, která je potřebná pro funkci osmi detektorů.



Obr. 4.1 Konstrukční schéma napájecího zdroje operačních zesilovačů

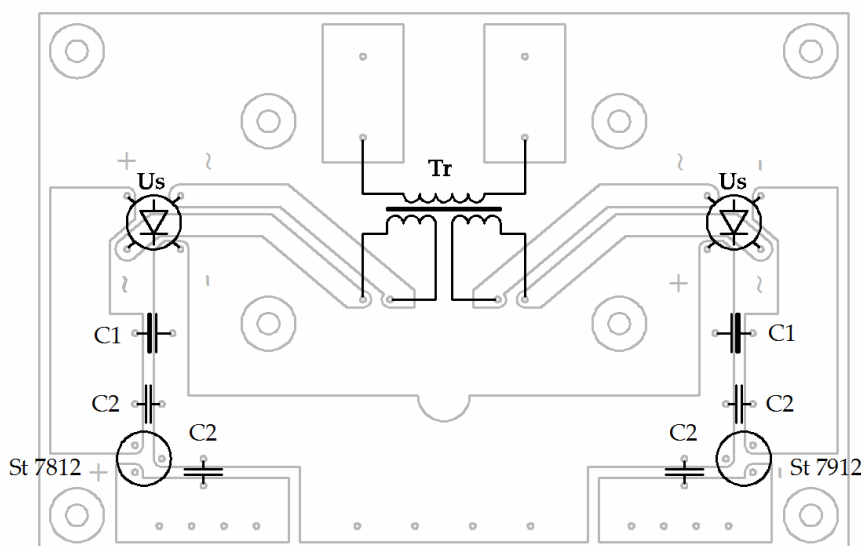
Na obr. 4.1 je schematický náčrt zdroje použitého pro napájení operačních zesilovačů umístěných v detektorech magnetického pole.

Pro stabilizovaný zdroj byl navržen tištěný spoj viz obr. 4.2 s ohledem na konstrukční rozměry a typ použitých součástek. Transformátor je osazen na desce tištěných spojů spolu se sekundárním obvodem stabilizovaného napětí. Vzhledem k této skutečnosti byl použit bezpečnostní transformátor, u kterého výrobce zaručuje, že se při poruše na vinutí transformátoru nedostane primární napětí do sekundárních obvodů a neohrozí tím tak bezpečnost celého přístroje. Jako kryt zapojení napájecího zdroje stabilizovaného napětí byla použita plastová skříň U-KP 12 o rozměrech  $(197 \times 70 \times 188) \text{ mm}$ . V jednom z čelních krytů jsou umístěny přívodní vodiče síťového napětí spolu s vypínačem, který polohu zapnuto signalizuje pomocí průsvitné kolébky červeným světlem. Druhý z čelních krytů je určen pro vývody stabilizovaného napětí pro operační zesilovače. Pro vývody stabilizovaného napětí bylo použito osm kusů zásuvky DIN-ZP 5. Zdroj je tedy možno použít pro oddělené napájení až osmi snímačů magnetického pole, nebo jiných převodníků fyzikálních veličin např. teploty, ve kterých jsou v zapojení použity operační zesilovače, vyžadující symetrické napájení  $\pm 12 \text{ V}$ .



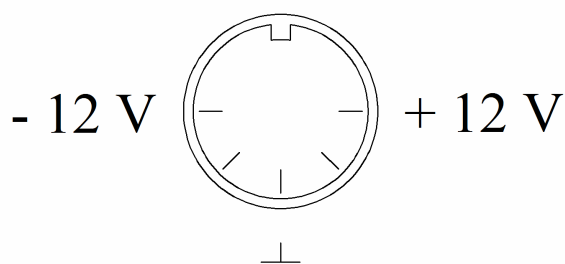
Obr. 4.2 Deska tištěných spojů napájecího zdroje operačních zesilovačů

Deska tištěných spojů byla zhotovena z jednovrstvého kuprexitu, na jehož vodivé části byl proveden fotocitlivý nástřik. Po rozvržení umístění součástek na desce, bylo navrženo propojení mezi jednotlivými elektronickými prvky. Návrh spojů byl nanesen pomocí laserové tiskárny na průsvitnou fólii, která posloužila k provedení kopie spojů na kuprexitovou destičku s fotocitlivou vrstvou.



Obr. 4.3 Rozložení součástek na desce tištěných spojů

Na obr. 4.2 je zobrazen pohled ze strany tištěných spojů. V uvedeném zapojení bylo použito usměrňovacích můstků  $Us$  v plastovém pouzdře PBF 12 V / 1 A. Vyhlažovací kondenzátory  $C_1$  jsou elektrolytické ER 47 M / 50 V. Blokovací kondenzátory  $C_2$  jsou keramické CK 100 N / 50 V. Oddělovací transformátor  $Tr$  pro napájení uvedeného zapojení je typu HTF 541 – 2 × 12. Rozmístění jednotlivých součástek na desce tištěných spojů je nakresleno na obr. 4.3, který představuje pohled ze strany součástek.



Obr. 4.4 Zapojení DIN-ZP 5 zásuvky výstupu zdroje stabilizovaného napětí

Pomocí pětikolíkové zásuvky DIN-ZP 5 viz obr. 4.4, je proveden rozvod symetrického napájecího napětí směrem k detektorům magnetického pole, které obsahují zapojení přístrojového zesilovače. Přístrojový zesilovač kap. 4.2.1 je realizován prostřednictvím operačních zesilovačů, pro které je nutné zajistit symetrické napájení.

## 4.2 Volba a realizace snímače včetně zesilovače

Konstrukce snímače magnetického pole se skládá z detekčního prvku, kterým je Hallova sonda a přístrojového zesilovače [13], složeného ze tří nízkošumových [14] operačních zesilovačů (OZ) TL071, které jsou opatřeny na vstupu tranzistory JFET. Díky této skutečnosti mají OZ velmi velký vstupní odpor a tím téměř nezatěžují výstup z detekčního prvku. Typicky se jedná o hodnotu  $10^{12} \Omega$  při teplotě  $25^\circ\text{C}$  viz obr. 8.6.

Použité konstrukční řešení přístrojového zesilovače musí být schopné zajistit několik požadavků. Prvním z nich je dostatečný výstupní výkon detektoru. Tento výkon je následně využit v navazujícím zapojení, kde se výstupní signál detektoru přivádí pomocí koaxiálního kabelu do multiplexeru, přístroje pro zpracování měřených signálů, které představuje zatížení zesilovače.

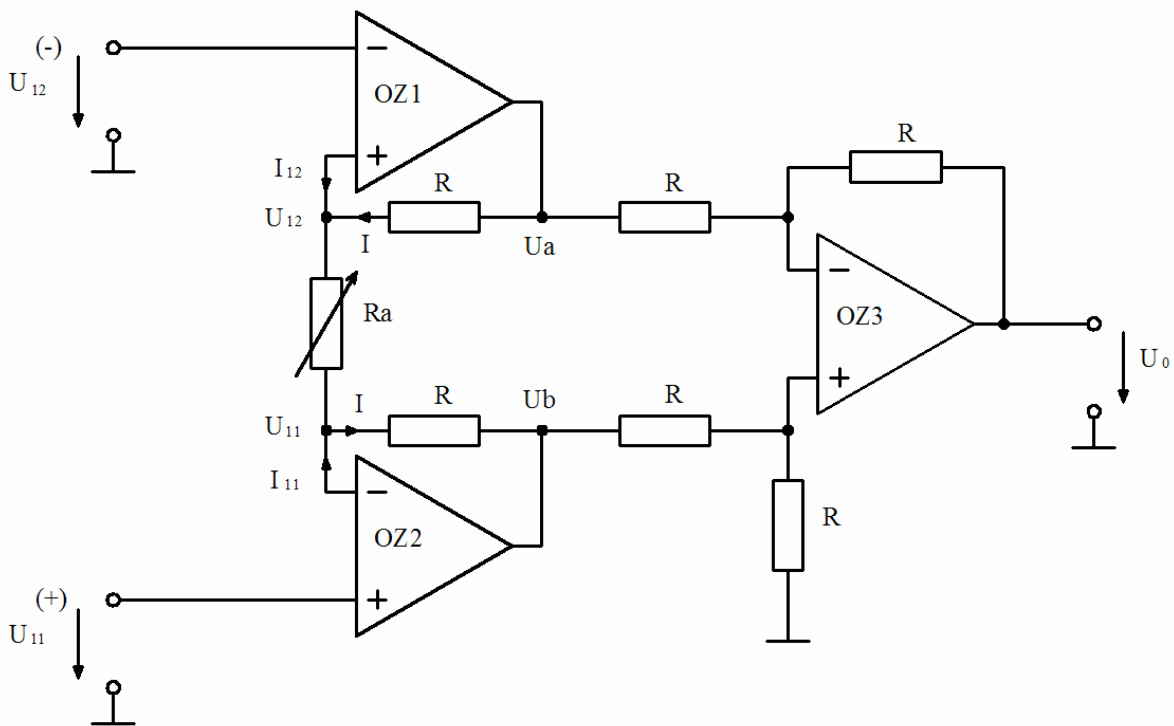
Dalším požadavkem je, aby OZ byly schopny činnosti v přenášeném frekvenčním pásmu. Pokud bude frekvence přicházející na vstup OZ vyšší než jeho jmenovité hodnoty, bude docházet k jejímu velkému útlumu. Tím bude také následné zpracovávání takového signálu zatíženo velkou chybou.

Na závěr je možné konstatovat, že použité OZ v uvedeném zapojení svými jmenovitými hodnotami s dostatečně velkou rezervou postačují jak přenosovým pásmem, tak i rychlostí přeběhu a dobou ustálení signálu přicházejícího v úvahu při detekci pomocí Hallovy sondy. Jednotlivé parametry použité při návrhu zesilovacího stupně snímače magnetického pole byly získány z [14].

### 4.2.1 Popis zapojení přístrojového zesilovače

Přístrojový zesilovač [15] je na vstupní straně tvořen dvojicí symetricky zapojených OZ. Oba dva zesilovače jsou v zapojení se zápornou zpětnou vazbou a umožňují uplatnění vysokého vstupního odporu vůči přicházejícímu signálu. Nezáleží tím tak do jisté míry na vnitřním odporu zdroje signálů. Výstupy  $U_a$ ,  $U_b$  vstupních OZ jsou každý zvlášť

připojeny na jeden ze vstupů třetího osazeného OZ. Ten pak pracuje jako rozdílový zesilovač napětí přivedeného na invertovaný a neinvertovaný vstup.



Obr. 4.5 Přístrojový zesilovač [15]

Oba vstupní zesilovače OZ1 a OZ2 obr. 4.5, mají zapojenu zápornou zpětnou vazbu a proto bude na invertujících vstupech stejné napětí  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  jako na neinvertujících. Protékající proud rezistorem  $R_a$  bude

$$I = \frac{U_{12} - U_{11}}{R_a}. \quad (4.1)$$

Za předpokladu, že proudy zpětných vazeb vstupujících do OZ1 a OZ2 jsou nulové

$$I_{11} = I_{12} = 0, \quad (4.2)$$

potom proud  $I$  protékající mezi body  $U_a$  a  $U_b$  současně protéká i zpětnovazebními rezistory  $R$  OZ1 a OZ2. Úbytek napětí mezi rezistory  $R$ ,  $R_a$ ,  $R$  lze pak vyjádřit

$$U_b - U_a = U_o = I(R_a + R + R). \quad (4.3)$$

Zesilovač OZ3 je zapojen jako diferenční zesilovač se zesílením 1. Dosadíme-li do rovnice (4.3) proud  $I$  z rovnice (4.1) [15], pak pro výstupní napětí  $U_0$  platí vztah (4.4)

$$U_0 = \frac{U_{12} - U_{11}}{R_a} \cdot (R_a + 2R) = (U_{12} - U_{11}) \cdot \left(1 + \frac{2R}{R_a}\right). \quad (4.4)$$

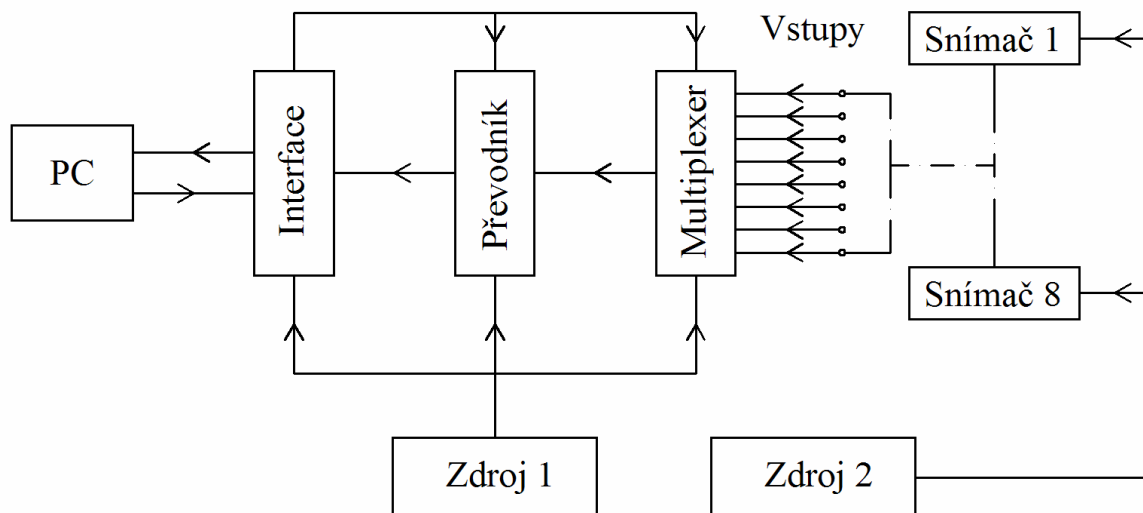
Zesílení lze jednoduše nastavit pomocí rezistoru  $R_a$ . Existují i různá odlišná zapojení přístrojového zesilovače, u kterých na určení napětí  $U_0$  musí být použita jiná přenosová funkce. V aplikovaném zapojení detektorů magnetického pole byly použity rezistory s odlišnými hodnotami, princip zapojení na obr. 4.5 tím však nebyl porušen. Uvedené zapojení přístrojového zesilovače bylo umístěno na jediné desce tištěných spojů společně s Hallovou sondou, která byla napájena z již popsaného napájecího zdroje. Zesílený signál je veden pomocí koaxiálního kabelu do multiplexeru měřicí jednotky, který načtený vzorek dále zpracovává.

### 4.3 Použitý měřicí systém

Pro zpracování naměřených signálů, přicházejících ze snímače magnetického pole, byl vyvinut systém, který jednak umí analogový signál snímače převést na digitální, ale je též schopen komunikace s osobním počítačem (PC). Uvedený systém se skládá z několika propojených částí, které jsou schopny jednotlivě provádět dílčí úkoly převodu analogové veličiny, komunikace s PC a napájení systému.

Jednotlivé části tvoří spolu konstrukční celek měřicí jednotky. Zachycení změn magnetického pole je uskutečněno pomocí měřících snímačů, které v zapojení obsahují Hallovu sondu kap. 8.1.1 a přístrojový zesilovač kap. 4.2.1 k zesílení signálu přicházejícího z Hallovy sondy. Dále je zesílený signál veden pomocí koaxiálního kabelu do vstupní části měřicí jednotky kap. 4.3.4, kde dochází ke zpracovávání naměřených hodnot. Jednotlivé vstupy jsou přepínány elektronickým analogovým přepínačem, tvořeným pomocí integrovaného obvodu MAC08A, který střídavě připojuje analogové vstupy k A/D převodníku. V A/D převodníku dochází k převedení analogové hodnoty na digitální. Převedená digitální podoba naměřené hodnoty je pak pomocí rozhraní tvořeného LPT portem osobního počítače a rozhraním měřicí jednotky kap. 4.3.2, přenesena do osobního počítače. Pokyny nutné k činnosti měřicí jednotky jsou zadávány prostřednictvím vyvinutého softwaru.

Napájení jednotlivých částí zajišťují dva zdroje. Jeden je umístěn přímo v přístrojové skříni měřící jednotky, druhý pak slouží pro napájení měřících sond a je proveden v samostatné skříni kap. 4.1.



Obr. 4.6 Blokové schéma diagnostického zařízení

Na obr. 4.6 je nakresleno blokové schéma celé měřící jednotky včetně vnějšího napájecího zdroje Zdroj 2, snímačů magnetického pole Snímač 1 až 8 a osobního počítače PC.

### 4.3.1 Napájecí zdroj pro měřící systém

Napájení jednotlivých částí přístroje musí splňovat požadavky na pokrytí spotřeby energie a správné funkce součástek použitých v zapojení. Osazeny jsou obvody TTL logiky, které vyžadují nominální stejnosměrné napájení na vstupu 5 V. Pro některé součástky, jako například analogový multiplexer, je potřebné symetrické stejnosměrné napájecí napětí  $\pm 15$  V. V přístrojové skříni měřící jednotky byl osazen zdroj současně s deskami určenými pro měření a komunikaci s PC. Snímací prvky mají samostatné galvanicky oddělené napájecí napětí  $\pm 12$  V, především z důvodu ochrany před případným ovlivněním vyrovnávacími proudy a tím také před znehodnocováním naměřených hodnot.



### 4.3.2 Interface

Komunikace s vnějším zařízením probíhá pomocí rozhraní. V případě diagnostického systému je vnějším zařízením PC. Pro účely sdílení a přesunu dat byl vybrán paralelní port LPT [16] (Line Printer Terminal) viz obr. 8.8, osazený na základní desce PC. Pro standardní paralelní port SPP (Standard Parallel Port) jsou definovány tři základní registry:

- datový registr (Data Register), určený pro zápis dat směrem k tiskárně
- stavový registr (Status Register), používaný pro čtení výstupních dat z tiskárny
- řídicí registr (Control Register), definující zařízení, kterému jsou data, přítomná na datovém registru, určena

Na desce tištěných spojů rozhraní měřící jednotky je osazeno několik polovodičových prvků, které provádí příkazy zadávané prostřednictvím 25 pinové zásuvky LPT osobního počítače. Jedná se o tyto elektronické prvky:

- střadač adresy, umožňující předání a uchování adresových pokynů
- přepínač čtveřice bitů, provádějící připojení naměřených a převedených analogových hodnot z osmibitové podoby pouze na čtyři bity, které rozdělují celou bytovou hodnotu na půl bytovou
- dekodér, ovládající prvky osazené na desce spojů.

V zapojení desky rozhraní je osazen integrovaný obvod (IO) T74LS138B1 jako dekodér pro převod adresy, která je definována pomocí změny hodnot řídicího registru. Tímto je provedeno řízení činnosti celé vstupní části včetně dalšího elektronického vybavení. Po aktivaci příslušného IO je uskutečněn zápis hodnot, nacházejících se na pinech datového registru, do prvku střadače adresy. Po několika dalších pokynech, které souvisí s měřicí činností, se měřené hodnoty v digitalizované podobě nachází na přepínači čtveřice bitů. Přepínač pak střídavě připojí rozdělenou bytovou hodnotu na piny stavového registru. Tím je uskutečněn přenos naměřených hodnot do PC k dalšímu zpracování pomocí vyvinutého softwaru kap. 4.4.

### 4.3.3 Převodník

Převodník je použit k převádění analogového naměřeného signálu na digitální. Jeho jednotlivé části jsou:

- vzorkovací zesilovač, odebere měřený vzorek

- D/A převodník, převádí digitální hodnoty aproximačního registru na analogové
- aproximační registr, generuje hodnoty pro D/A převodník
- komparační zesilovač, porovnává hodnoty D/A převodníku a navzorkované hodnoty.

Jestliže dostane vzorkovací zesilovač pokyn k odebrání vzorku, pak bude napěťový signál přicházející ze snímače fyzikální veličiny, zaznamenán a uchovávan na vzorkovacím kondenzátoru, po dobu zpracovávání odebrané hodnoty. Pro vzorkovací zesilovač je důležité, aby odběr napěťové hodnoty proběhl v co nejkratším čase a měl dostatečnou časovou stabilitu načtené napěťové úrovně po dobu, kdy se s hodnotou dále pracuje. Uvedené požadavky jsou si protikladné vzhledem k požadavku na různé doby odběru a uchování navzorkované hodnoty na vzorkovacím kondenzátoru. V případě, kdy vzorkovací zesilovač nabírá hodnotu, potřebuje vzorkovací kondenzátor co nejmenší kapacitu, aby odběr proběhl dostatečně rychle. Naopak uchovávání takové hodnoty je závislé na kapacitě vzorkovacího kondenzátoru právě naopak, je požadována jeho dostatečně velká kapacita z důvodu vybíjení a tím i poklesu navzorkovaného napětí v čase.

Dalším krokem je převod odebraného analogového vzorku do digitální podoby. Pokynem pro činnost aproximačního registru se na jeho vývodech začnou objevovat čísla, která mají binární formu. Tato binární čísla převádí D/A převodník na analogovou hodnotu k dalšímu zpracování pomocí komparátoru. Komparátor porovná hodnotu přicházející z D/A převodníku s navzorkovanou. V případě, že hodnota D/A převodníku není totožná s navzorkovanou, pokračuje aproximační registr dále v generování vyššího binárního čísla směrem k D/A převodníku, který tuto hodnotu opět převede na analogovou. Pokud je hodnota D/A převodníku souhlasná s odebranou hodnotou vzorku, dá komparátor pokyn aproximačnímu registru k ukončení činnosti. Na vývodech aproximačního registru se pak nachází obraz odebraného vzorku v binární podobě.

Právě v tuto dobu, kdy je ukončen převod do binární podoby, je možné dát pokyn střadači dat k tomu, aby provedl zápis logických hodnot, nacházejících se na sběrnici výstupu aproximačního registru, do své paměti. Následně jsou takové hodnoty zasílány po datovém kabelu do rozhraní kap. 4.3.2, které komunikuje s připojeným PC. Tím je uskutečněn převod a přenos jednoho naměřeného vzorku.

### 4.3.4 Multiplexer

Multiplexer, neboli přepínač analogového signálu, přepíná hodnoty napětí nacházející se na jeho jednotlivých vstupech na jeden výstup. Vstupními hodnotami jsou, v případě diagnostického zařízení, napěťové hodnoty pocházející od připojených snímacích modulů magnetického pole. Počet možných připojených snímačů je osm. Snímače jsou pak pomocí koaxiálních kabelů, osazených konektory BNC, připojeny na vstupy multiplexeru diagnostického zařízení.

Přepínání se opět provádí prostřednictvím komunikačního programu kap. 4.4. Měřené hodnoty, které jsou přítomné na BNC konektorech je možné připojovat k desce převodníku pomocí IO MAC08A. Právě uskutečňované čtení, na jednom ze vstupů multiplexeru, je signalizováno zeleně svítící LED diodou. Diody jsou umístěny na čelním panelu diagnostického zařízení, přímo vedle BNC konektorů.

## 4.4 Programové vybavení

Počítačový program byl pro ovládání diagnostického zařízení napsán pomocí programovacího jazyka C#. Knihovna DLL [17] a návod potřebný k ovládání LPT byly použity z [18]. Některé další potřebné informace byly čerpány z [18, 19]. Jako prostředku k obsluze diagnostického zařízení a zobrazení naměřených výsledků bylo použito dvou okenních aplikací (Windows Application). Jedna tvoří ovládací vybavení pro potřeby zadávání parametrů měření, druhá slouží jako grafická zobrazovací jednotka již naměřených hodnot. V ovládacím režimu je povoleno uživateli nastavit tyto funkce:

- počet odebíraných vzorků za sekundu, nastaví počet měřených hodnot v průběhu jedné sekundy každého zapnutého měřícího kanálu
- počet jednotlivých měření, celková suma měření ze všech aktivovaných vstupů
- zobrazování od určitého vzorku, zobrazí v aplikaci hodnoty od zadaného čísla vzorku
- uložení hodnot do souboru, po skončení měření jsou hodnoty přepsány z operační paměti do souboru se zadaným umístěním a názvem
- aktivace konkrétních vstupů BNC, aktivuje pouze zadané vstupy.

Okenní ovládací aplikace také poskytuje informace o prováděné činnosti v době měření tak, aby byla zajištěna zpětná kontrola probíhajícího měřícího procesu. Jednotlivé kontroly jsou:

- ukládání dat do souboru, indikační políčko je v případě ukládání graficky zobrazeno jako zaškrtnuté
- doba měření, průběžná signalizace doby měření od spuštění
- aktivovaný měřicí kanál, indikační políčko je zaškrtnuté pouze pro vstupy, na kterých právě probíhá měření.

Před měřením je potřeba nejprve uvážit kolik měřících modulů bude připojeno k diagnostickému zařízení. Maximální počet je osm modulů, které mohou převádět různé fyzikální veličiny na napětí. Pak následuje volba kanálů přístroje, na kterých se bude provádět měření. Zvolené kanály budou mezi sebou přepínány prostřednictvím multiplexeru kap. 4.3.4 v závislosti na provedené volbě. Dále se dle požadavků určí počet měření za sekundu a pak také celkový počet měření. Tím je nepřímě zadán i čas, po který bude měření probíhat. V tomto stavu je již program připraven ke spuštění a měření může začít, jakmile obsluha stiskne tlačítko „START“. Pokud bude potřeba uchovávat naměřené údaje, je možné ještě dále navolit na okenní aplikaci ukládání dat do souboru TXT. Po ukončení měřícího cyklu bude automaticky datový soubor s naměřenými hodnotami uložen na pevný disk PC. V případě, kdy je měřicí cyklus ukončen a uživatel zmáčkne tlačítko „SOUBOR“, bude vyzván k určení jména a místa souboru na disku. V průběhu měření se pak zobrazuje aktuální čas v milisekundách, který uplynul od doby, kdy bylo stlačeno tlačítko „START“ v místě označeném „Doba měření =“. Po ukončení měřícího cyklu se zastaví odpočítávání času chodu programu a zůstává i nadále zobrazeno v okenní aplikaci. Současně se naměřené hodnoty automaticky ukládají do souboru na disku. Pro zobrazení již naměřených hodnot slouží zobrazovací pole ovládací aplikace. Volbou čísla vzorku lze určit hodnotu, od které se začnou zobrazovat naměřené hodnoty v zobrazovacím poli. U jednotlivých hodnot jsou zobrazeny tyto údaje: číslo vzorku, číslo vstupu, na kterém byla hodnota naměřena, velikost naměřené hodnoty a čas odběru konkrétního vzorku.

Pokud bude obsluha požadovat i grafické vyjádření průběhu měření, lze pomocí tlačítka „KRESLI GRAF“, aktivovat druhou okenní aplikaci. V tomto módu grafického prohlížení dat lze zadat rozlišení na ose X a Y, které provede zvětšení nebo zmenšení grafu na vhodnou velikost. Při zadání dynamického grafu se v zobrazovací části průběžně překresluje křivka grafu při měření. Zadáním kreslení statického grafu v grafickém módu, společně se zadáním čísla vzorku v ovládací aplikaci bude vykreslen graf. Tento graf bude mít svoji počáteční hodnotu určenou číslem, které zadá uživatel v ovládací aplikaci do

kolonky označené jako „Zobraz od vzorku“. Uvedený postup lze provést jak v průběhu měření, tak i po jeho ukončení.

Uvedený program sloužil výlučně pro testování již zkonstruovaného diagnostického zařízení. Pro nasazení do skutečného provozu by se programové vybavení muselo přizpůsobit požadavkům v konkrétní situaci. I přesto bylo pomocí ovládacího programu dosaženo dobrých výsledků kap. 5.2.

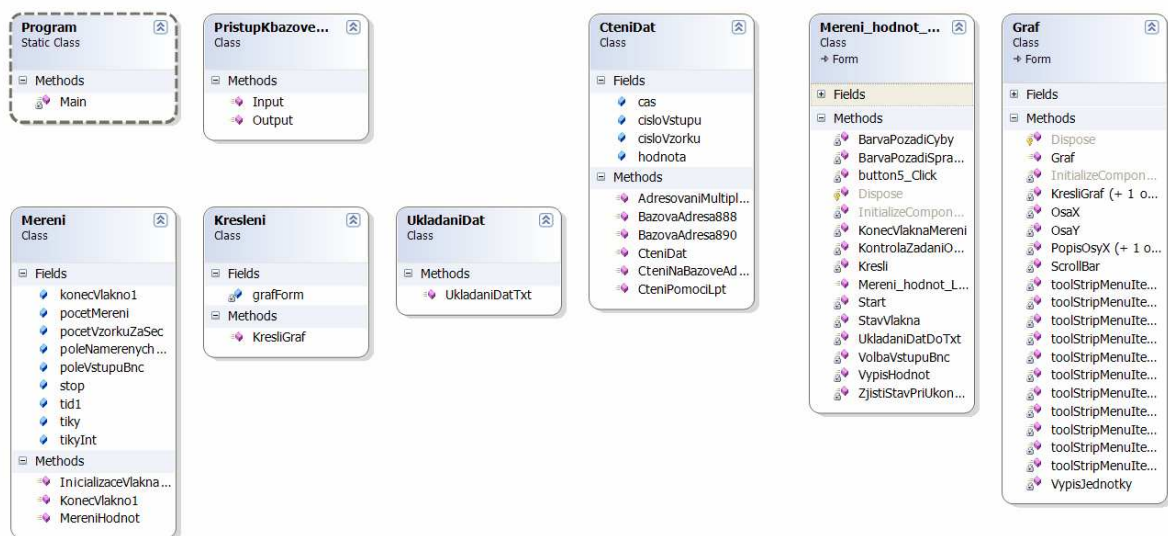
#### **4.4.1 Diagram tříd ovládacího programu**

Pro informativní účely je uveden záznam rozpisu diagramu tříd vývojového prostředí C#, viz obr. 4.7.

Informativní popis jednotlivých tříd uživatelského programu, ovládacího měřicí jednotku:

- Program – hlavní třída programu
- PristupKbazoveAdrese – přístup na bázevou adresu pomocí knihovny DLL
- CteniDat – provádí získání informací na bázevých adresách LPT
- Mereni\_hodnot\_LPT – vytváří okenní aplikaci pro ovládání měřicí jednotky
- Graf – vytvoří okenní aplikaci určenou k prohlížení již naměřených hodnot
- Mereni – pomocí třídy PristupKbazoveAdrese, uskuteční zadaná měření ve třídě Mereni\_hodnot\_LPT
- Kresleni – prostřednictvím třídy Graf, načte a zobrazí naměřené hodnoty v grafické podobě
- UkladaniDat – je třídou, která je určena pro uložení již naměřených hodnot po provedeném měřícím cyklu.

Detailní popis činnosti jednotlivých tříd a v nich obsažených metod přesahuje rámec této práce a proto zde není uveden.



Obr. 4.7 Diagram tříd vývojového prostředí C#

Na obr. 4.7 je uveden diagram tříd vývojového prostředí C#. Pro účely komunikace s měřicí jednotkou je použita třída PristupKbazoveAdrese. V této třídě jsou obsaženy metody Input a Output, které zprostředkovávají vstupní a výstupní komunikaci prostřednictvím knihovny DLL.

#### 4.4.2 Ovládací uživatelská aplikace měřicí jednotky

Při měření byl komplet měřicí jednotky ovládán prostřednictvím uživatelského programu, který byl složen ze dvou okenních aplikací. Ovládací aplikace je zobrazena na obr. 4.8. Pomocí této aplikace byly zadávány jednotlivé parametry, určující způsob provedení měřicího cyklu. V pravé části je vymezen prostor, kde je možné zobrazit jednotlivé naměřené vzorky.

V případě nutnosti lze spustit v pořadí druhou aplikaci, která je vázána na aplikaci ovládací. Tato aplikace provádí grafické vyjádření hodnot ve formě, která postačuje pro informativní znázornění naměřených hodnot v průběhu měření.



Obr. 4.8 Okenní aplikace testovacího programu

Názorná ukázka ovládací okenní aplikace určené pro diagnostické zařízení je znázorněna na obr. 4.8. Na témže obrázku jsou viditelné ovládací prvky společně s konkrétními zadanými hodnotami. V pravé části jsou zobrazeny již naměřené hodnoty. Každá naměřená hodnota je určena pomocí čtyř parametrů. Prvním parametrem je „Číslo vzorku“, které určuje pořadí odebraných a změřených vzorků od každého aktivovaného vstupu měřící jednotky. Druhý parametr je nazván „Číslo vstupu“ a poukazuje na číslo měřícího vstupního bodu daného vzorku. Další parametr v pořadí, „Hodnota vzorku“, je napětíovou hodnotou přicházející na vstup BNC konektoru měřící jednotky v době, kdy se na daném vstupu provádí vzorkování vstupního signálu. Poslední parametrem je „Čas odebrání vzorku“, které poukazuje na relativní čas odběru vzorku počínaje od doby spuštění měřícího programu. Hrubý popis při zadávání hodnot potřebných pro měřící cyklus je uveden v kap. 4.4.

Ukázka aplikačního uživatelského okna určeného pro zobrazení naměřených výsledků je uvedena na obr. 4.9 až 4.11. Na naměřených výsledcích jsou patrné rozdíly relativní intenzity magnetického pole měřených na reléových prvcích a jejich ovlivňování sousedními relé při testování měřící jednotky kap. 5.1.

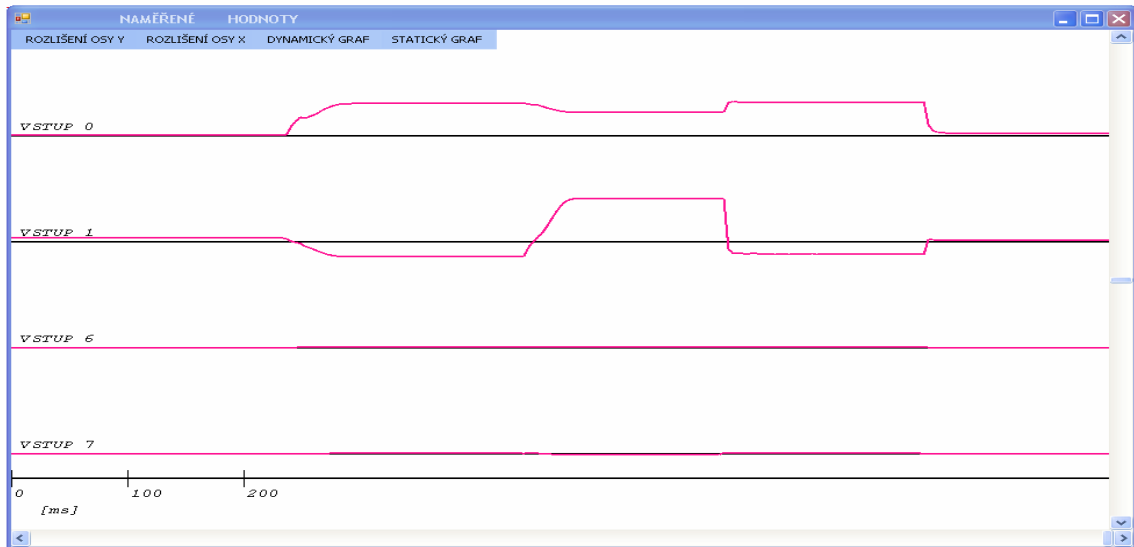


Obr. 4.9 Výstupní křivka intenzity magnetického pole

Obr. 4.9 ukazuje uživatelskou aplikaci, kde je provedeno grafické znázornění naměřených hodnot. Z obrázku je patrné, že byly na měřící jednotku napojeny čtyři vstupy. Jedná se o vstupy: 0, 1, 6, 7. Na vstupu 1 je vidět průběh relativní intenzity magnetického pole, získaného od detektoru, který zaznamenal činnost relé. Na vstupu 0, je viditelné ovlivnění senzoru, osazeného na relé číslo 0 kap. 5.1, činností sousedního reléového prvku. Pro informativní účely poskytující představu o časové ose je viditelné měřítko, které je umístěno v dolní části grafické uživatelské aplikace.

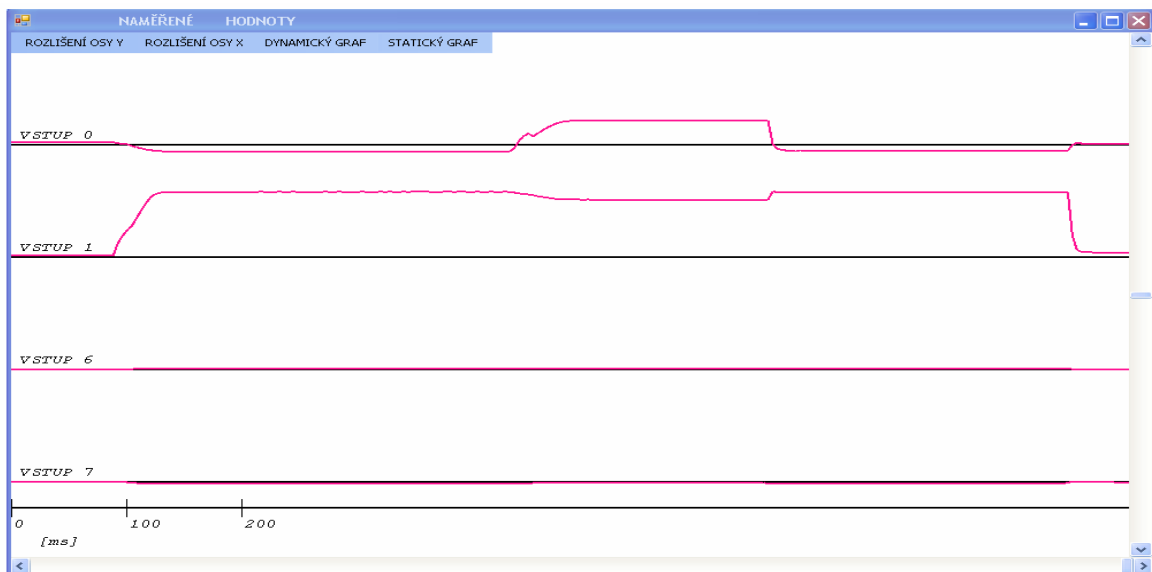
Pro případné posunutí grafu na časové ose je do okenní aplikace zakomponován ovládací prvek HScrollbar určený pro horizontální posun. Pokud by v uživatelské ovládací aplikaci bylo aktivováno více vstupů, než je možné najednou zobrazit, je umožněno posunutí grafů pomocí stejného prvku, jako v případě posunu horizontálního, avšak určeného pro posun v rovině vertikální.





Obr. 4.10 Výstupní křivka intenzity magnetického pole

Obr. 4.10 ukazuje průběh hodnot při měření, kdy je na vstupu označeném jako 0 měřena relativní intenzita magnetického pole na reléovém prvku, který je aktivován přičemž je současně na jistý čas také aktivováno relé měřícího bodu označeného jako 1. V průběhu tohoto měření je daleko více patrné ovlivňování jednotlivých senzorů ději, probíhajícími v jejich okolí a které nemají původ přímo od detekovaného reléového prvku.



Obr. 4.11 Výstupní křivka intenzity magnetického pole

Na obr. 4.11 je provedeno pokusné měření jako v případě obr. 4.10, avšak s činností relé, kde pořadí spínání reléových prvků je zaměněno.

## 5 Aplikace a výsledky diagnostické metody

Funkce konstrukčního celku byla odzkoušena na čtyřech kusech relé NMŠ1-2000. Rozmístění senzorů [10] magnetického pole bylo provedeno tak, aby byly vytvořeny co nejnepříznivější podmínky měření kap. 5.1 vzhledem k jejich ovlivňování okolními relé. To znamená, umístění snímačů na spolu sousedících relé. Napájecí napětí bylo regulováno tak aby bylo možno sledovat křivku nárůstu intenzity magnetického pole v okolí kotvy relé. Měření pak, po několika pokusech o vyhovující umístění měřících modulů, probíhalo na čelní straně krytu relé. Pro odzkoušení bylo použito čtyř snímacích prvků zapojených v kanálech 0, 1, 6, 7, diagnostického zařízení obr. 5.1.

V průběhu měření bylo na ukázkou sejmuto několik obrázků pracovní plochy osobního počítače, společně s aplikačním programem určeným k ovládání měřící jednotky. Naměřené vzorky zapsané pomocí aplikačního programu do souboru dat, byly dále zpracovány pomocí tabulkového programu do grafů, zobrazujících průběhy měnících se hodnot při testu funkčnosti přístrojového kompletu.

Napájení zkušebních relé bylo provedeno pomocí dvou stejnosměrných zdrojů, které byly schopny dodat požadované jmenovité napájecí napětí pro potřeby odzkoušení funkce diagnostického zařízení.

Před měřením byly nejdříve na jednotlivé relé umístěny snímací prvky s Hallovo sondou. Pak byla provedena kalibrace měřících modulů na nulu, potřebná k odstranění rušivých vlivů okolních magnetických polí, pomocí programové výbavy. Následně byly vybrané relé střídavě nebo současně, spolu s ostatními reléovými prvky, připojovány ke zdroji stejnosměrného napětí. Měření probíhalo dvěma způsoby.

První způsob funkční zkoušky byl proveden tak, že na cívky reléových vinutí bylo připojeno napětí z oblasti jmenovitých hodnot relé. Tímto způsobem došlo k okamžitému sepnutí reléového prvku. Měření probíhalo s ohledem na velikost datového souboru tak, aby byl zachycen celý průběh měření s jistým malým časovým přesahem, který je vhodný k určení naměřených hodnot před a po provedeném měřícím cyklu.

Druhý způsob spočíval v přívodu postupně se měnící hodnoty napájecího napětí na reléové cívký. Napětí bylo zvyšováno, nebo snižováno, vždy jen na jednom relé a to od hodnoty, která nepostačovala k přitahu nebo odpadu kotvy měřeného reléového prvku. Uvedený způsob byl vhodný ke zjištění skutečnosti, zda by bylo možné detekovat stavy relé s ohledem na rozdílné hodnoty přitahu a odpadu reléové kotvy, kde se mezi napěťovými hodnotami přitahu a odpadu projevuje hystereze.

## 5.1 Podmínky při měření

Pro testování měřicí jednotky byly použity již vyřazené čtyři relé NMŠ1-2000, dále byly okolní podmínky uzpůsobeny tak, aby se co nejvíce přibližovaly provozním podmínkám. Jednotlivé relé jsou ve skutečnosti umístěny v reléové místnosti kde je jejich upevnění provedeno pomocí reléového stojanu, který umožňuje osazení relé v několika řadách nad sebou. V jedné řadě je možno umístit až osm reléových prvků. Vzdálenostní poměry na takto osazeném reléovém stojanu jsou:

- 90 mm mezi středy cívek vinutí relé, měřeno ve vodorovné ose
- 120 mm měřeno v ose svislé.

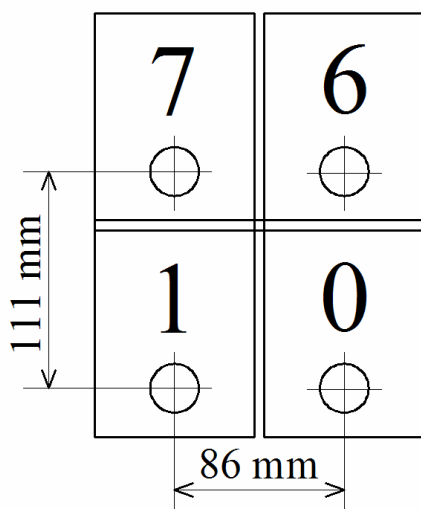
Pro funkčnost metody detekce je podmínkou dobrá rozlišovací schopnost mezi jednotlivými detektory, která závisí na jejich umístění a zároveň na citlivosti, se kterou budou pracovat v oblasti měřené intenzity magnetického pole.

Při zkušebním testu byly reléové prvky umístěny vedle sebe se vzdálenostními poměry mezi středy vinutí cívek 86 mm ve vodorovné ose a 111 mm v ose svislé obr. 5.1. Takové parametry rozmístění jsou pro měření magnetického pole v okolí reléové kotvy nepříznivější než ve skutečném provozu. Přední vnější strana plastového krytu relé je od reléové kotvy v sepnutém stavu vždy vzdálena 14 mm.

Pokud by se podařilo, vzhledem k popsáným skutečnostem, docílit kladných výsledků v rozlišení stavů reléových prvků při jejich činnosti, pak by to mohlo být předpokladem, že při skutečném osazení na reléovém stojanu, kde jsou jednotlivá relé od sebe více vzdálena, bude funkčnost metody přinejmenším zachována, ne-li zlepšena. Magnetické pole, které bude vytvářet vliv na relé a snímače umístěné v okolí činného reléového prvku se zmenšuje s nárůstem vzdálenosti, proto se dá předpokládat menší ovlivnění naměřených hodnot od sousedících činných relé při praktickém osazení ve skutečném provozu.

Měření bylo provedeno uvedeným způsobem pouze ve zkušební místnosti z důvodu zachování požadavků kladených na zabezpečovací techniku, kdy je manipulace a přístup k reléovým prvkům v činném provozu zakázán, vzhledem k zachování bezpečnosti konstrukčního celku.

Umístění snímače intenzity magnetického pole v ose magnetického obvodu cívky měřeného relé je pak dáno konstrukčními parametry jeho plastového krytu, který je součástí konstrukčního celku reléového prvku. Vzdálenost pohyblivé kotvy relé od čela plastového krytu se vlivem činnosti relé mění. V době, kdy na cívky relé připojíme napájecí napětí, se začne reléová kotva přitahovat ke svému jádru a tím se i vzdálenost kotvy relé od čelního krytu, kde je snímač intenzity magnetického pole umístěn, zvětšuje. Kontakty reléových cívek byly při měření mezi sebou propojeny tak, aby bylo vytvořeno sériové zapojení mezi oběma reléovými cívkami.



Obr. 5.1 Rozmístění a číslování relé při testu měřící jednotky

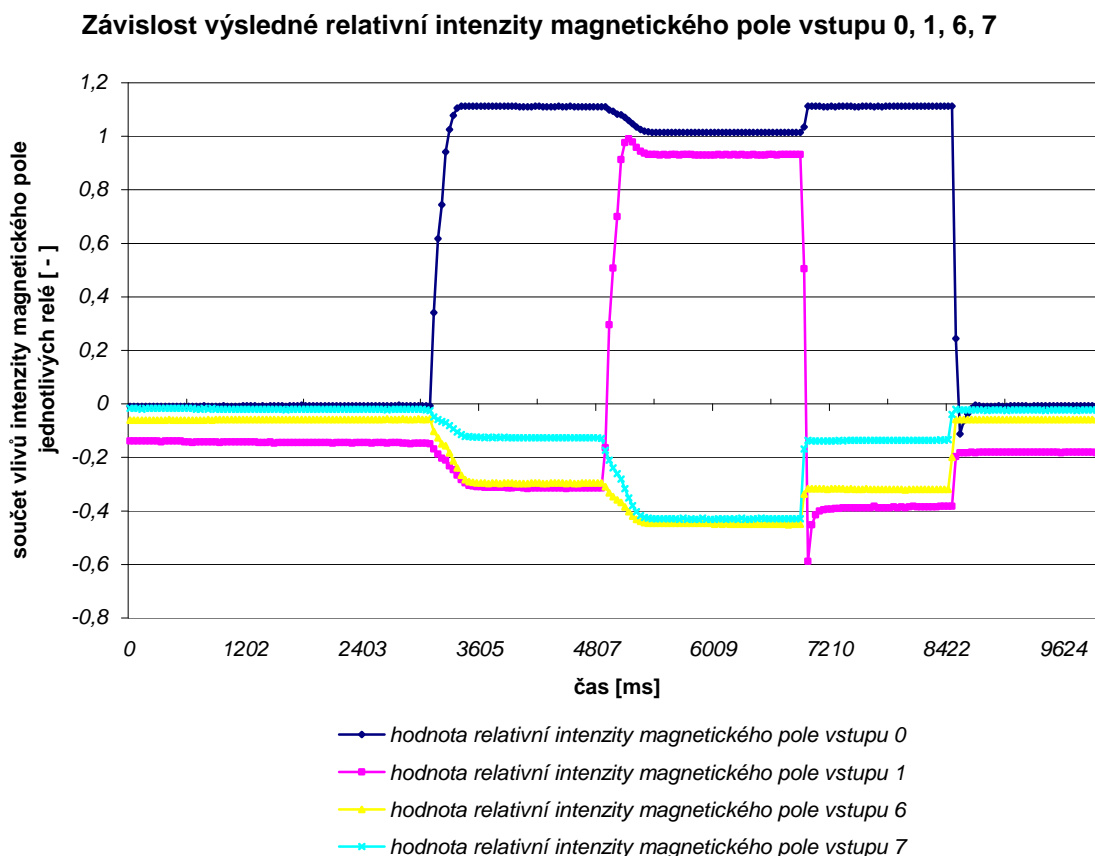
Na obr. 5.1 je uveden náčrt rozmístění čtyř kusů relé NMS-2000 při zkoušce měřícího kompletu, skládajícího se ze snímačů intenzity magnetického pole, měřící jednotky a osobního počítače. Čísla uvedená v schématickém vyobrazení jednotlivých relé na obr. 5.1 znamenají čísla vstupů osmikanálové měřící jednotky. První vstup je označen jako 0 pak následují další, až do čísla 7.

Uchycení detektoru intenzity magnetického pole bylo provedeno pomocí plastové pásky k části upevňovacího šroubu, vystupující nad jeho čelním krytem.

Teplota  $23^{\circ}\text{C}$  a tlak  $1039\text{ hPa}$  ve zkušební místnosti v době provozní zkoušky měřící jednotky byl naměřen zhotovenými a kalibrovanými měřícími přístroji dle kap. 3.5.1, 3.5.2 a 3.6.

## 5.2 Výsledky měření

Uvedené grafické závislosti na obr. 5.2 až 5.8 jsou vyjádřením datových souborů naměřených hodnot, které byly získány v průběhu testování funkčnosti měřící jednotky.



Obr. 5.2 Výstupní hodnoty relativní intenzity magnetického pole čtyř detektorů

Na obr. 5.2 je zobrazena ukázka průběhu relativní intenzity magnetického pole v závislosti na čase, při testovacím měření pomocí měřící jednotky, na kterou byly připojeny čtyři snímače intenzity magnetického pole. Uvedené průběhy grafů jsou součtem příspěvků intenzity magnetického pole pocházejících od jednotlivých magnetických obvodů reléových prvků. Na ose y grafu je vynášena relativní hodnota intenzity magnetického pole, které bylo detekováno pomocí nekalibrované měřící jednotky. Z tohoto

důvodu není v popisu osy y uvedena jednotka měřené veličiny. Naměřená hodnota na ose y však číselně souhlasí s napěťovou hodnotou, která vystupuje z detektoru magnetického pole. Na ose x je pak zaznamenáván čas, kdy byly příslušné vzorky odebrány. Vyhodnocení naměřených signálů bylo provedeno pomocí vlastního aplikačního programu dle kap. 4.4, jehož grafická podoba je na obr. 4.8.

Z naměřených hodnot, které jsou použity ke konstrukci grafu obr. 5.2, je vidět, že intenzita magnetického pole v místě osazení detektoru kolísá jak vlivem vlastního magnetického pole relé, tak i vlivem, který přichází od jiných elektricky činných relé. Zařazením hodnot, pocházejících od jednotlivých detektorů do jednoho grafu, byla provedena ukázka, na které jsou zřetelně viditelné následky činnosti reléových prvků přítomných při testování funkčnosti měřící jednotky.

Vzdálenostní poměry cívek relé, které byly osazeny magnetickými detektory, jejichž výsledné průběhy naměřených hodnot jsou na obr. 5.2, byly v horizontální rovině od sebe vzdáleny 86 mm a ve vertikální rovině 111 mm viz obr. 5.1.

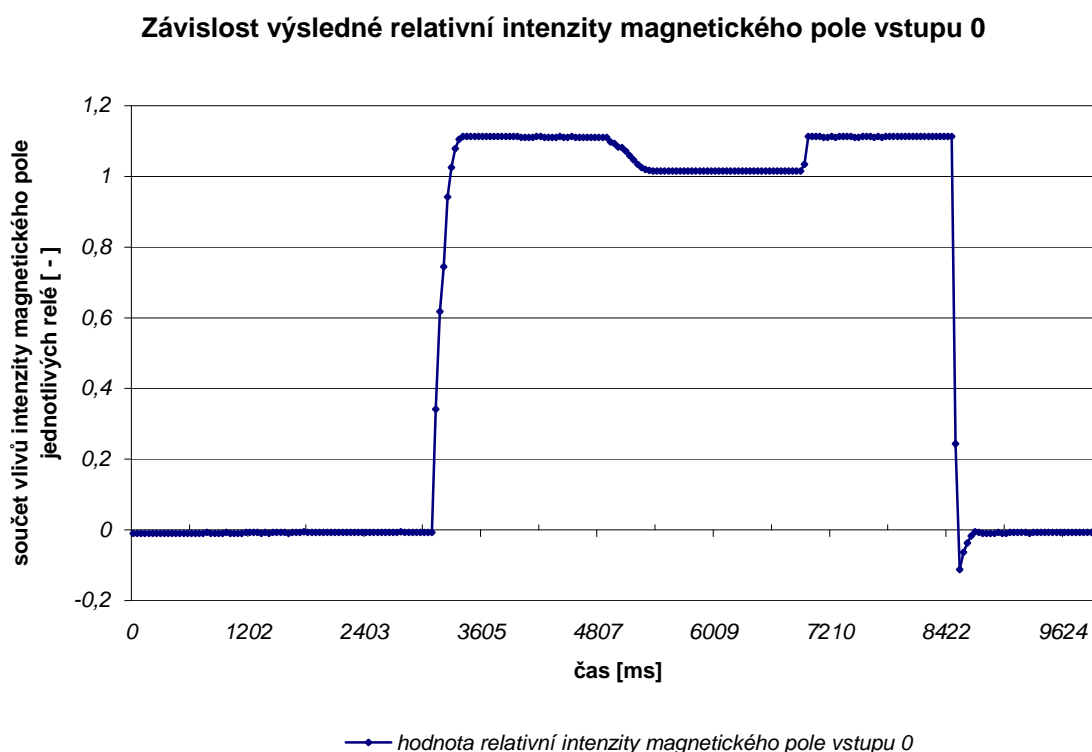
Po přiložení napájecího napětí na kontakty vinutí jednoho z měřených relé, proběhlo za jistou dobu přitažení kotvy. To se odrazilo v naměřených hodnotách strmým nárůstem intenzity magnetického pole v místě, kde byl detektor umístěn a jeho následným ustálením, které proběhlo po dosažení jeho maximální hodnoty.

Cívky vinutí se chovají jako induktor, který si chce zachovat jím procházející hodnoty magnetického pole a proto je v grafu zřetelně vidět výkyv průběhu intenzity magnetického pole mimo hodnoty, než jaké jsou indikovány po jeho ustálení. Takové chování intenzity magnetického pole je patrné z výstupní grafické závislosti obr. 5.2, kde na cívku reléového prvku s umístěným měřícím bodem označeným jako bod číslo 1, je přivedeno napětí. Přiložené napětí vyvolává proud protékající reléovými cívkami, následně se pak vytváří magnetického pole v okolí feromagnetické kotvy. Relativní intenzita magnetického pole reléového prvku, který byl v činnosti důsledkem sepnutí nebo rozepnutí napájecího obvodu, vykazovala v jeho okolí změny. Kolem činného reléového prvku byla také krátkodobě zaznamenána změna intenzity magnetického pole, která však byla ale opačného trendu.

K pozorovaným vlivům docházelo z důvodu měnícího se směru toku magnetického pole v rovině nad reléovými prvky, kde byly umístěny detekční sondy tvořené Hallovo sondou. Uvedené skutečnosti jsou projevem důsledku uzavírání magnetických siločar

v okolí feromagnetické kotvy relé. Magnetické pole je na rozdíl od pole elektrického vírové, uzavírání siločar se děje dle dohodnutého směru od severního pólu k jižnímu, tím dochází k průchodu siločar pocházejících od jedné činné cívky přes Hallovy sondy umístěné nad sousedními reléovými prvky, ale opačným směrem.

Výsledky na obr. 5.3 až obr. 5.8 jsou grafickým vyjádřením jednotlivých průběhů intenzity magnetického pole uvedených na obr. 5.2, měřené souběžně v témže čase při testování funkčnosti měřící jednotky.



Obr. 5.3 Výstupní hodnota detektoru 0

Obr. 5.3 ukazuje výsledky naměřené snímačem intenzity magnetického pole provedeného dle kap. 5. Na grafickém vyjádření hodnot je nejdříve patrný nárůst relativní intenzity magnetického pole v čase 3084 ms od startu měřící zkoušky, jako důsledek sepnutí reléového prvku v měřícím bodě, kde byl umístěn magnetický snímač vstupu 0 měřící jednotky. Ustálení parametrů magnetického obvodu relé bylo indikováno v čase 3484 ms. Tím se dá v bodě 3484 ms předpokládat, že se reléový prvek nachází v sepnutém stavu. Po krátkém čase bylo na svorky sousedícího reléového prvku, kde byl umístěn snímač magnetického pole vstupu 1 měřící jednotky, přivedeno napětí z oblasti

jmenovitých hodnot. Jeho spínání bylo zahájeno v čase 4856 ms a dokončeno bylo v čase 5337 ms, kdy došlo k ustálení magnetického pole po provedeném přitažení reléové kotvy. V této oblasti tj. čase 4856 ms a 5337 ms, je zřetelné ovlivnění reléového prvku označeného jako 0 sousedním reléovým prvkem označeným číslem 1.

Po provedení připojení napájecího napětí k reléovým cívkám, bylo přistoupeno k jejich postupnému vypínání. Odpojení napájecího napětí relé, které bylo indikováno na vstupu 1, nastalo v čase 6899 ms měřícího testu a ustálení na magnetickém prvku nastalo v čase 7170 ms. Pak byl rozpojen i napájecí obvod relé na indikačním vstupu 0 měřící jednotky. To nastalo v čase 8462 ms a ustálení měřených parametrů zachycených snímači osazenými na relé je viditelné na obr. 5.1, kdy byl naměřen čas 8782 ms od doby začátku testu. Tím byl ukončen jeden testovací cyklus.

Z grafu je možné odečíst i parametry doby přitahu a odpadu reléového prvku. Pro zjištění doby přitahu a odpadu zkušebního relé byly použity naměřené hodnoty odečtené z grafu na obr. 5.2. Následně byly tyto hodnoty použity v tabulce tab. 5.1.

Relativní doba změny magnetických parametrů od startu měřícího cyklu						Absolutní doba změny magnetického pole			
Na detektoru		Min [ms]	Max [ms]	Ustálení		Doba sepnutí [ms]	Doba rozepnutí [ms]	Přítah [ms]	Odpad [ms]
				Od [ms]	Do [ms]				
Vstupu 0	Přítah	3084	3484	3484	3484	400	-	0	-
	Odpad	8542	8462	8542	8782	-	80	-	240
Vstupu 1	Přítah	4856	5137	5137	5337	281	-	200	-
	Odpad	6980	6899	6980	7170	-	81	-	190

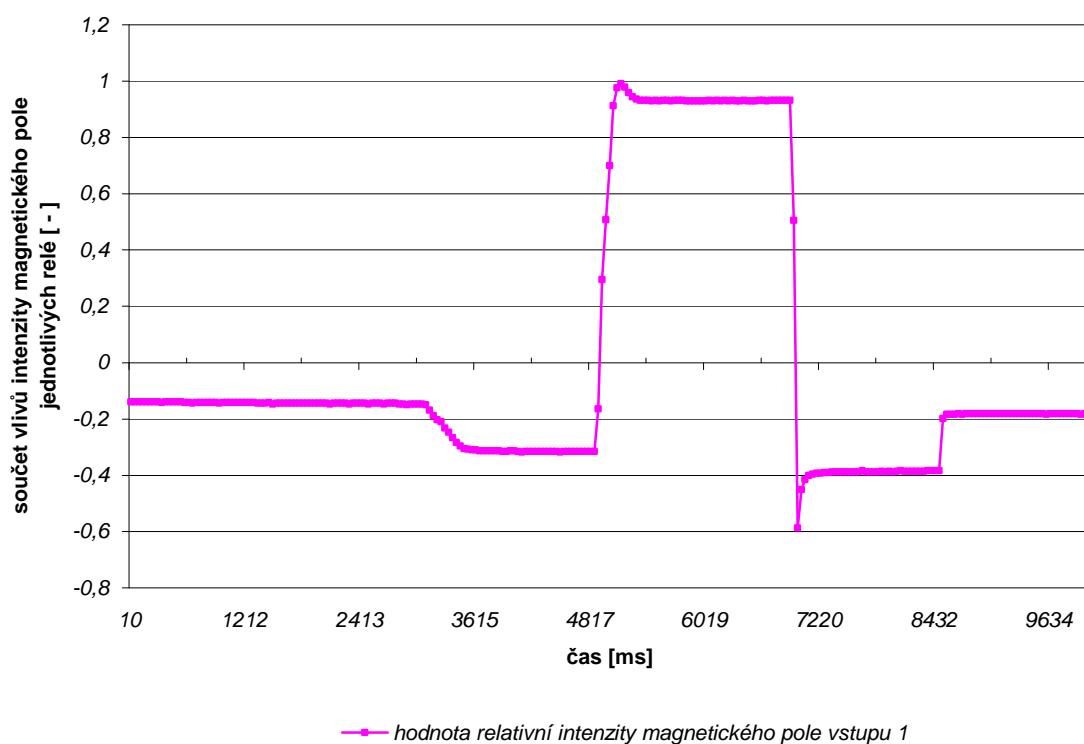
Tab. 5.1 Časové parametry změn probíhajících při činnosti relé

V tabulce tab. 5.1 jsou zaznamenány časové hodnoty odečtené z grafu na obr. 5.2. Z uvedených hodnot časových změn magnetického pole by bylo možné předpokládat dobu, kdy je měřený reléový prvek v sepnutém nebo rozepnutém stavu. Čas ustálení parametrů magnetického obvodu však nebude přesně odpovídat času, kdy jsou kontakty reléového prvku v provozních polohách sepnuto, rozepnuto. Je to důsledek mechanické konstrukce



reléového prvku, kde k sepnutí kontaktů relé nedochází v době, kdy je kotva relé v přitaženém stavu, ale o něco dříve. Naopak při rozpínání relé dochází k rozpojení reléových doteků o něco později, než je doba rozpojení napájecího obvodu reléových cívek. Důsledkem toho by tedy až ustálení parametrů magnetického obvodu mohlo být předpokladem, že je reléový prvek v jednom z provozních stavů.

**Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 1**

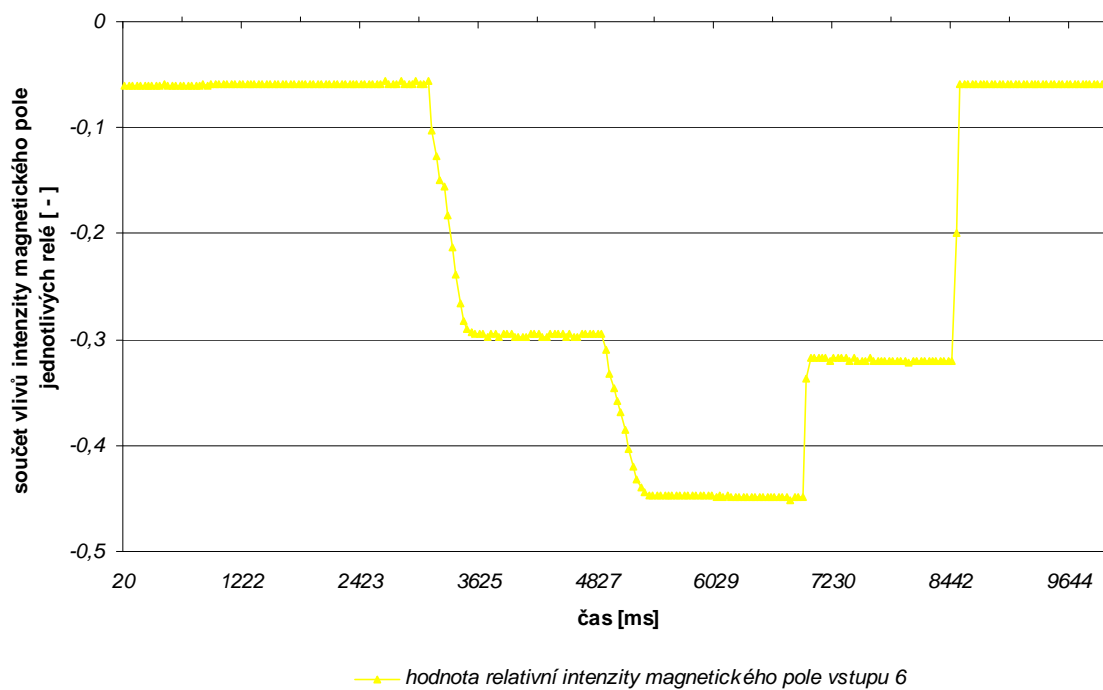


Obr. 5.4 Výstupní hodnota detektoru 1

Na obr. 5.4 je zobrazen průběh relativní intenzity magnetického pole na reléovém prvku, kde byl umístěn snímací detektor, použitý pro vstup 1 měřící jednotky. Na průběhu křivky relativní intenzity magnetického pole jsou zřetelně viditelné úseky doby ustálení magnetických parametrů v okolí reléového prvku.

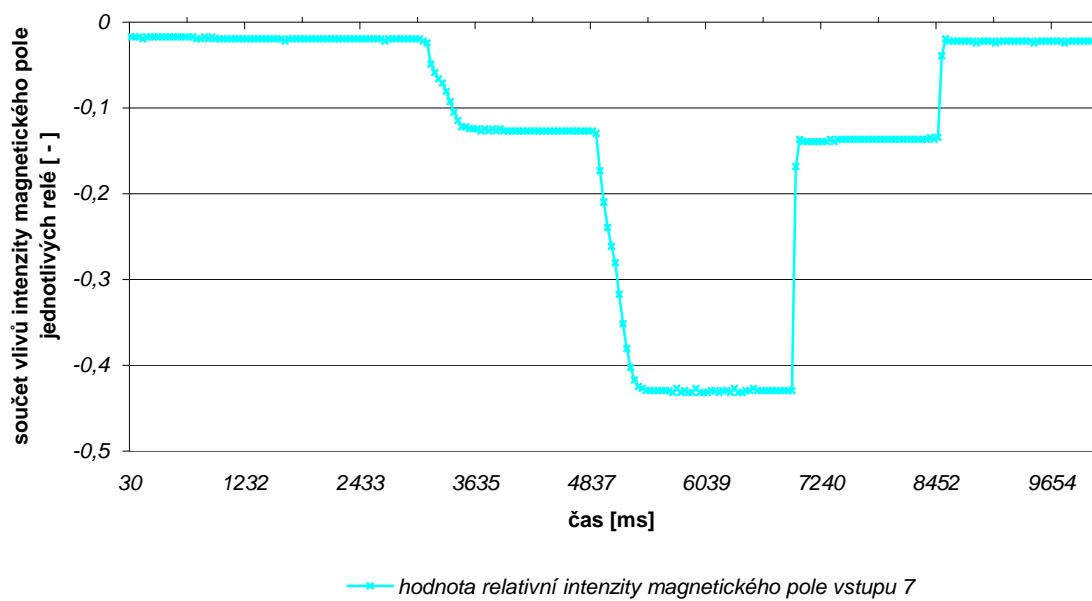
Obr. 5.5 a obr. 5.6 je zobrazením průběhu relativní intenzity magnetického pole na reléových prvcích, kde byly umístěny snímací body, použité pro vstupy 6 a 7 měřící jednotky. Reléové prvky, zde umístěné, nejsou připojovány na napájecí napětí. Jsou však osazeny detektory magnetického pole, které slouží jako indikátory vlivů činnosti od činných reléových prvků a detekovaných snímači 0 a 1.

**Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 6**



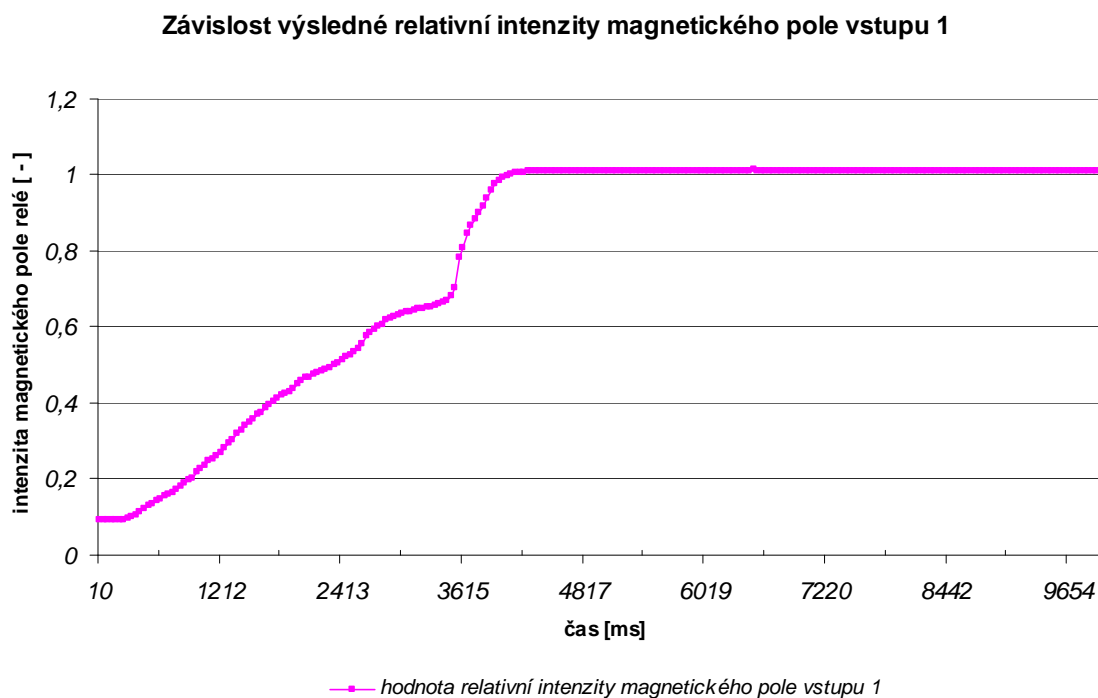
**Obr. 5.5 Výstupní hodnota detektoru 6**

**Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 7**



**Obr. 5.6 Výstupní hodnota detektoru 7**

K zjištění hodnot relativní intenzity magnetického pole, které by dále posloužily k určení stavu reléového prvku v definované poloze přítah, odpad, bylo provedeno měření, při kterém byla hodnota napájecího napětí, na svorkách cívek, postupně zvyšována, nebo snižována. Při zkoušce, kdy bylo napájecí napětí zvyšováno od hodnoty 7,5 V do hodnoty 14,5 V, byl zaznamenán prudký nárůst intenzity magnetického pole, který odpovídal stavu, kdy byla reléová kotva přitažena k jádru reléové cívky. Naopak při snižování napájecího napětí na reléových cívkách byl zaznamenán prudký pokles intenzity magnetického pole, který odpovídal odpadnutí reléové kotvy a tím také rozpojení doteků relé.

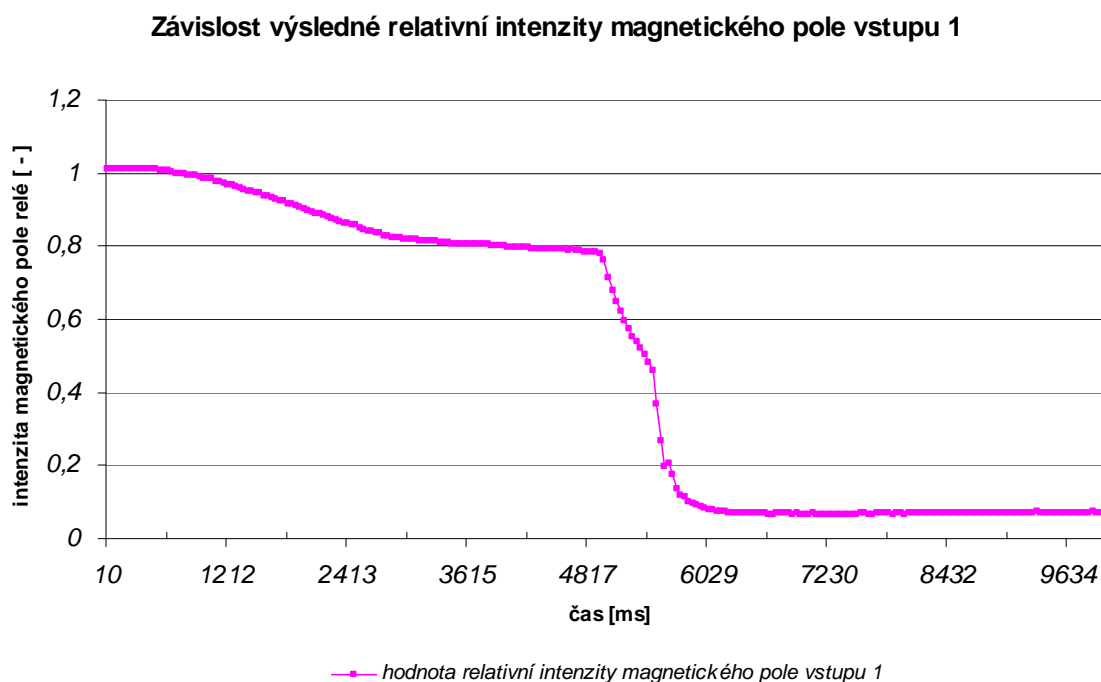


Obr. 5.7 Výstupní hodnota detektoru 1 při postupném zvyšování napájecího napětí

Na obr. 5.7 je narozdíl od obr. 5.8 zachycen průběh intenzity magnetického pole, který je důsledkem zvyšování napájecího napětí. Napětí na cívkách vinutí bylo při zkoušce postupně zvyšováno od počáteční hodnoty 7,5 V do hodnoty 14,5 V, kdy kotva relé doléhala k svému jádru. Grafické vyjádření závislosti relativní intenzity magnetického pole na čase ukazuje v bodě 3535 ms od začátku testu, prudký nárůst relativní intenzity

magnetického pole. Tento bod odpovídá době, kdy byla kotva relé přitažena k jádru reléových cívek.

Z grafu na obr. 5.8 by bylo možné zjistit hodnoty relativní intenzity magnetického pole v čase, kdy u reléového prvku dochází k odpadnutí kotvy. Naměřené hodnoty byly zjištěny pomocí postupného snižování napájecího napětí připojeného k reléovým cívkám. Na počátku, v čase 10 ms od zahájení testu, bylo napětí na reléových cívkách, spojených do série, 14,4 V, které bylo postupně snižováno až na hodnotu 7,5 V. Z grafu je pak vidět pokles relativní intenzity magnetického pole do bodu v čase 2894 ms. V tomto čase se kotva relé částečně odlepila od jádra elektromagnetické cívky. Pak byly hodnoty relativní intenzity magnetického pole až do bodu v čase 4937 ms téměř stejné a kotva relé zůstávala stále z pohledu pozorovatele na přibližně stejném místě. V časovém období od 4937 ms do 5708 ms došlo k záznamu prudkého poklesu relativní intenzity magnetického pole. V této době se kotva relé zcela odlepila od jádra relé a odpadla.

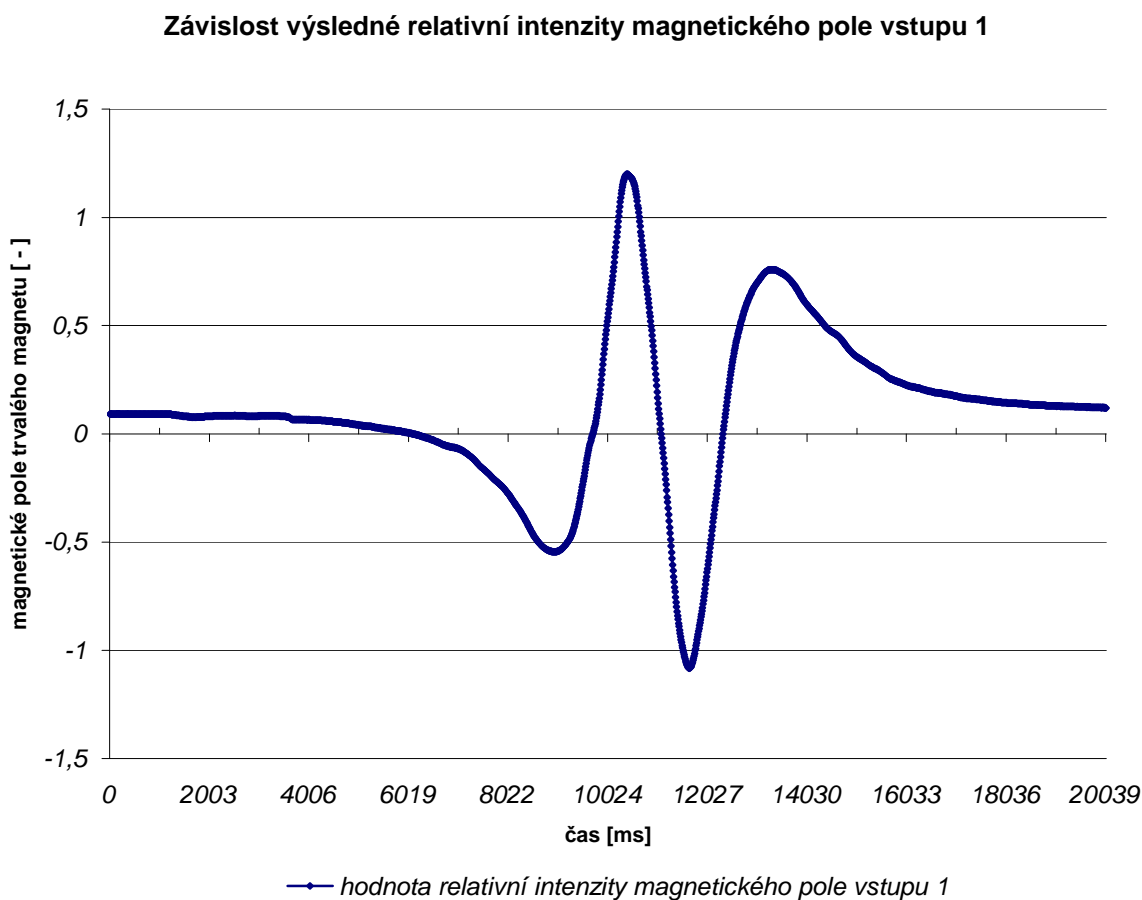


Obr. 5.8 Výstupní hodnota detektoru 1 při postupném snižování napájecího napětí

Pak docházelo dále k postupnému snížení napájecího napětí relé k hodnotě 7,5 V, kde se parametry relativní intenzity magnetického pole ustálily. Ustálení parametrů je možné vysledovat v čase 6269 ms od zahájení zkoušky, kdy se napěťová úroveň napájení reléových cívek přestala měnit.

### 5.3 Příklady dalších naměřených hodnot

V rámci testování měřící jednotky, spolu s detektorem magnetického pole, bylo odzkoušeno několik jiných možností měření intenzity magnetického pole. Tyto objekty byly odlišné od malorozměrových relé typu NMS1-2000. Pro pozorování výskytu magnetického pole v okolí objektů byly vybrány tyto předměty: permanentní magnet, elektrický budík a elektrické náramkové hodinky. Na závěr bylo pokusně změřeno geomagnetické pole Země.

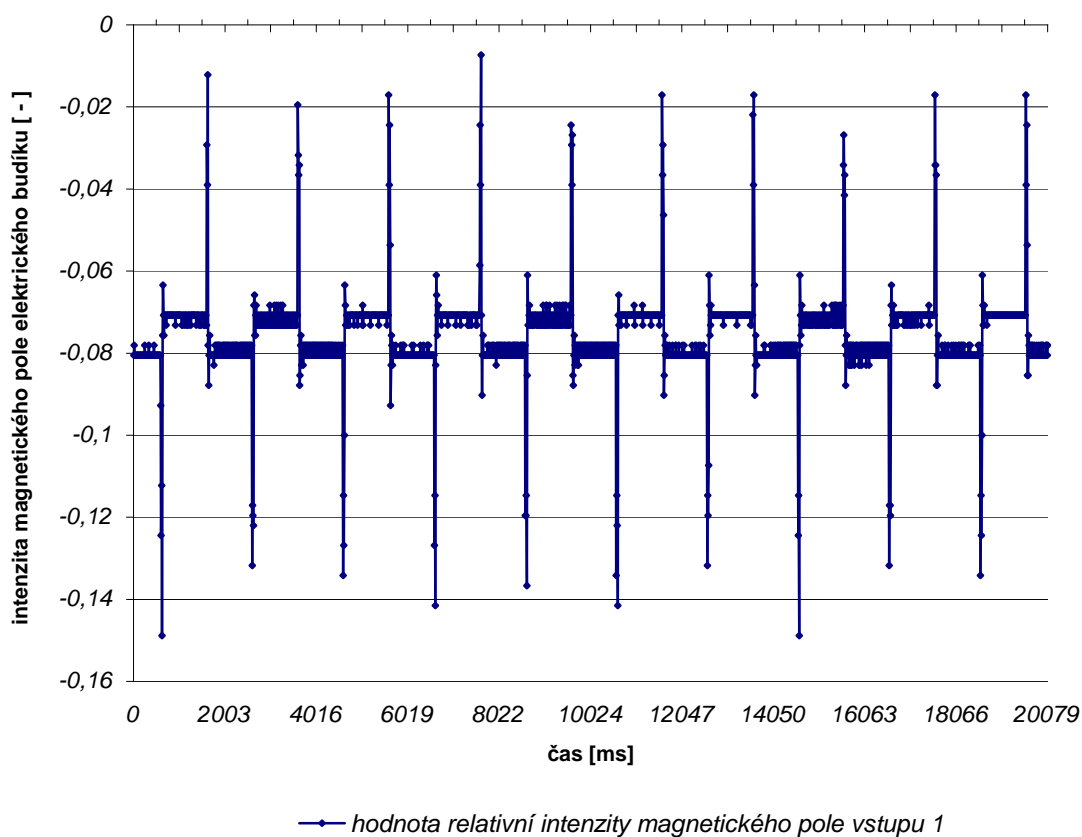


Obr. 5.9 Relativní intenzita magnetického pole v okolí permanentního magnetu

Na obr. 5.9 je uvedena ukázka průběhu intenzity magnetického pole v okolí permanentního magnetu. Při průběhu měření se použitý permanentní magnet válcového tvaru o průměru 13 mm a tloušťce 4 mm, pohyboval rovnoměrně ve směru  $H_x$  Hallovy sondy kap. 8.1.1, kolmo na svoji osu. Pro vykreslení křivky uvedené na obr. 5.9, je nutné

pohybovat permanentním magnetem pokud možno co nejrovnoměrněji. V případě nerovnoměrného pohybu může vzniknout při grafickém zpracování nesouměrná křivka. Uvedená věc však není na závadu naměřených hodnot. Je pouze méně vhodnou, pro názornou ukázkou průběhu magnetického pole. Při pohledu na obr. 5.9, je větší nerovnoměrnost pohybu permanentního magnetu, vidět v oblasti od 2000 ms do 5000 ms, od začátku měření. Permanentní magnet míjel detektor pouze jedním směrem kolmo na osu  $H_y$  Hallovy sondy. Největší hustotu magnetických siločar vykazovaly okraje permanentního magnetu. Toto je patrné v časové oblasti 10500 ms a 11700 ms od počátku měřicího cyklu.

**Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 1**



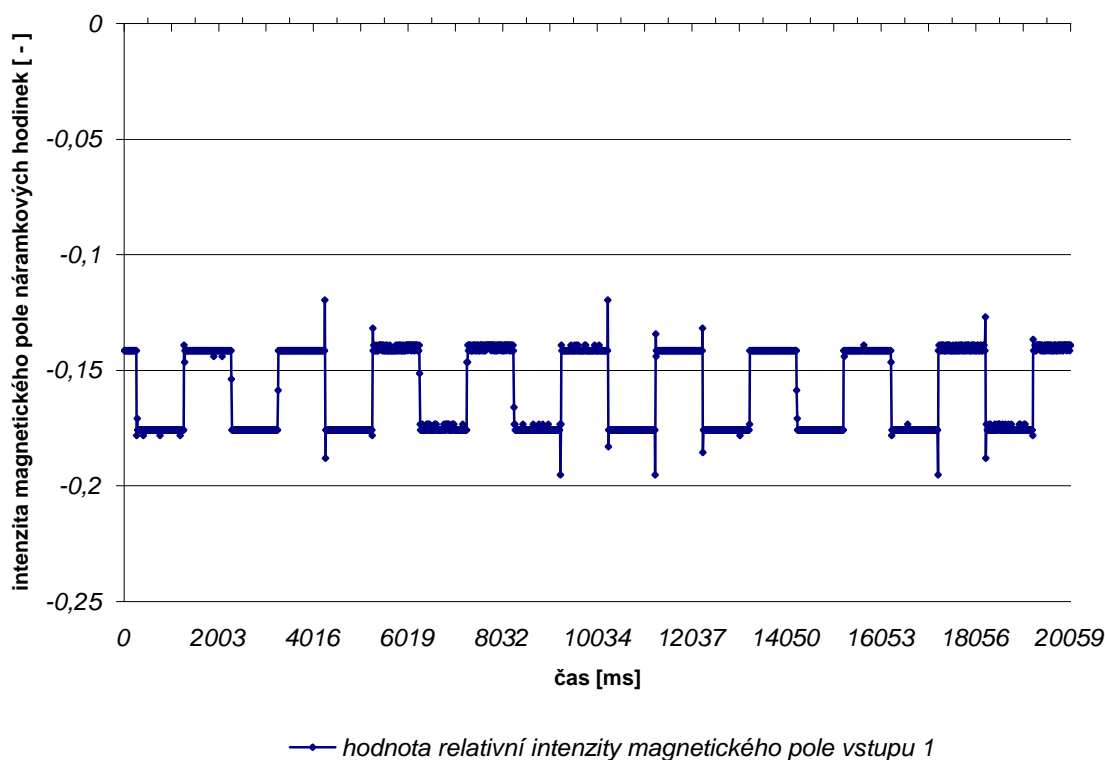
Obr. 5.10 Měření magnetického pole elektrického budíku

Na obr. 5.10 byl proveden test přítomnosti magnetického pole v okolí elektricky napájených hodinek. Jednalo se o mechanismus elektrického budíku, pod kterým byl umístěn detektor magnetického pole s Hallovou sondou.

System, jímž se pohání hodinový mechanismus je napájen pomocí alkalické baterie 1,5 V a je tvořen generátorem sekundových impulsů, které jsou prostřednictvím krokového elektromotoru přenášeny na mechanické části elektrického hodinového strojku. Vlivem změny polarity, která proběhne jednou za sekundu, je natáčena kotva malého elektromotoru umístěného uvnitř elektrických hodin. Kotva krokového elektromotorku je tvořena permanentním magnetem, který se natáčí vlivem změny magnetického pole vytvářeného cívkami umístěnými ve statoru.

Vlivem sekundových impulsů přicházejících do statorového vinutí a vlivem otáčení kotvy krokového elektromotoru, jsou v okolí elektricky poháněných hodin, zaznamenávány změny magnetického pole obr. 5.10.

**Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 1**



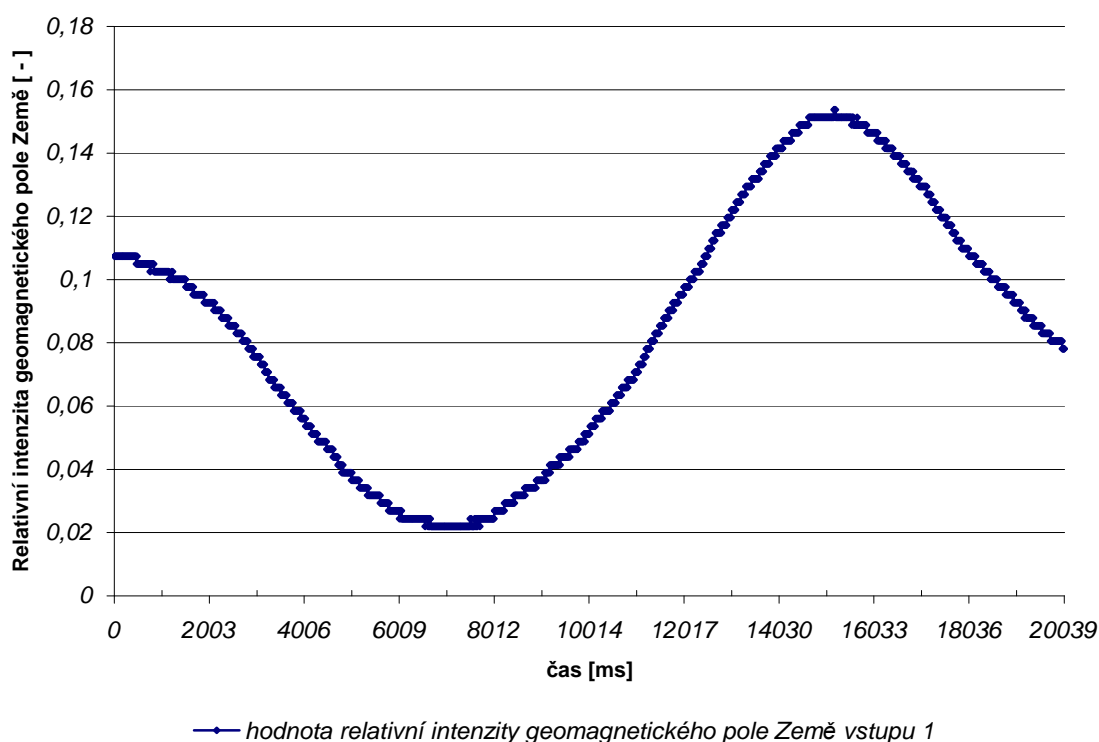
Obr. 5.11 Relativní intenzita magnetického pole elektrických náramkových hodinek

Na obr. 5.11 je průběh výsledku testování, elektricky poháněných, dámských náramkových hodinek. Z výsledku je patrné, že mění se magnetický impuls, přichází právě po uběhnutí času 1 s. Střídavě se mění výška intenzity magnetického pole je

důsledek otáčení kotvy krokového motoru elektricky poháněných hodin. Kotva, která je tvořena permanentním magnetem se střídavě natáčí vlivem časových impulsů a tím se střídavě mění i magnetické pole v okolí hodinového strojku.

Závěrem bylo, pomocí měřící jednotky, pokusně změřeno geomagnetické pole Země. Snímač intenzity magnetického pole byl otáčen kolmo na osu  $H_y$  magnetického senzoru KMZ10A o  $360^\circ$ .

#### Závislost výsledné relativní intenzity magnetického pole vstupu 1



Obr. 5.12 Relativní intenzita geomagnetického pole Země

Působení geomagnetického pole Země v ose  $H_y$  magnetického senzoru je viditelné na obr. 5.12, kde polovina rozdílu mezi nejnižším a nejvyšším bodem křivky grafu odpovídá změřené relativní intenzitě geomagnetického pole Země.



## 6 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyvinout a ověřit metodu, kterou by bez mechanického a elektrického zásahu do reléové části reléového zabezpečovacího zařízení, bylo možno ověřovat činnost relé, již zmíněného technologického celku.

Po analýze problému a úvaze o vhodném a dostupném způsobu detekce vybraných reléových prvků v zabezpečovací technice, bylo pomocí zvolené diagnostické metody popsané v kap. 3.4 přistoupeno k vývoji a realizaci měřící jednotky. Měřící systém je vybaven osmi analogovými vstupy, na kterých je možné nezávisle na sobě měřit úroveň napětí v rozsahu  $\pm 10V$ . Společně s měřící jednotkou byly také vyvinuty a zkonstruovány snímací prvky určené k detekci magnetického pole nacházejícího se v okolí reléových jednotek. Měřící jednotka je vybavena komunikačním rozhraním tak, aby byla schopná spolupracovat s osobním počítačem pomocí paralelního portu LPT. Naměřené hodnoty jsou prostřednictvím komunikačního adaptéru měřící jednotky přeneseny do osobního počítače, kde je lze pomocí vyvinutého softwaru ukládat do datových souborů, které je dále možné pomocí vhodného programového vybavení zpracovávat pro účely rekonstrukce událostí odehrávajících se v době měřícího cyklu. Za účelem okamžitého porovnání naměřených hodnot jednotlivých vstupů osmikanálové měřící jednotky, byl vyvinut uživatelský program umožňující současné prohlížení grafických průběhů vzorků aktivovaných kanálů přímo při měřícím cyklu nebo následně po jeho ukončení.

Praktickou zkouškou, provedenou na zapůjčených již vyřazených čtyřech relé NMS1-2000, byla ověřena funkčnost celého měřícího kompletu společně s programovým vybavením a získané záznamy naměřených hodnot graficky zpracovány a prezentovány viz kap. 5.2. Publikované hodnoty byly naměřeny v měřící místnosti viz kap. 5.

V případě rozhodnutí o praktických zkouškách této detekční metody stavů relé na již aktivovaném testovacím zařízení v provozu, je možné použít naměřených hodnot, získaných ve zkušební místnosti na relé typu NMS-2000. Z naměřených hodnot vyplývá, že je možno stanovit určitou velikost relativní intenzity magnetického pole pro zjištění polohy kotvy relé a pak následně posoudit stav reléového prvku v přesně definované poloze sepnuto, rozepnuto. Měřící jednotka je využitelná se stávajícími detektory k měření stejnosměrného i střídavého magnetického pole v místech, kde je možné sondu, vzhledem k velikosti umístit.

Měřicí jednotka umožňuje kromě měření intenzity magnetického pole, měřit i další veličiny. Byly vyvinuty další převodníky fyzikálních veličin a to:

- převodník teplota / napětí
- převodník tlak vzduchu (atmosférický) / napětí.

Tyto převodníky viz kap. 3.5.1 a 3.5.2, byly taktéž aplikovány při konkrétním testování relé.

Použitý měřicí systém a vyvinuté detektory včetně vyvinutého programového vybavení s dostatečnou rezervou umožňují zobrazit časové rozvoje magnetického pole generovaného cívkami relé. Jak z naměřených prezentovaných hodnot magnetického pole vyplývá, měřicí systém a zvolená metoda, umožňují ověření funkce bezpečnostních relé bez mechanického i elektrického zásahu do zabezpečovacího systému.

## 7 Literatura

- [1] <http://vyuka.fel.zcu.cz/>, 1.3. 2008
- [2] Hanus, J., Koblasa, K. Staniční reléové zabezpečovací zařízení typu AŽD 71. Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1974.
- [3] Odbor sdělovací a zabezpečovací techniky. Údržba reléových zabezpečovacích zařízení – ČSD – T 123. Federální ministerstvo dopravy, Nakladatelství dopravy a spojů, Praha NADAS.
- [4] [http://members.chello.cz/kuna/Literatura/KO\\_n.pdf](http://members.chello.cz/kuna/Literatura/KO_n.pdf), 1.3. 2008
- [5] <http://www.azd.cz/>, 1.3. 2008
- [6] Dvořák, J., kolektiv. Zabezpečovací zařízení na železnici. Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1970.
- [7] Myslík, J. Elektromagnetické pole - základy teorie. Nakladatelství BEN, Praha 1998 1. vydání.
- [8] Szántó, L. Maxwellovy rovnice. BEN technická literatura, Praha 2003.
- [9] <http://www.volny.cz/vopalem/MagSen04.pdf>, 18.3.2008
- [10] Ďaďo, S., Kreidl, M. Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT, Praha 1999.
- [11] <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/>
- [12] <http://www.gaw.ru/doc/Motorola/mpx4115rev3.pdf>
- [13] Punčochář, L. Operační zesilovače v elektrotechnice, 5. vydání. BEN, Praha 2002.
- [14] [http://www.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/pdf\\_kor/28804/TI/TL071CP.html](http://www.alldatasheet.co.kr/datasheet-pdf/pdf_kor/28804/TI/TL071CP.html), 12.4. 2008.
- [15] <http://dce.felk.cvut.cz/es/skripta/e2.pdf>, 26.6. 2008
- [16] <http://lpt.hw.cz/>, 29.6. 2008
- [17] [http://logix4u.net/Legacy\\_Ports/Parallel\\_Port/Inpout32.dll\\_for\\_Windows\\_98/2000/NT/XP.html](http://logix4u.net/Legacy_Ports/Parallel_Port/Inpout32.dll_for_Windows_98/2000/NT/XP.html), 2.6. 2008
- [18] <http://www.codeproject.com/KB/system/PaPiC.aspx>, 2.6. 2008
- [19] <http://www.codeproject.com/KB/vb/PortAccess.aspx>, 2.6. 2008
- [20] <http://www.ges.cz/sheets/k/kmz10a.pdf>
- [21] [http://www.nxp.com/acrobat\\_download/various/SC17\\_GENERAL\\_MAG\\_2.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/various/SC17_GENERAL_MAG_2.pdf), 3.8. 2008

## 8 Přílohy

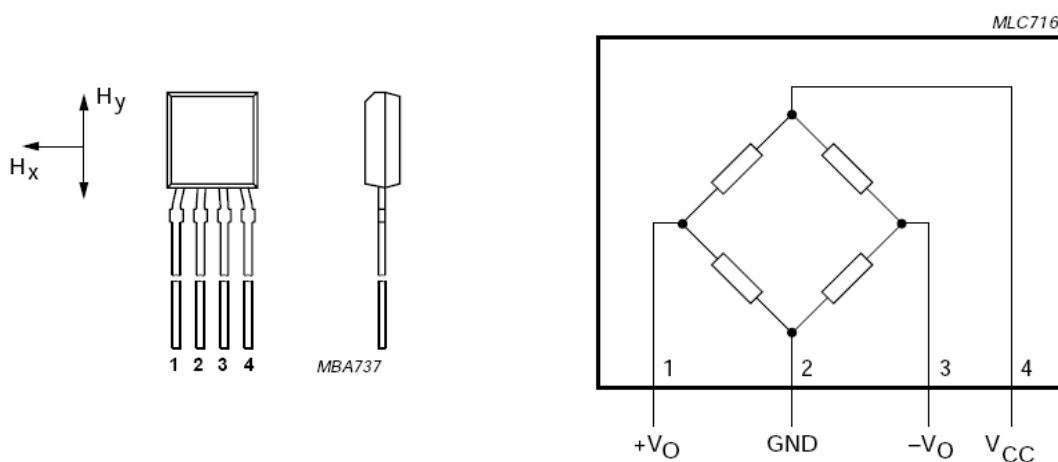
V přílohách jsou uvedeny některé informace, které nebylo vhodné, vzhledem k přehlednosti textu, uvést v jednotlivých kapitolách.

### 8.1 Typové listy některých použitých součástek

Pro konstrukci měřicí jednotky byly použity běžně dostupné součástky. Provozní hodnoty elektronických prvků byly zjištěny z typových listů výrobce. Na následujících stránkách je uvedeno několik částí typových listů některých elektronických prvků použitých při konstrukci měřicí jednotky.

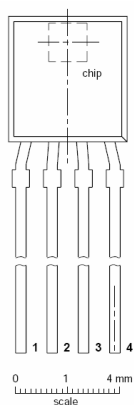
#### 8.1.1 Hallova sonda KMZ10A

Pro konstrukci magnetického detektoru bylo použito Hallovy sondy KMZ10A. K jejímu napájení bylo použito stabilizátoru 78L05, který byl umístěn přímo na desce tištěných spojů spolu s detektorem magnetického pole. Napájecí napětí se přivádí na vývod označený jako  $V_{cc}$ . Opačný potenciál je označen jako  $GND$ . K odběru Hallova napětí dochází na svorkách  $+V_o$  a  $-V_o$ . Výstupní signál byl dále zesilován pomocí zapojení přístrojového zesilovače kap. 4.2.1. Senzor KMZ10A je vhodný i k měření slabých magnetických polí. V případě okolních rušivých magnetických polí je nutné zavést pomocné magnetické pole  $H_x$ . Pro citlivost senzoru platí, čím větší je intenzita magnetického pole  $H_x$  určeného pro eliminaci okolních rušivých magnetických vlivů, tím menší je citlivost pro měřené příčné magnetické pole  $H_y$ .



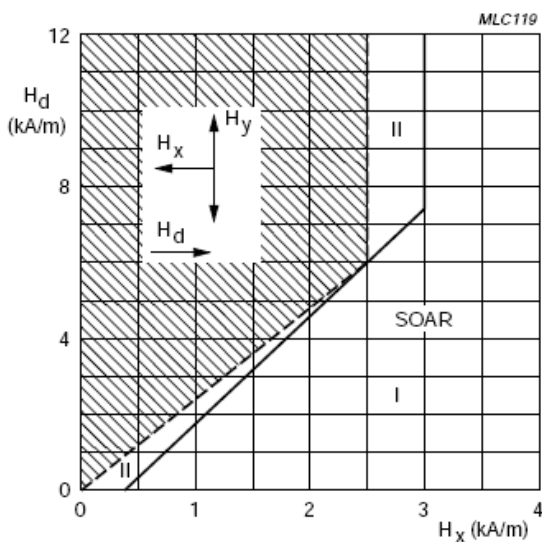
Obr. 8.1 Hallova sonda KMZ10A, převzato z [20]

Obr. 8.1 znázorňuje směr zavádění pomocného magnetického pole  $H_x$  a směr příčného magnetického pole  $H_y$ . Dále je zde zobrazeno zapojení vývodů senzoru.



Obr. 8.2 Umístění polovodičového čipu Hallovy sondy KMZ10A, převzato z [20]

Obr. 8.2 poukazuje na umístění měřícího polovodičového čipu, zabudovaného v plastovém pouzdře senzoru KMZ10A.



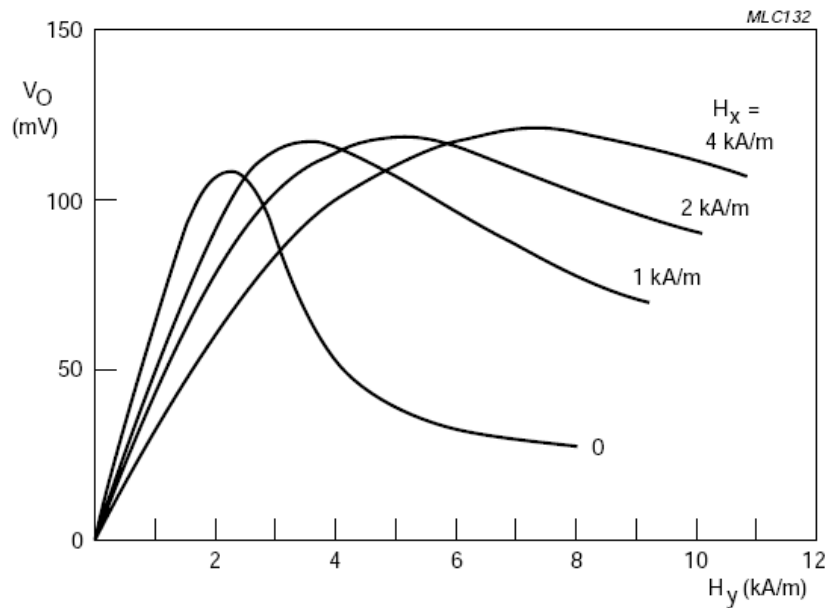
In applications with  $H_x < 3$  kA/m, the sensor has to be reset, after leaving the SOAR, by an auxiliary field of  $H_x = 3$  kA/m.

I = Region of permissible operation.

II = Permissible extension if  $H_y < 0.15$  A/m.

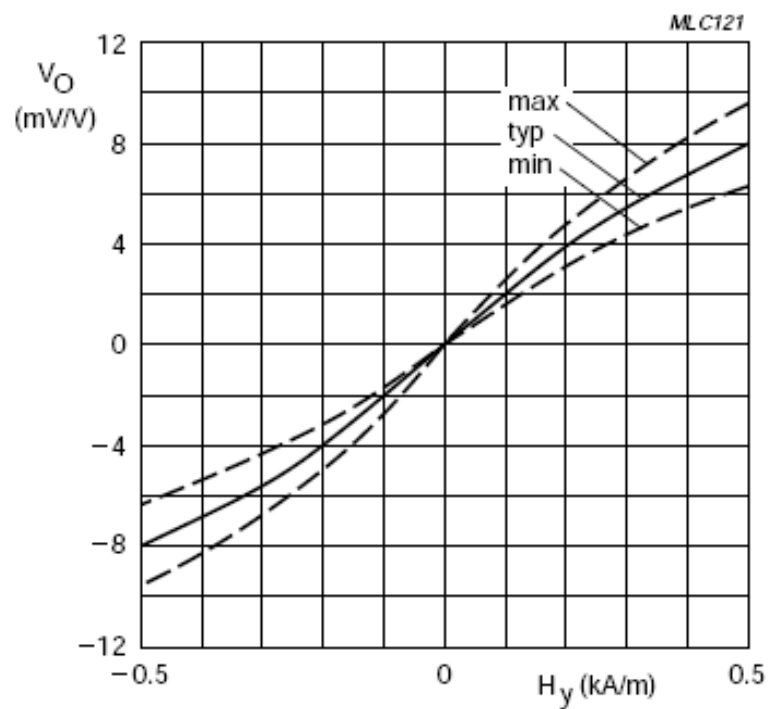
Obr. 8.3 Parametry Hallovy sondy KMZ10A, převzato z [20]

Oblast, která je určena plochou označenou jako SOAR (Safe Operating Area), je vhodná pro měřicí aplikace. Z obr. 8.3 je viditelné rozšíření oblasti vhodné pro detekční účely pomocí zavedení přídatného magnetického pole, určeného k rušení okolních vlivů [21].



Obr. 8.4 Vliv pomocného magnetického pole  $H_x$ , převzato z [21]

Na obr. 8.4 je znázorněna změna citlivosti senzoru KMZ10A pro několik hodnot pomocného magnetického pole  $H_x$ .



$H_x = 0.5 \text{ kA/m}$ ;  $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{\text{offset}} = 0$ .

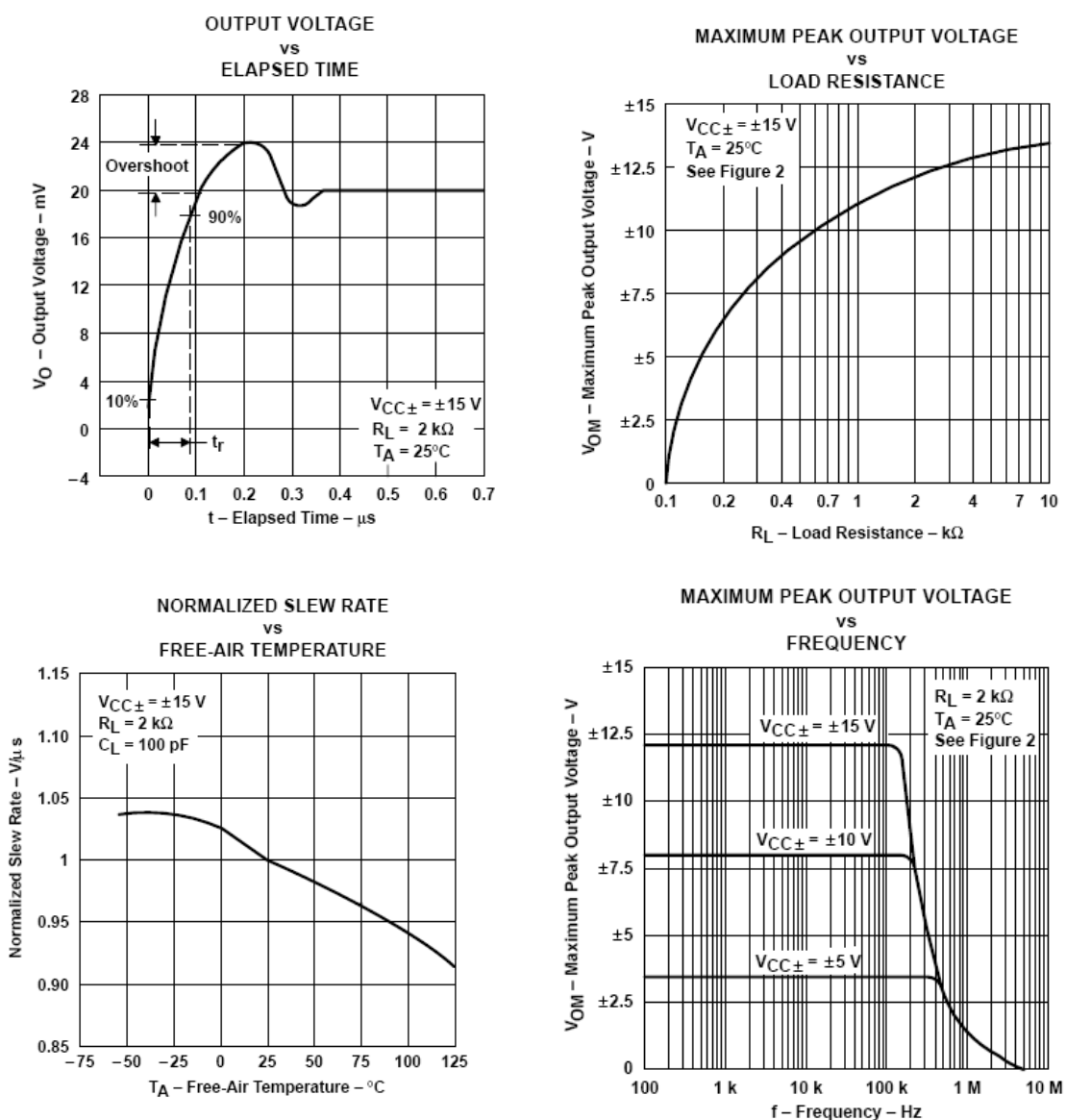
Obr. 8.5 Napěťový zisk Hallovy sondy KMZ10A, převzato z [20]

Obr 8.5 ukazuje napěťový zisk při detekci příčného magnetického pole  $H_y$  a po zavedení pomocného magnetického pole  $H_x = 0,5 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ .

## 8.1.2 Operační zesilovač TL071CP

Operační zesilovač TL071CP byl použit při konstrukci přístrojového zesilovače detektorů magnetického pole, který zesiluje detekovaný signál sondou KMZ10A. Na obr. 8.6 jsou znázorněny charakteristiky OZ TL071CP

- výstupní napětí v závislosti na čase určující dobu ustálení parametrů po změně vstupního signálu
- maximální výstupní napětí při změně zátěže na výstupu OZ
- rychlost přeběhu v závislosti na teplotě
- maximální špičkové napětí v závislosti na frekvenci.

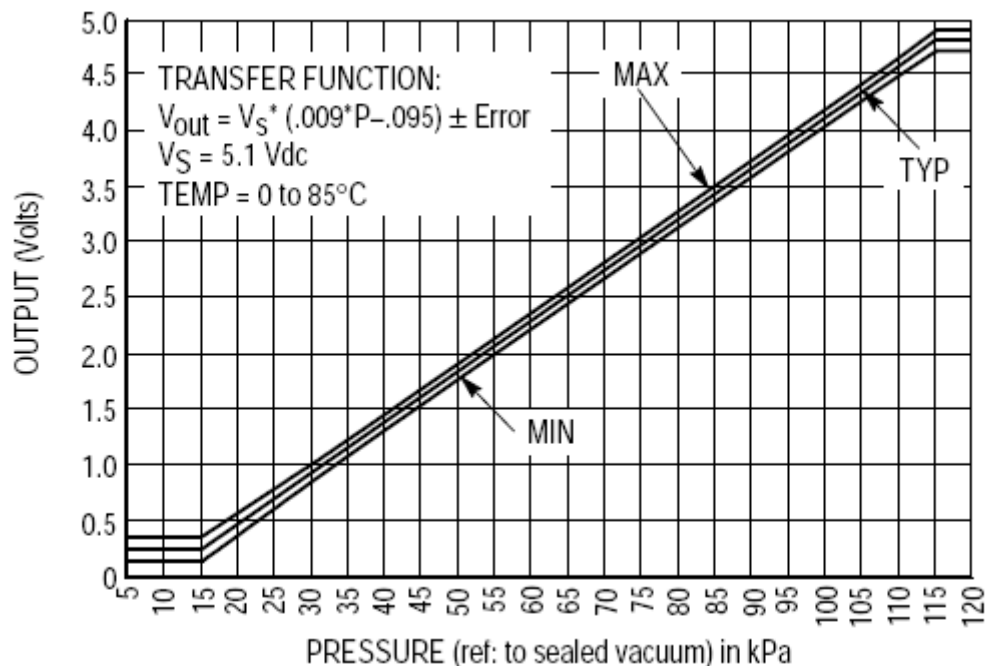


Obr. 8.6 Parametry OZ TL071, převzato z [14]



### 8.1.3 Senzor MPX4112A

Při stanovení rozpětí hodnot, ve kterém bude tlakový tlakový senzor možné provozovat, byla použita tabulka z typového listu [12]. Z grafu je zřetelná lineární oblast, která je vhodná pro uskutečnění měření. Jde o oblast od 15 kPa do 115 kPa.



Obr. 8.7 Parametry senzoru MPX4112A, převzato z [12]

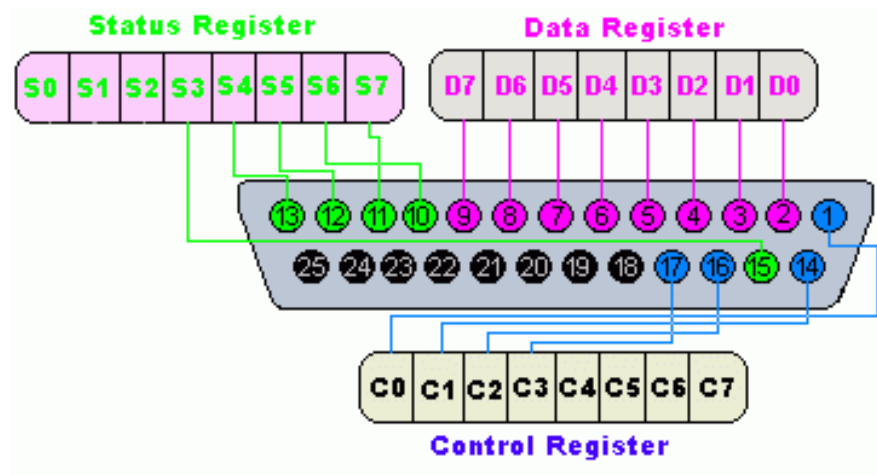
Na ose x grafu parametrů senzoru MPX4112A obr. 8.7, je uveden tlak v kPa a na ose y vyneseno odpovídající napětí ve voltech. Tlakový snímací prvek je v provedení pro teploty od 0 °C do 85 °C.

## 8.2 Vyobrazení a popis použitých konektorů

Zásuvka LPT osobního počítače byla použita jako komunikační přechod mezi měřicí jednotkou a PC. Informace o zapojení a funkci jednotlivých pinů zásuvky LPT byly získány z [16]. K napsání programového vybavení, které je schopno pomocí rozhraní LPT komunikace s měřicí jednotkou bylo použito [17, 18, 19].

Pin číslo (D-Sub)	Pin číslo (Centronics)	Signál	Směr In/out	Registr	Hardverově invertovaný
1	1	nStrobe	Out	Control	ano
2	2	Data 0	Out	Data	
3	3	Data 1	Out	Data	
4	4	Data 2	Out	Data	
5	5	Data 3	Out	Data	
6	6	Data 4	Out	Data	
7	7	Data 5	Out	Data	
8	8	Data 6	Out	Data	
9	9	Data 7	Out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	ano
12	12	Paper-Out / Paper-End	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	ano
15	32	nError / nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control	ano
18 - 25	19 - 30	Ground	Gnd		

Tab. 8.1 Zapojení jednotlivých pinů LPT, převzato z [16]



Obr. 8.8 Zapojení zásuvky LPT, převzato z [16]

- Status Register – stavový registr, používaný pro čtení výstupních dat z tiskárny
- Data Register – datový registr, určený pro zápis dat směrem k tiskárně
- Control Register – řídicí registr definuje zařízení, kterému jsou data, přítomná na datovém registru, určena

V tab. 8.1 je popsáno zapojení a funkce jednotlivých pinů osazených v 25 pinové nebo 30 pinové zásuvce LPT.