

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta
Jírovцова 24/1347
370 04 České Budějovice



Studijní program: N1513 Biofyzika

Studijní obor: Krizová radiobiologie a toxikologie

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Naděžda VRBOVÁ

Diplomová práce
Neradiační účinky nukleárních útoků

Bc. Miroslav ŠIROKÝ, DiS.

České Budějovice, 28. května 2007

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím 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.

Poděkování

Vřelé díky za pomoc a spolupráci RNDr. Naděždě Vrbové.

Díky za laskavé svolení k použití grafů směrových hustot pravděpodobnosti pro elektrony (obrázek 3.1) od doc. RNDr. Přemysla Záškodného, CSc.

České Budějovice 23. května 2007

Miroslav Široký

Obsah

I	Nukleární útok	3
1	Možnost ohrožení s účastí radioaktivního materiálu	4
1.1	Atomové zbraně	5
1.2	Havárie jaderných zařízení	6
1.3	Teroristický útok	7
2	Exploze	8
2.1	Typ exploze	8
2.2	Efekty exploze jaderné zbraně	9
2.2.1	Mechanické účinky – tlaková vlna	10
2.2.2	Tepelné účinky	12
II	Elektromagnetické pole	15
3	Elektromagnetické vlastnosti látek	16
3.1	Model atomu	16
3.2	Elektrické vlastnosti látek	21
3.2.1	Elektrický náboj – Coulombův zákon	21
3.2.2	Intenzita elektrického pole	22
3.2.3	Rozložení náboje ve vodiči – napětí	22
3.2.4	Elektrická indukce	23
3.2.5	Elektrická vodivost	24
3.2.6	Elektrický proud – Ohmův zákon	24
3.2.7	Účinky elektrického proudu	26
3.3	Magnetické vlastnosti látek	27
3.3.1	Magnetická indukce	28

3.3.2	Intenzita magnetického pole	28
3.3.3	Magnetické vlastnosti materiálu	29
3.3.4	Magnetická hystereze	30
3.3.5	Magnetický indukční tok	33
3.4	Elektromagnetismus	33
3.4.1	Elektromagnetická indukce	33
3.4.2	Šíření elektromagnetické energie	34
3.4.3	Intenzita elektromagnetického vlnění	35
3.5	Maxwellova teorie elektromagnetického pole	36
4	Vznik EMP	37
4.1	Comptonův jev	37
5	Dopad EMP na lidský organismus	42
5.1	Generalizovaná EMP vlna	42
5.2	Působení EMP na organismus	43
6	Dopad EMP na elektrotechnické součástky a zařízení	45
6.1	Dopad EMP na polovodiče	46
6.1.1	Polovodič typu N	49
6.1.2	Polovodič typu P	49
6.1.3	Přechod PN	49
6.2	Dopad EMP na tranzistory	51
6.2.1	Unipolární tranzistor	51
III	Komunikace	54
7	Komunikační teorie	55
7.1	Teorie informace	58
8	Podmínky skupinové komunikace	60
8.1	Dav	60
8.2	Veřejné cítění	66
8.3	Paralelní komunikace	66
9	Příklad komunikace	68

10 Situace M11	71
10.1 Popis	71
10.2 Shrnutí	73
 IV Použitá literatura a SW	 76
10.3 Citované klasické zdroje	77
10.4 Elektronické zdroje	78
10.5 Použité klasické zdroje	79
10.6 SW vybavení	80
 V Klíčová slova	 81
 VI Přílohy	 83

ABSTRACT

No-radiation effects of nuclear attacks form a big group of possible negative impact on modern society (in the sphere of sudden life and health hazard, in the sphere of damage to technical equipment and infrastructure, in the sphere of crisis and interpersonal communication). After the cold war had finished, potential attack with radioactive mass destruction weapons seems to be reduced to a minimum. Nevertheless, with regard to increasing risk of ABC terrorist attacks (nuclear, biological and chemical weapons) it is quite essential to be concerned with these issues.

The very intention of this diploma thesis is to set the basic complex of known physical principles, features and descriptions of behaviour of electro-technical materials in various (attack induced) conditions. These features are verified and illustrated by means of laboratory measurements on primary components of modern ICT devices (ferromagnetic material and bipolar transistor). Also the effects of electromagnetic radiation EMP on human organism are resumed on verifiable and demonstrable mathematical calculations.

This diploma work can be used as a summary of findings on generation and influence of no-radiation effects of nuclear attacks (especially in the sphere of electromagnetic fields and their interaction with surroundings). Practical verification of usability of visualization model of interpersonal parallel communication within a small group of 27 people proves the fact that created communication models generally correspond with reality and they can contribute to better understanding of a new communication stream (with massive use of information and communication technologies).

In thesis there are verified three hypotheses:

1. Integrated emergency system (except for army equipment) utterly rely on modern communication means which in case of nuclear attack could totally destroy (inactivate) the possibility of crisis operations.
2. Modern electronic devices are far more inclinable to EMP failure than devices that had been counted on in original plans of civic defence.
3. Communication after attack without ICT damage is conveyed not only vertically (mass-media and government declaration) but also horizontally (ICT technologies as communication means among people).

On the grounds of theory, measuring results and compiled models it is possible to regard all these three hypotheses as positive and verified.

Úvod

V současné době nejsou všeobecně dostupné informace a vyhodnocení účinků a důsledků útoků se spoluúčastí radiačního materiálu. Ačkoli je, speciálně na internetu, velké množství jednotlivých informací, není souhrnně popsán dopad na možnosti moderních komunikačních cest po efektu elektromagnetického pulsu (EMP) a zamoření životního prostředí. Primární ověřovanou hypotézou této diplomové práce jsou tedy v podstatě vlastnosti elektrotechnických součástek ICT v závislosti na okolních podmínkách a využití komunikačních nástrojů při mimořádné události.

Vlastním cílem diplomové práce je sestavení základního souhrnu známých fyzikálních principů, vlastností a popisů chování elektrotechnických materiálů při různých (útokem vyvolaných) podmínkách okolí. Tyto vlastnosti jsou ověřeny a demonstrovány pomocí laboratorních měření na základních součástkách moderních ICT zařízení (feromagnetický materiál a bipolární tranzistor). Na ověřitelných a prokazatelných matematických výpočtech jsou shrnuty také účinky elektromagnetického záření EMP na lidský organismus.

Při všech mimořádných situacích je nezbytné zachování provozu komunikačních a informačních systémů jako podpůrné části řízení vzniklé krizové situace. [34] Pro tuto podporu vznikl i nový termín a to kritická infrastruktura informačních systémů (usnesení Bezpečnostní rady státu 59/2003). Typový plán k řešení krizových situací v oblasti telekomunikačních a informačních systémů uvádí jako jeden z možných zdrojů ohrožení i radiační havárii.

Jako dopad působení dané situace může dojít k narušení kontinuity provozu informačních a komunikačních technologií kritické infrastruktury státu a v důsledku toho k přerušení (narušení) poskytování telekomunikačních a informačních služeb, které může mít vliv na:

- narušení (znemožnění) koordinovaného postupu mezi orgány krizového řízení, orgány veřejné správy a samosprávy a mezi složkami integrovaného záchranného systému
- ochromení nebo omezení činnosti orgánů státu a organizací pověřených výkonem veřejné správy
- ztráta informační podpory v krizové situaci

- narušení řídicích a monitorovacích systémů orgánů krizového řízení závislých na přístupu k datovým zdrojům a přenosu informací
- ochromení nebo omezení činnosti subjektů kritické infrastruktury státu
- četnost a nepřetržitost poskytování informační podpory pro veřejnost

Z výše zmíněných technicko-společenských dopadů na fungování společnosti je obsah této práce zaměřen na možnosti vzniku a dopady poškození informačních a komunikačních technologií radiální událostí a přidruženými jevy, které ji mohou doprovázet.

Dalším úkolem práce je vytvoření komunikačních modelů paralelní komunikace a výzkum specifické komunikace malé společenské skupiny. Tento úkol ověřuje hypotézu dokazující možnost využití elektronických komunikačních cest pro paralelní komunikaci při mimořádné události. Na malé společenské skupině 28 lidí diplomová práce ověřuje navržené komunikační modely tzv. malého světa a jejich společenský dopad. Vytvořené modely by měly korespondovat s reálnou situací a tím dokázat svou platnost i v podstatně větším měřítku (například národním).

Část I

Nukleární útok

Kapitola 1

Možnost ohrožení s účastí radioaktivního materiálu

Ověřovaná hypotéza:

Složky integrovaného záchranného systému (mimo armádní vybavení) naprosto spoléhají na moderní komunikační technologie, což v případě nukleárního útoku může zcela vyřadit možnost krizového řízení.

Složky IZS jsou ve spojení pomocí analogových či nově instalovaných digitálních linek a pomocí tzv. GSM krizových telefonů.

Mobilní telefony GSM (Global System for Mobile Communications) jsou poskytované IZS na základě výběru v roce 2001, kdy Ministerstvo vnitra ČR přijalo jako nejvýhodnější nabídku společnosti Eurotel (dnes Telefónica O2 Czech Republic, a.s.) na dodání 19 000 mobilních telefonů pro koordinaci složek IZS. Úloha GSM systému při zajištění komunikace tkví v tom, že mobilní telefony jsou určeny pouze pro koordinaci jednotlivých složek krizového řízení, a ne pro operativní řízení. V žádném případě nenahrazují speciální komunikační systémy, jakými jsou například profesionální vysílačky a podobně. [26]

Přesto, že samotný poskytovatel služeb pro IZS uvádí omezení pro použití GSM technologií, stává se mobilní telefon prioritním komunikačním nástrojem. Možnosti komunikace operativního řízení, které by mělo být na chráněných a optických vedeních, tak většinou a priori navazuje na běžnou mobilní síť. Při mimořádných a krizových situacích lze však očekávat naprosté přetížení a velmi pravděpodobně i technický kolaps sítě.

Možnost ohrožení lidského zdraví a hospodářských hodnot od napadení s účastí radioaktivního materiálu, při kterých je v České republice počítáno s účastí IZS, lze rozdělit do několika základních skupin:

- Atomové zbraně
- Havárie jaderných zařízení
- Teroristický útok

Rozdělení je možné také charakterizovat do dvou základních skupin: použití zařízení na šíření radioaktivity – Radioactive dispersion device (RDD) a sabotáže na nukleárních zařízení či detonace zařízení s účastí radioaktivního materiálu – Improvised nuclear device (IND)[7].

1.1 Atomové zbraně

Jaderná zbraň (resp. atomová zbraň) je zbraň hromadného ničení, založená na principu neřízené řetězové reakce jader těžkých prvků. Mezi jaderné zbraně se někdy řadí i zbraně založené za slučování jader lehkých prvků (termojaderná zbraň), případně i zbraně, kde štěpný materiál slouží jen jako zdroj radioaktivního zamoření cílové oblasti (tzv. špinavá bomba).

V souladu s Chartou organizace spojených národů musí se státy ve svých mezinárodních stycích zdržet hrozby silou nebo použití síly proti územní celistvosti nebo politické nezávislosti kteréhokoli státu nebo jakéhokoli jiného způsobu neslučitelného s cíli Organizace spojených národů a že dosažení a udržení mezinárodního míru a bezpečnosti má být zajištěno s nejmenším vynaložením světových lidských a ekonomických zdrojů na zbrojení.

Sbírka zákonů České republiky zákon č.18/1997 Sb., O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů ve znění zákona č. 13/2002 Sb. (Atomový zákon) odkazuje na Smlouvu o nešíření jaderných zbraní podepsanou ČSSR dne 1. července 1968 (Nuclear Non-Proliferation Treaty, NPT). Tato mezinárodní úmluva platná od 5. března 1970 popisuje stav a možnost využití jaderné energie pro válečné i mírové účely.

Po skončení studené války je použití atomových zbraní ve světě ze strany nukleárních velmocí velmi nepravděpodobný. Nukleární velmoc je podle NPT stát, který vyrobil a provedl výbuch jaderné zbraně nebo jiného jaderného výbušného zařízení před 1. lednem 1967.

Mezi jaderné velmoci patří Spojené státy americké (1945), Ruská federace (SSSR 1949), Spojené království Velké Británie a Severního Irska (1952), Francouzská republika (1960) a Čínská lidová republika (1964).

Vlastníkem atomového arzenálu jsou však také státy u nichž je již dlouhodobě politická nestabilita. Tyto dva státy, které nebyly signatáři NPT, po jejím uzavření uskutečnily jaderné testy Indická republika (1974) a Islámská republika Pákistán (1998). V roce 2003 od smlouvy

NPT odstoupila Korejská lidově demokratická republika, která již také velmi pravděpodobně uskutečnila test atomové zbraně (2006).

Jadernou zbraň v minulosti vyvinula také Jihoafrická republika, ale vlastnictví jaderných zbraní se vzdala a veškeré zásoby zničila. Z výroby jaderných zbraní je západními státy obviňován také Írán. Z vlastnictví jaderných zbraní je silně podezříván Izrael, který se k tomu však nikdy oficiálně nevyjádřil. FAS (The Federation of American Scientists) na svých web stránkách udává odhadovaný počet na 200 až 300 nukleárních hlavic. Některé zdroje [22] uvádí také další státy, které vlastní jaderné technologie, např. Brazilská federativní republika a Argentinská republika (ratifikace NPT v roce 1995).

Vzhledem k dlouhodobě napjaté situaci na Blízkém Východě, vztahu Indie – Pákistán, vztahu Jižní a Severní Korea a mohutného nástupu muslimských fundamentalistů (Írán) je ovšem i dnešní politická situace ohledně jaderného programu přinejmenším napjatá.

Česká republika jako součást struktur NATO je podle čelních představitelů v armádním vybavení dle principu ALARA ("As Low As Reasonably Achievable") na odpovídající úrovni světové situace v hrozbě jaderného napadení. Civilní ochrana a všeobecné povědomí obyvatelstva o jaderném nebezpečí ovšem za poslední desetiletí dosti zaostala. Připravenost i prostá existence pohotovostních krytů pro civilní obyvatelstvo značně zaostává i za ostatními státy NATO. Je-li např. v Norském školním zařízení střední velikosti pohotovostní kryt (včetně ventilace a dekontaminačních sprch) v režimu "možné použití" je ve srovnatelném zařízení v ČR "teoreticky použitelný sklep".

1.2 Havárie jaderných zařízení

Zákon číslo 18/1997 Sb. (Jaderný zákon) definuje radiační havárii jako radiační nehodu, jejíž následky vyžadují naléhavá opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí. Za radiační nehodu je považována událost, která má za následek nepřípustné uvolnění radioaktivních látek nebo ionizujícího záření nebo nepřípustné ozáření fyzických osob. Za radiační mimořádnou situaci situace, která následuje po radiační havárii nebo po takové radiační nehodě nebo po takovém zjištění zvýšené úrovně radioaktivity nebo ozáření, které vyžadují naléhavá opatření na ochranu fyzických osob.

Za jaderné zařízení je považováno:

1. stavby a provozní celky, jejichž součástí je jaderný reaktor využívající štěpnou řetězovou reakci

2. zařízení pro výrobu, zpracování, skladování a ukládání jaderných materiálů, kromě úpraven uranové rudy a skladů uranového koncentrátu
3. úložiště radioaktivních odpadů, s výjimkou úložišť obsahujících výlučně přírodní radionuklidy
4. zařízení pro skladování radioaktivních odpadů, jejichž aktivita přesahuje hodnoty stanovené prováděcím právním předpisem

1.3 Teroristický útok

Za teroristický útok se považuje organizované použití násilí nebo hrozby násilím, obvykle zaměřené proti nezúčastněným osobám, s cílem vyvolat strach, jehož prostřednictvím mají být splněny politické, náboženské nebo ideologické požadavky jak ve vnitrostátním, tak v mezinárodním měřítku.

Ohrožení obyvatelstva teroristickým útokem po skončení studené války masivně vzrostlo. Nebezpečí možnosti terorismu se rozšířilo po celém světě. Ať se již jedná o útok konvenčními zbraněmi nebo o možnost použití ABC zbraní (Atomic weapons, Biological weapons or Chemical weapons). S jednou z hlavních oblastí plánované obrany a havarijních plánů je útok konvenčních zbraní či dopravních prostředků (nákladní auta, letadla) na strategické cíle (atomové elektrárny, chemické továrny, přehrady, ...) umocňující účinek napadení.

Terorismus představuje v současnosti hlavní destabilizující faktor a nejvýznamnější internacionální hrozbu, jehož význam narůstá s jeho zvyšujícími se technologickými možnostmi a nedostatečnou sanací jeho příčin. Česká republika nepředstavuje v současnosti cílovou zemi pro mezinárodní teroristické skupiny, ani není působištěm teroristických organizací. Jako potenciálně nejrizikovější lze v případě České republiky patrně vyhodnotit teroristické aktivity při pořádání summitů nebo jiných mezinárodních akcí velkého významu, doprovázených rozsáhlou medializací. [8]

Kapitola 2

Exploze

Prvním krokem k porozumění účinků nukleárních útoků je základní pochopení toho, jak se jaderné zbraně odlišují od konvenčních vysoce explozivních zbraní.

Exploze může být popsána jako náhlé uvolnění velkého množství energie v omezeném prostoru systému, který je uváděn do stavu s větším stupněm stability. Klasická konvenční exploze (např. trinitrotoluen TNT) získává energii z náhlé silné chemické reakce, která mění molekulové vazby chemické sloučeniny.

Účinek výbušnin (stejně jako jaderných zbraní) se někdy udává právě v přepočtu na účinek TNT. Základní přepočet [29] uvolněné tepelné energie z exploze TNT

$$2 \text{ Molekuly TNT} + \text{teplo} = \text{Reakční produkty} + \text{Energie } 31,3 \cdot 10^{-19} \text{ Joule } (7,5 \cdot 10^{-19} \text{ Cal})$$

Množství uvolněné energie v reakci přímo úměrně odpovídá rozdílu mezi celkovou vazební energií obsaženou v původním méně stabilním systému oproti konečné energii v stabilnějším systému. Tato čistá uvolněná energie je nazývána teplo exploze.

Pro získání přibližné představy o hodnotách získané energie je definována jedna megatuna TNT jako ekvivalent 10^{15} kalorií, což je $4,184 \cdot 10^{15}$ J. Nejsilnější známá jaderná zbraň měla sílu odpovídající 50 až 57 Mt TNT.[33]

2.1 Typ exploze

Relativní efekt výbuchu, tepelné a radiační záření ve velké míře závisí na výšce, ve které zbraň exploduje. Z hlediska elektrotechnických technologií je toto hledisko jedno z nejdůležitějších – vymezuje vznik a dosah elektromagnetického pulsu. Nukleární exploze jsou obecně rozděleny na vysoko atmosférické, vzdušné, pozemní a podzemní (popř. podvodní).

Podzemní nebo podvodní výbuch

Podzemní výbuch je exploze, která má bod detonace pod povrchem země nebo vodní hladiny. Obecným výsledkem podzemního výbuch je vytvoření kráteru stejně jako u pozemního výbuchu. Jestliže je výbuch proveden v dostatečné hloubce je jeho jediným nebezpečím místní zemětřesení či vodní vlna (tsunami). V případě, že je výbuch dostatečně blízko pod povrchem, odpovídá velikost exploze, termálního i radiačního záření hloubce, v jaké byl výbuch proveden (dopady jsou však vždy menší než u nadzemního výbuchu). Oproti tomu se zvyšuje množství radioaktivního materiálu, který se zúčastní místního spadu.

Pozemní výbuch

Pozemní výbuch je exploze, při které je detonace zbraně přímo na zemském povrchu nebo v minimální vzdálenosti od něj (desítky metrů). Tím je dáno, že ohnivá koule je v přímém dotyku země nebo vodní hladiny a její efekt je tak zmenšen oproti vzdušným výbuchům. Místo přímo pod explozí (ground zero) je místem s největší koncentrací destruktivních účinků. Lokální radioaktivní spad zasahuje mnohem větší oblast než tepelná a tlaková vlna.

Vzdušný výbuch

Takticky nejpoužívanější druh jaderné exploze. Vzdušný výbuch je exploze zbraně ve vzdušném prostoru ve výšce cca do 30 km. Vždy však platí, že výška je dostatečná k tomu, aby se ohnivá koule nedotkla povrchu. Vzdálenost výbuchu od povrchu je tak dána velikostí nálože a požadavků na maximalizaci daných účinků (termálních, tlakových, požadovaných radiačních efektů nebo jejich kombinací). Zasažení tepelnou a tlakovou vlnou může být až v okruhu několika čtverečních kilometrů. Poškození očí dokonce v mnohem větší oblasti. Při vzdušném výbuchu se minimalizuje dopad místního radioaktivního spadu (nejsou-li zvláštní povětrnostní podmínky např. déšť).

Vysoko atmosférický výbuch

Vysoko atmosférický výbuch je exploze zbraně ve výšce přes 30 km. Tento stratosférický výbuch generuje měkké rentgenové záření. Ohnivá koule je zde oproti ostatním druhům výbuchu mnohem větší a její expanze je mnohem rychlejší. Ionizující energie z takového výbuchu může urazit stovky kilometrů před tím, než bude absorbována. Tak může dojít k významné ionizaci vyšších vrstev atmosféry (ionosféry) a vzniku elektromagnetického pulsu. Principem vzniku a dopady EMP se budou zabývat následující kapitoly.

2.2 Efekty exploze jaderné zbraně

Zatímco účinek konvenční výbušniny spočívá v přeměně energie výbuchu v tlakovou vlnu působící v následku mechanické poškození předmětů v její dráze, tak energie z jaderné exploze

se přemění na tři základní složky. Jsou to výbuch (pro atmosférický výbuch v nízké výšce je to z cca 50 %), termální záření (cca 35 %) a nukleární radiace. Přesný poměr mezi jednotlivými složkami je určen silou nálože, místem výbuchu a charakteristikou okolí.

2.2.1 Mechanické účinky – tlaková vlna

Tlaková vlna je definována jako krátký rychlý pohyb vzduchu z centra exploze a tlak doprovázející tento pohyb. Po přechodu tlakové vlny od místa výbuchu následuje rychlý pohyb vzduchu opačným směrem, kterým se vyrovnává vzniklý podtlak. Oblast postižená tlakovou vlnou podstatně vzrůstá s explozivní účinností zbraně. Pro typický vzdušný výbuch budou hodnoty přetlaku a větrné smršti prokazatelné na oblasti cca 0,7 km pro účinek odpovídající 1 kilotunu TNT; 3,2 km pro 100 kt TNT a 15,0 km pro 10 Mt TNT [13].

Poškození konstrukčních částí výbuchem [23]

Poškození citlivých konstrukčních částí přetlakem			
Konstrukční část	Přibližný přetlak (vrcholná hodnota) [kPa]	Přibližná oblast poškození [km]	
		1 kt	20 kt
skleněné okno	3,5 - 6,9	6 - 10	20 - 30
vlitý plech	6,9 - 13,8	3 - 6	12 - 22
dřevěná konstrukce	6,9 - 13,8	3 - 6	12 - 22
betonová nebo škvárová zeď cca 30 cm	10,5 - 38,0	1,5 - 4,0	6,5 - 15,0
20 cm cihlová zeď	20,7 - 69,0	1 - 3	4 - 10

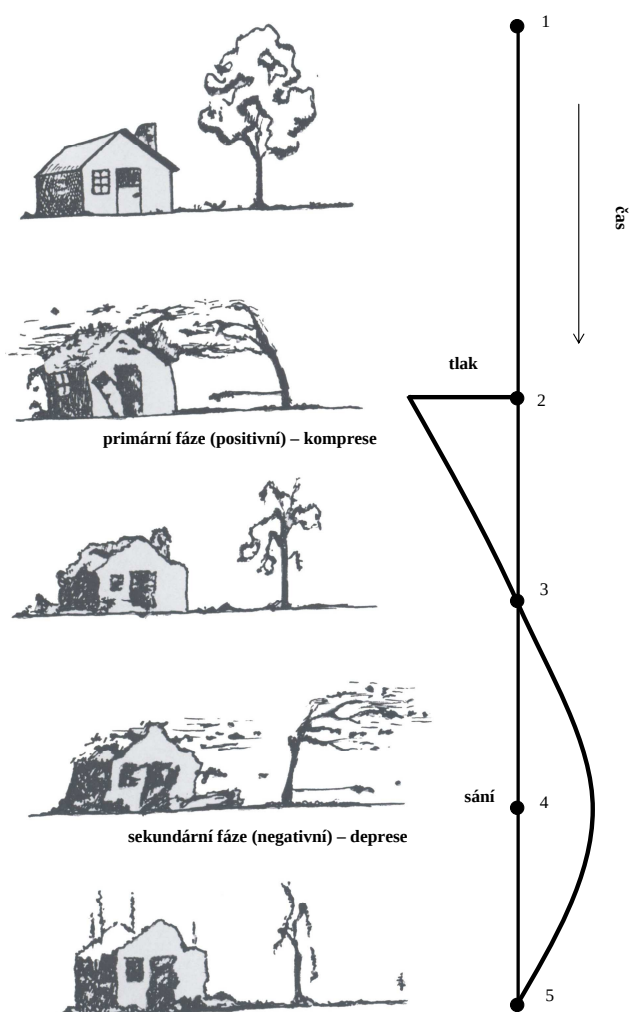
Tato tabulka představuje přibližné hodnoty, které se na základě testů a sofistikovaných odhadů nechají přesně vypočítat. Např. standardní hodnotu The Defense Nuclear Agency (DNA) pro rozdíl přetlaku po výbuchu 1 kilotuny TNT na volném prostranství lze získat ze vztahu [24], kde R je poměr faktoru pro vzdálenost výbuchu a účinku zbraně:

$$\Delta P_{DNA} = \frac{3,04 \cdot 10^{11}}{R^3} + \frac{1,13 \cdot 10^9}{R^2} + \frac{7,9 \cdot 10^6}{R \left(\ln \left[\frac{R}{445,42} \right] + 3 \exp \left[\frac{-1}{3} \sqrt{\frac{R}{445,42}} \right] \right)^{1/2}}$$

Při výbuchu mimo volno prostranství je však nutné započítat do účinků i další faktory. Mezi základní patří i navýšení tlaku v uzavřených prostorách. Narazí-li tlaková vlna na pevný cíl, jako je například budova, bude v jejích z několika stran uzavřených prostorách působit

přetlak dvojnásobný až osminásobný. Nárůst tohoto přidaného přetlaku bude záviset na mnoha faktorech včetně vrcholové hodnoty přetlaku tlakové vlny samotného výbuchu stejně jako na úhlu pod kterým vlna budovu zasáhne.

U účinků na prostředí je také nutné počítat s tím, že se tlaková vlna nešíří pouze od středu ven (primární – pozitivní fáze), ale následně i zpět do středu (sekundární – negativní fáze). Přetlak sekundární fáze je sice hodnotově menší, ale tím, že působí opačným směrem, škody na prostředí podstatně umocní.



Obrázek 2.1: Průběh tlakového efektu v čase

Speciální součástí tlakové vlny je tzv. rázová vlna. Jedná se o zvukový efekt. Exploze doslova vytlačí ohromné množství energie do prostoru okolo a stlačí gigantickou masu vzduchu. Ten se jako zvětšující koule rozpíná všemi směry, čímž je dodávána energie pro mohutné zvukové efekty.

Mezi tlakové účinky se započítává také vytvoření kráteru. Mechanismus vytvoření kráteru závisí na výšce (popř. hloubce) výbuchu. Při vzdušném výbuchu je oblast kráteru téměř kruhová mělká oblast (nepravidelnost tvaru na okraji závisí na druhu povrchu). Pro pozemním či podzemním výbuchu je tvar kráteru parabolický až hyperbolický pro hloubkové výbuchu může být tvarem až hyperboloid [1]. Množství vyvrženého materiálu po výbuchu (účastní se radioaktivního spadu) odpovídá vztahu [24] $V \approx \frac{1}{2}\pi R^2 D$, kde R je poloměr kráteru a D jeho hloubka.

Ohrožení obyvatelstva či materiální škody může způsobit také podvodní výbuch. Kromě ohromného množství kontaminované vody a poškození fauny i flory tlakovou vlnou šířící se pod vodou, dochází také k vytvoření ničivých vln tsunami. Např. [29] při pokusech Bikini Bakers (25. 7. 1946) 20 kt bombou odpálenou 27 m pod vodou byla vytvořena vlna 29 metrů vysoká ve vzdálenosti 300 m po 11 sekundách a až 4 m vysoká ještě ve vzdálenosti 2500 m po 101 s. Navíc se voda v oblasti výbuchu okamžitě započne vypařovat a nad hladinou vytvoří charakteristický tvar výšky až desítek kilometrů.

Výpočty a další vztahy popisující tlakové účinky naprosto přesahují možnosti této práce. Jedná se například i o dokumentaci, která byla po konci studené války zveřejněna a dnes je volně dostupná také na internetu. O dané problematice je možné sehnat mnoho informací, ať se již jedná o výpočtové modely, pomůcky (viz příloha – ukázka výpočtového kotouče), nebo přímo o simulace dopadu použití zbraní hromadného ničení (viz příloha – mapa SSSR s účinky). Na základě až příliš mnoha pokusů a počítačových simulací je dnes k dispozici sofistikovaný odhad k určení tvaru a velikosti účinků výbuchu na povrch. Tyto modely počítají např. i z různou strukturou povrchu, geologickými zlomy, stejně jako s účinky případných zemětřesení.

2.2.2 Tepelné účinky

Ohnivá koule jaderného výbuchu dosáhne termodynamické teploty černého tělesa větší než 10^7 K. [13] Je uvolněno ohromné množství elektromagnetického záření a to ve viditelné, infračervené i ultrafialové části elektromagnetického spektra. To je vyzářeno z povrchu ohnivé koule během prvních okamžiků po výbuchu.

U tepelných účinků samozřejmě závisí také na druhu výbuchu a na jeho umístění vůči

povrchu země či vodní hladiny. Tepelné záření se u nadzemních výbuchů pohybuje rychlostí světla ($c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$) od epicentra výbuchu.

Hlavní nebezpečí z tepelného a světelného záření je poškození očí u osob vystavených záření. Masivní záblesk světla (zejména ve tmě) způsobí tzv. flash efekt neboli přechodné oslepnutí. U postižených dojde k vypálení části pigmentu zorničky oka, zasažený vidí jen oslnivou skvrnu a dokud se pigment znovu nezregeneruje, slepota přetrvává. Podle síly expozice se jedná o dobu několika sekund až několik hodin, ale v extrémním případě i dnů (cca týden). Jinak jsou tepelná zranění v důsledku tepelného záření mimo samotnou oblast výbuchu minimální, zvláště je-li povrch těla chráněn alespoň nějakým oděvem.

Absorpce tepelného záření může však také způsobit vznícení hořlavých materiálů, což může mít za následek rychlé šíření požárů trosek po výbuchu. Oblast tepelných účinků rapidně narůstá se silou zbraně. Zápalné efekty jsou v závislosti i na tzv. druhotných požárech. Ty začínají po efektu tlakové vlny na zdemolovaných troskách. Např. v Hirošimě se rozvinula hrozivá ohnivá bouře do 20 minut po výbuchu. Ohnivá bouře spaluje trosky s mohutnou zuřivostí a je charakterizována vichrem, který vane všemi směry od epicentra požáru. [13]

Jestliže tepelné záření zasáhne objekt, tak jedna jeho část bude odražena, část předána tepelnou vodivostí dalším objektům a zbytek bude absorbován. Poměry mezi absorpcí, odražením a předáním jsou dány druhem a barvou materiálu.

Tepelné účinky mají také přímý vliv na elektrotechnické zařízení. Nedojde-li přímo ke zničení, může okolní teplota ovlivnit vlastnosti použitých materiálů a to především jejich konduktivity (vodivosti). U kovů se počet volných nosičů náboje (elektronů) s teplotou prakticky nemění. Roste však rychlost chaotického tepelného pohybu částic látky a tím roste pravděpodobnost srážek s nosiči náboje. Výsledkem je, že konduktivita s rostoucí teplotou klesá, rezistivita roste.

U materiálů u kterých s teplotou roste počet volných nosičů náboje se konduktivita s teplotou zvětšuje. K takovým materiálům patří polovodiče a elektrolyty.

V praxi je možné teplotní závislost odporu součástky vyjádřit vztahem [14]:

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0}[1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0) + \beta(\vartheta - \vartheta_0)^2 + \dots]$$

kde R_{ϑ} je odpor při teplotě ϑ , R_{ϑ_0} je odpor při vztažné teplotě ϑ_0 a α , β jsou teplotní konstanty. Další členy rozvoje je možné vzhledem k jejich velikosti zanedbat.

Pro kovy se daný vztah často redukuje pouze na první člen řady. Výsledkem po redukcii pak vyhovuje v rozmezí teplot (0 – 120) °C. Teplotní závislost, pro kovy v rozmezí teplot při kterých nedojde ke zničení, je:

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0}(1 + \alpha\Delta\vartheta)$$

Teplotní konstanta α je tzv. teplotní součinitel odporu a pro vztaznou teplotu $\vartheta_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ jej uvádí tabulka:

Látka	$\alpha\text{ [1/}^{\circ}\text{C]}$
Měď	0,00430
Hliník	0,00440
Železo	0,00500
Stříbro	0,00410
Wolfram	0,00450
Uhlíkové vlákno	-0,00050
Manganium	0,00002

Například u mědi se při vzrůstu teploty o $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ zvětší odpor až o 10 %. Vezmeme-li v úvahu citlivost moderních elektrotechnických zařízení, speciálně problematiku nastavování a stabilizace pracovního bodu tranzistoru v oblasti vyšších teplot, je tato změna konduktivity dostatečná k tomu, aby byla ukončena funkčnost ICT.

Zajímavou oblastí dopadu teplotních vlivů je také problematika supravodivých materiálů. V dnešní době je již jejich použití u pasivních součástek mikrovlnných rezonátorů, antén či napáječů. Specifickou oblastí použití supravodivých materiálů je stínění elektromagnetického pole – vrstva oxidických supravodičů již o síle několika μm dokonale odstíní citlivá zařízení. Avšak supravodiče udržované na teplotě o něco málo nižší než je kritická teplota reagují na teplo vyvolané elektromagnetickým zářením a značně mění svůj odpor. [4] (Tohoto principu se např. využívá i pro detekci částic, které mají energii větší, než je šířka zakázaného pásu.)

Část II

Elektromagnetické pole

Kapitola 3

Elektromagnetické vlastnosti látek

Pro pochopení vzniku EMP a vlivu elektromagnetického pole na elektrotechnické součástky ve stručnosti nejdříve definujeme základní pojmy dané oblasti a alespoň některé základní pojmy kvantové fyziky a fyziky elektronového obalu atomu.

Elektrické, magnetické a elektromagnetické pole, jejich vlastnosti a vzájemné vztahy jsou ohromnou kapitolou současné fyziky a základem téměř všech moderních technologií. Na objeveních základních principů se podíleli velikáni fyziky: Benjamin Franklin (1706 – 1790), Luigi Galvani (1737 – 1798), Alessandro Volta (1745 – 1827), André Maria Ampér (1775 – 1836), Hans Christian Oersted (1777 – 1851), Georg Simon Ohm (1787 – 1854), Michael Faraday (1791 – 1867), Joseph Henry (1797 – 1878), Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887), James Clerk Maxwell (1831 – 1879), Oliver Heaviside (1850 – 1925), Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928), Nikola Tesla (1856 – 1943) a dlouhá řada dalších.

3.1 Model atomu

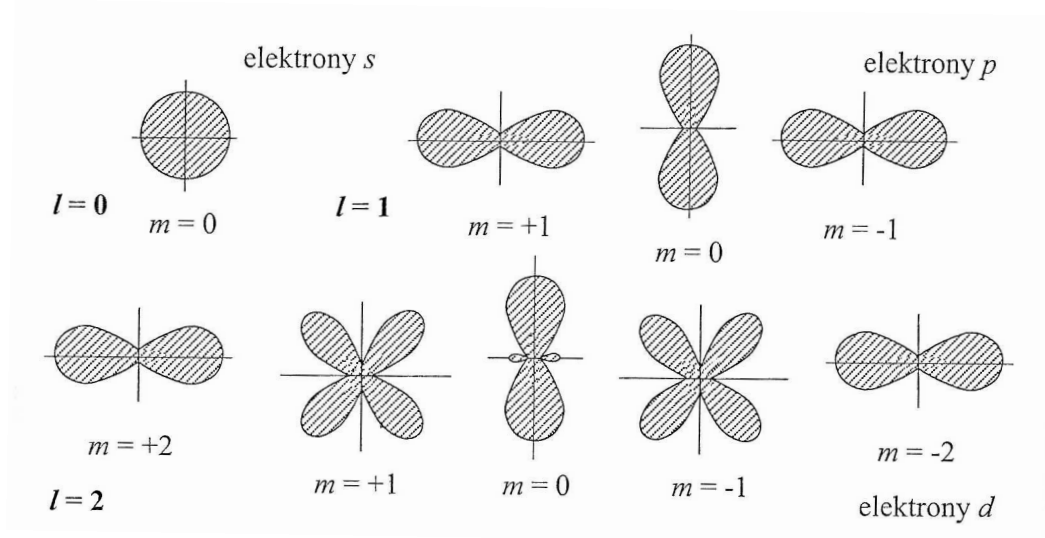
Již od nepaměti se lidstvo snažilo pochopit mikroskopickou podstatu hmoty. Za nedělitelnou a nejmenší součást látek byl považován atom. Postupným vývojem bylo objeveno, že samotný atom má komplexní strukturu – jádro (obsahující protony a neutrony) a obal (obsahující elektrony).

Objev struktury atomu prodělává bouřlivý rozvoj již od 19. století. Již v roce 1897 J. J. Thomson sestavil první model s hypotézou o existenci elektronů (částic se záporným elektrickým nábojem). Atom byl představován jako kladně nabitá koule, v níž jsou rozptýleny záporně nabitě elektrony. R. A. Millikan v r. 1910 experimentálně dokázal, že elektrický náboj je kvantován po elementárních nábojích ($q_e = -1,602 \cdot 10^{-19}\text{C}$).

Na základě těchto poznatků sestavil v roce 1911 Lord E. Rutherford nový model atomu – hmotné jádro s kladným nábojem, které je obklopeno planetární soustavou drah záporných elektronů. Velikost jádra atomu je (10^{-14} až 10^{-15})m (10^{-15} m = 10 fm $\doteq$ 1 f tj. 1 fermi). Na rozdíl od planet, které jsou na dráze kolem Slunce drženy gravitační silou (Newtonův gravitační zákon), jsou elektrony se záporným elektrickým nábojem přitahovány k jádru s kladným elektrickým nábojem přitažlivou silou (viz níže Coulombův zákon). Z výsledků klasické elektrodynamiky však vyplývá, že částice s elektrickým nábojem, které se pohybují se zrychlením (tj. nepřibližují se jádru, kde by zanikly), by měly vyzařovat energii ve formě elektromagnetického záření.

Tento hlavní nedostatek byl odstraněn (1913) tzv. Bohrovým modelem (kvantový model atomu). Dalším krokem v popisu mikrosvěta byl kvantově mechanický model atomu. Ten vyřešil řadu nedostatků Bohrova modelu (např. štěpení spektrálních čar). Tento model již uvažuje, že elektron má jak mechanické tak i vlnové vlastnosti (korpuskulárně vlnový dualismus). Kvantovým stavům elektronu lze přiřadit stojaté elektronové vlny v trojrozměrném prostoru. Každé z tzv. kvantových čísel n , l , m charakterizuje trojrozměrnou vlnu. Není možné určit přesný popis dráhy elektronu v atomu, proto se musíme omezit na pravděpodobnostní popis dráhy.

Oblast, ve které je nejvyšší pravděpodobnost výskytu elektronu, je tak zvaný orbital (pravděpodobnostní oblak). Tvar jednotlivých pravděpodobnostních oblaků lze zobrazit jako grafy směrových hustot pravděpodobností. [17] Například grafy směrových hustot pravděpodobností pro elektrony s ($l=0$), elektrony p ($l=1$) a elektrony d ($l=2$):



Obrázek 3.1: Grafy směrových hustot pravděpodobností pro elektrony

Stav částice, popř. systému částic je vyjádřen pomocí veličiny vlnové funkce Ψ , kterou je možné pro zvláštní stavy vypočítat podle Schrödingerovy rovnice ve zjednodušeném případě:

Chování volné částice lze popsat obecně komplexním výrazem [9] pro rovinnou vlnu postupující podél osy x

$$\Psi = \Psi_0 e^{-j(\omega t - kx)} \quad (3.1)$$

Dosazením hodnot $\omega = 2\pi\nu = \frac{E}{\hbar}$ a $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{p}{\hbar}$, je možné do Ψ zavést energii a hybnost

$$\Psi = \Psi_0 e^{-j(Et - px)} \quad (3.2)$$

Derivováním podle času t pro energii E dostaneme

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{j}{\hbar} E \Psi \quad \text{tj.} \quad E = \frac{1}{\Psi} \left(j\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \right) \quad (3.3)$$

Dvojím derivováním podle x získáme pro hybnost

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \left(\frac{jp}{\hbar} \right)^2 \Psi \quad \text{tj.} \quad p^2 = \frac{1}{\Psi} \left(-\hbar^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \right) \quad (3.4)$$

Pro volnou částici v nerelativistické mechanice platí

$$E = \frac{p^2}{2m} \quad (3.5)$$

Po dosazení (3.4) získáme pro vlnovou funkci Ψ , jež popisuje volnou částici, rovnici

$$j\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} \quad (3.6)$$

V obecném případě, kdy na částici působí síly, které lze vyjádřit pomocí potenciální energie $V(x)$, platí pro energii

$$E = \frac{p^2}{2m} + V(x) \quad (3.7)$$

Dosazením (3.3 a 3.4) vyjádření pro E a p^2 , vznikne pro vlnovou funkci (x) rovnice

$$j\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x)\Psi \quad (3.8)$$

Začneme-li rovinnou vlnou postupující v obecném směru a potenciální energie V závisí na všech třech prostorových souřadnicích, je možné rovnici 3.8 zobecnit na tvar

$$j\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(x, y, z)\Psi \quad (3.9)$$

Vlnová funkce (x, y, z, t) je funkcí čtyř proměnných a Δ označuje Laplaceův operátor

$$\Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Rovnice 3.9 tzv. **časově závislá Schrödingerova rovnice** je platná v obecném případě, kdy funkce V závisí na čase t . Je-li řešení omezeno na případ, kdy V na čase explicitně nezávisí, je možné zapsat součin se vztahem souřadnice polohového vektoru $\mathbf{r}$

$$(\mathbf{r}, t) = R(\mathbf{r})T(t) \quad (3.10)$$

Dosazením tohoto součinnového tvaru do rovnice 3.9 po úpravě vznikne

$$j\hbar \frac{1}{T(t)} \frac{dT(t)}{dt} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{R(\mathbf{r})} \Delta R(\mathbf{r}) + V(\mathbf{r}) \quad (3.11)$$

Levá strana této rovnice 3.11 závisí pouze na proměnné t a pravá pouze na souřadnicích polohového vektoru $\mathbf{r}$. To je možné jen a pouze tehdy, když obě strany jsou konstantní a jsou si rovny (tuto konstantu označujeme jako E). Z tohoto předpokladu mohou vzniknout dvě oddělené rovnice

$$j\hbar \frac{dT(t)}{dt} = ET(t) \quad (3.12)$$

a

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta R(\mathbf{r}) + V(\mathbf{r})R(\mathbf{r}) = ER(\mathbf{r}) \quad (3.13)$$

Rovnici 3.12 lze vyřešit separací proměnných

$$T(t) = T_0 e^{-j\frac{E}{\hbar}t} \quad (3.14)$$

Konstantu T_0 je možné včlenit do prostorové části $\Psi(\mathbf{r}) = T_0 R(\mathbf{r})$ a celkové řešení je možné psát ve tvaru

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \Psi(\mathbf{r}) e^{-j\omega t} \quad (3.15)$$

kde $\omega = \frac{E}{\hbar}$. Pro amplitudu vlny $\Psi(\mathbf{r})$ užíváme rovněž symbol Ψ jako pro celou funkci.

Z tvaru rovnice 3.15 plyne, že funkce $\Psi(\mathbf{r}, t)$ je závislá na čase, ačkoli celý výpočet, určený průběhem potenciální energie silového pole $V(\mathbf{r})$, na čase nezávisí. Reálnou a na

čase nezávislou funkci získáme jako druhou mocninu modulu dané funkce $\Psi(\mathbf{r}, t)$ (tj. součin funkce Ψ a její komplexně sdružené funkce Ψ^*).

$$|\Psi(\mathbf{r}, t)|^2 = \Psi(\mathbf{r}, t)\Psi^*(\mathbf{r}, t) = \Psi(\mathbf{r})\Psi^*(\mathbf{r})e^{-j\omega t}e^{j\omega t} = \Psi(\mathbf{r})\Psi^*(\mathbf{r}) = |\Psi(\mathbf{r})|^2 \quad (3.16)$$

Tato funkce tedy konečně vyjadřuje *hustotu pravděpodobnosti výskytu částice v místě $\mathbf{r}$* . Možnost pravděpodobnostní interpretace odpovídá tomu, že vlnová funkce je sice rozložena v prostoru, ale elektron je vždy detekován jako celek.

Energetický stav každého elektronu, který rozhoduje o jeho pohybu a poloze, vyjadřují 4 kvantová čísla:

1. Hlavní kvantové číslo – n

dovolená energetická hladina elektronu (udává energii a velikost orbitalu). Toto kvantové číslo závisí na druhu látky (podle řádku periodické soustavy prvků max. 7 orbitalů, kde poslední orbit obsahuje nejvýše 8 elektronů).

2. Vedlejší kvantové číslo – l

periodický pohyb elektronu. V podstatě určuje velikost orbitálního momentu hybnosti elektronu [17] kolem jádra (udává tvar orbitalu).

3. Magnetické kvantové číslo – m

prostorová orientace orbitalu

4. Spinové kvantové číslo – s

určuje moment hybnosti elektronu ($\pm 1/2$).

Pro elektrony stejně jako pro protony či neutrony platí Pauliho vylučovací princip:

V daném atomu nemohou existovat dva fermiony (elektrony, protony, neutrony) ve stejném kvantovém stavu, tj. se stejnými kvantovými čísly n, l, m, s .

Tento princip neplatí pro některé částice – bosony (např. fotony).

V souladu s vylučovacím principem zaplňují elektrony postupně všechny kvantové hladiny tak, že výsledná hodnota atomu je nejmenší možná. Struktura elektronového obalu atomů, především vnějších valenčních slupek, určuje jejich chemické vlastnosti a vede k vytváření

molekul. Interakce elektronových obalů sousedních atomů je rovněž rozhodující při vytváření struktury kondenzovaných látek.

Nerozlišitelnost elektronů a poločíslná hodnota spinu a z toho vyplývající požadavek antisymetrie vlnové funkce při vzájemné výměně dvou elektronů vede k existenci specificky kvantového působení, které nemá klasické obdoby, k tzv. *výměnným interakcím*. Takové interakce mají vážnou roli nejen ve struktuře atomů a stavbě molekul, ale také v teorii kovů, výkladu feromagnetismu apod.

3.2 Elektrické vlastnosti látek

3.2.1 Elektrický náboj – Coulombův zákon

Elektrický náboj Q je obecně charakteristická vlastnost částice. Je na částici vázán a není možný jeho samostatný výskyt. Elektrický náboj je fyzikální veličina, která vyjadřuje velikost schopnosti působit elektrickou silou. Platí zákon zachování elektrického náboje:

„V elektricky izolované soustavě těles, je celkový elektrický náboj stálý. Elektrický náboj nelze vytvořit ani zničit, lze jej pouze přemístit.“

Jednotkou elektrického náboje je podle soustavy SI odvozená jednotka 1 coulomb. Je to náboj, který se přenese proudem 1 ampéru za 1 sekundu (tzn. 1 coulomb = 1 ampérsekunda). Značkou coulombu je C. Velikost náboje jednoho elektronu (tzv. elementární náboj) je $-1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Vzájemné působení elektricky nabitých těles popisuje tzv. Coulombův zákon:

„Dva bodové náboje na sebe působí silou F , která je přímo úměrná součinu jejich velikostí a nepřímo úměrná mocnině čtverců jejich vzdáleností.“

Tuto závislost lze vyjádřit vztahem

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

V tomto vztahu je vyjádřena i kvalita nevodivého prostředí mezi náboji a to konstantou $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$. Tato tzv. permitivita prostředí je dána násobkem základní hodnoty permitivity prostředí $\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$ pro vakuum a relativní permitivity ϵ_r . (Např. $\epsilon_r = 1,00054$ pro vzduch $\epsilon_r = 3,5$ pro papír $\epsilon_r = 12$ pro křemík a $\epsilon_r = 80$ pro vodu.)

3.2.2 Intenzita elektrického pole

Intenzita elektrického pole E je fyzikální veličina udávající velikost a směr působení síly na elektrický náboj $[N \cdot C^{-1}]$. Pro více nábojů platí silové působení jejich vektorového součtu. V homogenním poli má intenzita ve všech místech stejnou velikost i směr.

Základní jednotkou intenzity elektrického pole je podle soustavy SI odvozená jednotka volt na metr $[V \cdot m^{-1}]$, kde 1 Volt $[V = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$ odpovídá rozdílu potenciálů na takovém vodiči, kterým protéká jeden ampér, přičemž se na vodiči rozptýluje jeden watt tepelného výkonu.

3.2.3 Rozložení náboje ve vodiči – napětí

Volný náboj se vždy nachází jen na povrchu vodiče.

– Michael Faraday 1845 –

Při nabíjení vodičů v nich vzniká pohyb nábojů, což dokazuje, že elektrické pole působí i uvnitř vodivých látek. Tento pohyb nábojů trvá však jen po dobu nabíjení vodiče nebo na počátku indukce, pokud se těleso A blíží k tělesu B a odděluje náboje kladné od záporných. Jakmile se pohyb těles A a B zastaví, nastane ustálený stav, při němž jsou všechny náboje v klidu. Podle Coloumbova zákona, který platí nezávisle na prostředí, vznikne přiblížením tělesa A ve vodiči B elektrické pole, které nutí volné náboje k pohybu ve směru siločar. Záporně nabitě volné elektrony postupují do míst vyššího potenciálu, který se tím snižuje. Potenciální rozdíly v různých místech vodiče se tím zmenšují, potenciální spád klesá, takže pole uvnitř vodiče slábne. Pohyb volných nábojů ustane teprve tehdy, když se potenciální rozdíly zcela vyrovnají a pole ve vodiči zanikne. Pak jsou všechny volné náboje v klidu a jejich rozložení ve vodiči je statické. Z toho plyne, že v rovnovážném statickém stavu je všude uvnitř vodiče stejný potenciál a nulové pole. Uvnitř vodiče je tedy intenzita $\mathbf{E} = 0$.

Uvnitř tělesa (vodiče) je intenzita elektrického pole nulová a elektrický potenciál stejný jako na jeho povrchu. Na povrchu tělesa intenzita elektrického pole odpovídá rozložení náboje na tělese a jeho plošné hustotě. Platí-li tedy $\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$, pak je možné určit velikost intenzity elektrického pole v těsné blízkosti tělesa (např. koule):

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q|}{R^2} = \frac{|Q|}{\epsilon S} = \frac{|\sigma|}{\epsilon}$$

Povrch nepravidelného tělesa je ekvipotencionální plochou stejně jako povrch nabitě koule, o čemž svědčí průběh siločár, které z povrchu tělesa všude vystupují kolmo. I zde platí mezi velikostí intenzity a plošnou hustotou náboje vztah $\mathbf{E} = \frac{|\sigma|}{\epsilon}$.

To znamená, že intenzita pole je největší v blízkosti hrotů a hran, kde je největší hustota náboje. Tento jev má velký praktický dopad. V okolí hrotů a hran nabitých těles může již při malých hodnotách potenciálu vodiče dosáhnout intenzita elektrického pole takové hodnoty, že okolní vzduch se ionizuje a ztrácí své izolační vlastnosti.

Oproti tomu je-li uvnitř vodiče dutina, je elektrické pole uvnitř této dutiny nulové $\mathbf{E} = 0$. Dutý vodič se tedy chová tak, že stíní dutinu od vnějšího elektrického pole. V praxi se často k odstínění pole používá tzv. *Faradayovy klece*, což je drátěná síť, která obklopuje stíněný prostor. Faradayova klec však nechrání vnější prostor před účinky elektrických nábojů, které jsou uvnitř klece.

Platí-li, že intenzita pole je gradientem skalární funkce souřadnic $-\varphi(x, y, z)$ tzv. potenciálu platí: $\mathbf{E} = -\mathbf{grad}\varphi \equiv \nabla\varphi$. Spojením bodů, které mají stejnou hodnotu potenciálu, vzniknou ekvipotencionální plochy (hladiny). Z jednoznačnosti potenciálu je zřejmé, že hladiny s různými hodnotami potenciálů se neprotínají. Přírůstek potenciálu je pak mezi dvěma body (definujme např. bod K a L) pouze závislý pouze na souřadnicích výchozího a koncového bodu integrační dráhy.

$$\Delta\varphi_{LK} = \varphi_K - \varphi_L = \int_K^L \mathbf{E} \, dr$$

Záporně vzatý přírůstek (úbytek) potenciálu mezi body L a K definujeme jako napětí U_{LK} mezi těmito body. Z jednotky intenzity pole a definice potenciálu platí, že jednotkou elektrického potenciálu v SI je 1 V. Stejná jednotka se používá i pro napětí U .

3.2.4 Elektrická indukce

Elektrická indukce D v jednotkách $C \cdot m^{-2}$ je fyzikální vektorová veličina vyjadřující velikost hodnoty intenzity elektrického pole na jednotku plochy materiálu (jeho vlastnosti opět popisuje permitivita prostředí). Je dána vztahem $D = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot E$

Pomocí elektrické indukce lze vyjádřit v jednoduchém integrálním tvaru tzv. Gaussův zákon elektrostatiky (jedna z Maxwellových rovnic): $\oint_S \mathbf{D} \, dS = Q$, kde integrál probíhá přes uzavřenou plochu S a Q je elektrický náboj uvnitř plochy.

3.2.5 Elektrická vodivost

Jednou ze základních elektrických vlastností látek, která má vliv na její chování a odolnost v elektromagnetickém poli, je její vodivost. Vodivost – *konduktance* (G) je fyzikální veličina, která udává, jaký elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí. Její velikost se udává podle SI (odvozená jednotka) v jednotkách siemens $S = AV^{-1} = m^{-2}kg^{-1}s^3A^2$, někdy je také používán anagram mho.

S vodivostí látek je spojen i pojem *konduktivita* (γ v některých literaturách také σ). Měrná elektrická vodivost (převrácená hodnota resistivity materiálu) vyjadřuje schopnost látky podílet se na vedení elektrického proudu) $\gamma = \frac{1}{\rho}$. Jednotky $Sm^{-1} = \Omega^{-1}m^{-1}$.

U *vodičů* dosahuje konduktivita hodnot $\gamma \approx (10^6 - 10^7) \Omega^{-1}m^{-1}$, zatímco u *izolantů* (nevodičů) je o mnoho řádů nižší, $\gamma \approx (10^{-10} - 10^{-13}) \Omega^{-1}m^{-1}$. Velkou skupinu látek představují *polovodiče*, jejichž konduktivita leží v rozsahu hodnot $\gamma \approx (10^{-8} - 10^4) \Omega^{-1}m^{-1}$, a velmi závisí na obsahu nečistot v látce a na vnějších vlivech (například na osvětlení).[9]

3.2.6 Elektrický proud – Ohmův zákon

Elektrický proud I je fyzikální veličina popisující množství náboje, který projde vodičem za jednotku času. Její velikost se udává podle soustavy SI (základní jednotka) v jednotkách ampér A . 1 A je definován jako stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi stálou sílu $2 \cdot 10^{-7} N$ na 1 metr délky vodiče.

Obecně je elektrický proud prostorový děj, který může různě probíhat v různých místech vodiče. Velikost proudu (tok náboje) je posuzován v daném místě podle hustoty prostorového proudu (proudová hustota) $\mathbf{j}$ [Am^{-2}].

Kondukční proudy vznikají ve vodičích (kovech, polovodičích, elektrolytech) a v ionizovaných plynech. Nositeli proudu jsou tu volné elektrony nebo ionty, které nejsou vázány na neproměnné polohy, a které se tedy mohou ve vodivých látkách pohybovat mezi ostatními částicemi. Tyto částice jsou buď neutrální, a proto na ně vnější elektrické pole nepůsobí, nebo jsou vázány na málo proměnné polohy v krystalové mřížce. Překážejí pohybu nositelů náboje a kladou tak odpor vedení elektřiny (dopadem i důkazem budiž například teplotní závislost odporu).

V homogenní elektricky vodivé látce jsou nositele proudu, tj. pohyblivé částice s nábojem e_0 a hmotností m_0 , rozloženy s prostorovou hustotou n_0 . Prostorová hustota volného náboje (náboje, který se může účastnit na vedení proudu) je tedy $\varrho^* = n_0e_0$.

Působením vnějších elektrických nábojů vzniká v celém objemu látky elektrostatické pole intenzity $\mathbf{E}$. V tomto poli dosáhne nositel náboje vlivem konstantní síly $e_0\mathbf{E}$, za čas t mechanické hybnosti $m_0\mathbf{v} = e_0\mathbf{E}t$. (Tedy za předpokladu, že se během pohybu nesrazí s jinými částicemi.) Uvnitř časového intervalu $\langle 0, \bar{t} \rangle$, kde $\bar{t}$ je střední doba letu nositele mezi dvěma srážkami, roste tedy jeho rychlost úměrně s časem, takže jeho průměrná rychlost je poloviční než na konci této doby. Proto je střední rychlost všech nositelů proudu

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{1}{2} \frac{e_0}{m_0} \bar{t} \mathbf{E}$$

Tato střední rychlost má směr elektrického pole a působí přes neuspořádaný pohyb nositelů proudu, který k proudu nepřispívá. Rychlost $\bar{v}$ je v obvyklých elektrostatických polích malá proti rychlosti těchto neuspořádaných pohybů. (Např. pro jednoatomovou měď $\bar{v}_{max} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ oproti rychlosti termických pohybů, odvozených od Fermiho energie, $\bar{v}_{max} = 10^6 \text{ ms}^{-1}$.) Proto je možné v prvním přiblížení považovat střední dobu letu $\bar{t}$ za nezávislou na intenzitě pole.

Působením pole o intenzitě $\mathbf{E}$ vzniká elektrický proud, jehož proudová hustota odpovídá

$$\mathbf{j} = \varrho_0^* \bar{\mathbf{v}} = n_0 e_0 \bar{\mathbf{v}} = \frac{n_0 e_0^2 \bar{t}}{2m_0} \mathbf{E}.$$

Proudová hustota tak závisí na zlomku $\frac{n_0 e_0^2 \bar{t}}{2m_0}$ což je materiálová konstanta – měrná elektrická vodivost γ (viz kapitola 3.2.5) a na intenzitě elektrického pole. Tento vztah je tak zvaný Ohmův zákon v diferenciálním tvaru:

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}.$$

Hustota ustáleného proudu v nějakém místě vodiče se rovná součinu jeho měrné vodivosti a intenzity elektrostatického pole v tomto místě.

K vedení proudu se nejčastěji používá drátových vodičů, proto je pro přehlednost a zjednodušení výhodnější používat integrálního tvaru Ohmova zákona. Jeho známou formu je možné odvodit mnoha způsoby, například přes rozměry veličin.

$$\begin{aligned}
\mathbf{j} &= \gamma \mathbf{E} \\
[Am^{-2} &= Sm^{-1}Vm^{-1}] \\
[Am^{-2} &= \Omega^{-1}Vm^{-2}] \\
[A &= \Omega^{-1}V] \\
\mathbf{I} &= G\mathbf{U} = \frac{\mathbf{U}}{R}
\end{aligned}$$

Toto je Ohmův zákon v integrálním tvaru, který platí pro ustálený stejnosměrný proud ve vodičích libovolného tvaru.

3.2.7 Účinky elektrického proudu

Je-li k vodiči přiložen zdroj elektrického proudu, nebo je-li v něm indukován elektrický náboj, dochází k přeměně elektrické energie na energii tepelnou. S touto energií je třeba počítat i při indukci v důsledku EMP. Vodič vystavený působení elektrické indukce E v sobě indukuje rozdíl potenciálu odpovídající Ohmově zákonu

$$U_{12} = \int_1^2 \mathbf{E} \, dl.$$

Integrál popisující rozdíl potenciálu ve vodiči v souhlasu s definicí potenciálu popisuje i *práci* W vykonanou polem při přenesení náboje Q z hladiny 1 do hladiny 2, dělenou nábojem Q . Za dobu t přenese stálý elektrický proud I náboj $Q = It$ a za tuto dobu vykoná práci

$$W_{12} = \int_1^2 \mathbf{F} \, dl = \int_1^2 Q\mathbf{E} \, dl = QU_{12} = U_{12}It.$$

Tato práce je úměrná době průchodu proudu, takže *výkon* na vodiči

$$P_{12} = \frac{W_{12}}{t} = U_{12}I$$

je stálý. Úpravou dle Ohmova zákona je možné zapsat tento vztah ve tvaru [6]:

Výkon stálého stejnosměrného proudu je roven součinu proudu a napětí na vodiči.

$$P = UI = RI^2 = \frac{1}{R}U^2$$

Podle tohoto vztahu se při průchodu proudu I vodičem s odporem R spotřebuje za každou sekundu energie RI^2t , číselně rovná výkonu proudu. Tato práce vykonaná elektrickým polem

se přemění v pohybovou energii neuspořádaných pohybů atomů (molekul) vodiče; v tepelnou energii v tzv. *Joulovo teplo*.

Kromě Joulova tepla s elektrickým proudem souvisí ještě další termoelektrické jevy. Například:

Seebeckův jev (1821) – Mezi koncovými průřezy vodiče se udržuje napětí ΔU , jestliže mezi nimi je teplotní rozdíl ΔT . $\Delta U = \alpha \Delta T$. Kde α je termoelektrický koeficient vodiče.

Peltierův jev (1834) – Ve vodivém spoji dvou vodičů se při průchodu stálého proudu vyvíjí teplo. $P_p = \Pi_{12} I$. Kde Π_{12} je tzv. Peltierův koeficient.

Thomsonův jev (1851) – Prochází-li vodičem, ve kterém není všude stejná teplota, proud hustoty j , vyvíjí nebo pohlcuje se v něm teplo. $p = -\Theta \mathbf{j} \cdot \text{grad} \mathbf{T}$. Thomsonův koeficient Θ je funkcí teploty.

Dopady těchto termoelektrických jevů jsou ještě významnější pro polovodiče (termoelektrické koeficienty jsou až o řád vyšší než u kovů).

Pro účinky elektromagnetického pole není ovšem možné posuzovat výkon a práci na vodiči pouze v oborech stejnosměrného ustáleného proudu. Ve stručnosti je nutno započítat do elektromagnetických účinků navíc vliv frekvence a fázových posuvů. Omezme problematiku na harmonický proud sinusového průběhu tj. $u = U_m \sin \omega t$ a $i = I_m \sin (\omega t - \varphi) = \frac{U_0}{Z} \sin (\omega t - \varphi)$. Pak lze průměrný výkon spočítat ze vztahu $P = UI \cos \varphi$.

3.3 Magnetické vlastnosti látek

Magnetické pole je jedna z forem projevu elektromagnetického pole [10]. Magnetické pole je v makroskopickém měřítku pozorovatelné například v okolí vodičů, kterými protéká elektrický proud (uspořádaný pohyb velkého množství elektronů). Další výskyt je pozorovatelný v okolí permanentních magnetů (kde mají atomární proudy představované pohybem elektronů ve slupkách stejné orientace). Zdrojem magnetického pole také může být i časově proměnné pole elektrické. Experimenty dokazují, že zdrojem magnetického pole jsou pohybující se nabitě částice. V případě atomového výbuchu je množství pohybujících se nabitých částic značné. Množství nabitých částic je navíc umocněno tzv. Comptonovým jevem (viz níže). Z předpokladu existence mnoha pohybujících se nabitých částic po atomovém výbuchu a jejich provázanosti s magnetickým polem je zřejmá i přímá spojitost se vznikem a existencí elektromagnetického pole a pulsu při atomovém výbuchu.

3.3.1 Magnetická indukce

Pohybující se náboj je ve svém okolí doprovázen, kromě elektrického pole charakterizovaného vektorem elektrické indukce $\mathbf{E}$, ještě dalším polem magnetickým s odlišnými vlastnostmi. Silovou charakteristikou magnetického pole je magnetická indukce $\mathbf{B}$ v jednotkách T (tesla).

Definiční rovnice pro vektor magnetické indukce $\mathbf{B}$ má tvar $\mathbf{F} = Q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$, kde $\mathbf{F}$ je tzv. Lorentzova síla. Vektor magnetické indukce je tak definován pomocí této síly, kterou působí magnetické pole na elektrický náboj Q , pohybující se rychlostí $\mathbf{v}$. Směr síly je kolmý na rovinu určenou vektory $\mathbf{v}$ a $\mathbf{B}$. Síla magnetického pole, působící na pohybující se náboj, má proto pouze normálovou složku, zakřivuje dráhu, nekoná práci a nemění velikost rychlosti (na rozdíl od síly v elektrickém poli).

Velikost a směr $\mathbf{B}$ v blízkosti vodiče, kterým protéká elektrický proud určuje tzv. Biotův-Savartů-Laplaceův zákon:

$$\mathbf{B} = \int_l d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_l \frac{I}{r^2} d\mathbf{l} \times \mathbf{r}^0$$

Kde magnetická indukce v místě A odpovídá parciální integraci jejích souřadnicových složek ($\mathbf{B}$ je vektor a integrace je skalární operace), které vytváří elementy $d\mathbf{l}$ délky proudovodiče protékané proudem I . Bod A má určenou vzdálenost $\mathbf{r}$ vůči $d\mathbf{l}$ a směr určený jednotkovým vektorem $\mathbf{r}^0$.

μ_0 magnetická konstanta, tzv. *permeabilita vakua* – základní fyzikální konstanta mající hodnotu $4\pi 10^{-7} \text{ Fm}^{-1}$.

3.3.2 Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole H je fyzikální veličina udávající velikost a směr působení síly na zanedbatelně malý objem látky v určitém místě magnetického pole. V homogenním poli má intenzita ve všech místech stejnou velikost i směr.

Základní jednotkou intenzity magnetického pole je podle soustavy SI odvozená jednotka ampér na metr $A \cdot m^{-1}$.

Intenzita magnetického pole je definována vztahem [10]:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0}(\mathbf{B} - \mathbf{J})$$

Vektor $\mathbf{J}$ tzv. vektor magnetické polarizace

$$\left[\frac{Wb}{m^2} = T \right].$$

3.3.3 Magnetické vlastnosti materiálu

Vzájemná souvislost mezi intenzitou magnetického pole a vektorem magnetické polarizace je možné odvodit z definičního vztahu:

$$\mathbf{J} = \mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{H} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H} - \mu_0 \mathbf{H} = (\mu_r - 1) \mu_0 \mathbf{H} = \chi_m \mu_0 \mathbf{H}$$

Veličina χ_m je tzv. *magnetická susceptibilita*. Podle velikosti veličin χ_m a μ_r je možné z magnetického hlediska dělit materiály do tří skupin:

Diamagnetické $\mu_r < 1$, $\chi_m < 0$

Paramagnetické $\mu_r > 1$, $\chi_m > 0$

Feromagnetické $\mu_r \gg 1$, $\chi_m \gg 0$

Látky diamagnetické

Látky jako např. Bi, Au, Ag, Cu, H₂O jsou složeny z atomů nebo molekul, u nichž je výslednice orbitálních a spinových magnetických momentů nulová, takže vnější magnetické pole na ně nepůsobí ani výslednou posuvnou silou ani točivým momentem, způsobuje však zpomalení oběžné rychlosti jednotlivých elektronů. Důsledkem je zeslabení vektoru $\mathbf{B}$ uvnitř diamagnetik. Susceptibilita těchto látek je velmi malá (například měď má hodnotu susceptibility $\chi_m = -8,9 \cdot 10^{-6}$ a voda $\chi_m = -9,0 \cdot 10^{-6}$). Podle experimentálních měření Pierra Curieho (1859 – 1906) nezávisí na teplotě.

Látky paramagnetické

Látky jako např. Pt, Se, Pd, Ti, Al, vzduch jsou složeny z atomů, v nichž se vnitřní magnetické momenty nevykompenzují, mají magnetický moment i v případě, kdy nejsou ve vnějším magnetickém poli. Je-li takový atom vložen do vnějšího magnetického pole, jeho magnetický moment je stočen silovými účinky tohoto pole do směru magnetické indukce. Tím se celková magnetická indukce uvnitř látky zvýší. Úplnému stočení jednotlivých atomárních magnetických momentů do směru vnějšího magnetického pole brání neuspořádaný tepelný pohyb. Z toho plyne, že susceptibilita paramagnetických látek je v závislosti na teplotě (s rostoucí teplotou klesá). Úplnou orientaci magnetických momentů do směru vnějšího magnetického pole lze dosáhnout pouze ve velmi silných magnetických polích a při nízkých teplotách. Pro pokojové teploty je

$$\chi_m = \frac{n_0 P_m^2 \mu_0}{3kT}$$

(n_0 je počet částic v jednotce objemu, P_m je konstantní magnetický moment atomu). Při pokojové teplotě je susceptibilita vzduch $\chi_m = +0,38 \cdot 10^{-8}$ a pro platinu $\chi_m = +280 \cdot 10^{-8}$.

Látky feromagnetické

Látky jako např. Co, Ni, Fe, ocel jsou složeny z atomů, které mají nevykompenzované spiny magnetických momentů ve vhodně uspořádané krystalové mřížce. V důsledku toho se vytvoří stabilní a energeticky výhodné systémy elektronů s paralelní (*feromagnetismus*) nebo antiparalelní (*antiferomagnetismus*) orientací spinových magnetických momentů sousedních atomů v mřížce. Charakteristické vlastnosti feromagnetik a antiferomagnetik se projevují pouze při teplotách nižších než je tzv. Curiova teplota.

Feromagnetické materiály jsou složeny z tzv. domén. Doména je oblast o rozměrech ($10^{-5} - 10^{-4}$) m, ve kterých je homogenní orientace spinových magnetických momentů. Doména je ve stavu *úplného nasycení*. Není-li látka ve vnějším magnetickém poli, magnetické momenty v různých doménách mohou mít náhodnou orientaci. Ve vnějším magnetickém poli dochází ke stáčení magnetických momentů domén do směru vnějšího pole skokovou změnou. Toto ovlivnění zůstává patrné i po vyjmutí feromagnetického materiálu z magnetického pole. Tehdy se pak látka chová jako permanentní magnet. Z tohoto jevu vyplývá, že magnetická susceptibilita feromagnetik není konstantní a závisí na počátečním stavu látky. Při teplotě vyšší, než je Curiova teplota, se rozpadá struktura domén a látka se stává paramagnetickou.

Vlastnosti feromagnetických materiálů mají za podmínek atomového výbuchu nezanedbatelný význam na chování elektrotechnických a ICT zařízení. Přímý dopad není dán ani tak v závislosti elektromagnetických vlastností materiálu na Curiově teplotě, která je pro běžné materiály je okolo 350 °C – 900 °C (např. nikl 360 °C a železo 770 °C). Většina zařízení je při těchto teplotách již vyřazena účinkem tepelného záření. Hlavní vliv je tak na samotné změně hodnot susceptibility feromagnetického materiálu, která je prokazatelná již při mnohem nižších teplotách. Tato změna má pak velký vliv na tvar a hlavně šířku tzv. *hysterezní smyčky*. Trochu jiná situace nastává u optických materiálů (např. u komunikační zařízení). U těch se Curiova teplota, která má vliv na magnetické chování látek, pohybuje okolo 200 °C, což může mít fatální dopad na krizovou komunikaci.

3.3.4 Magnetická hystereze

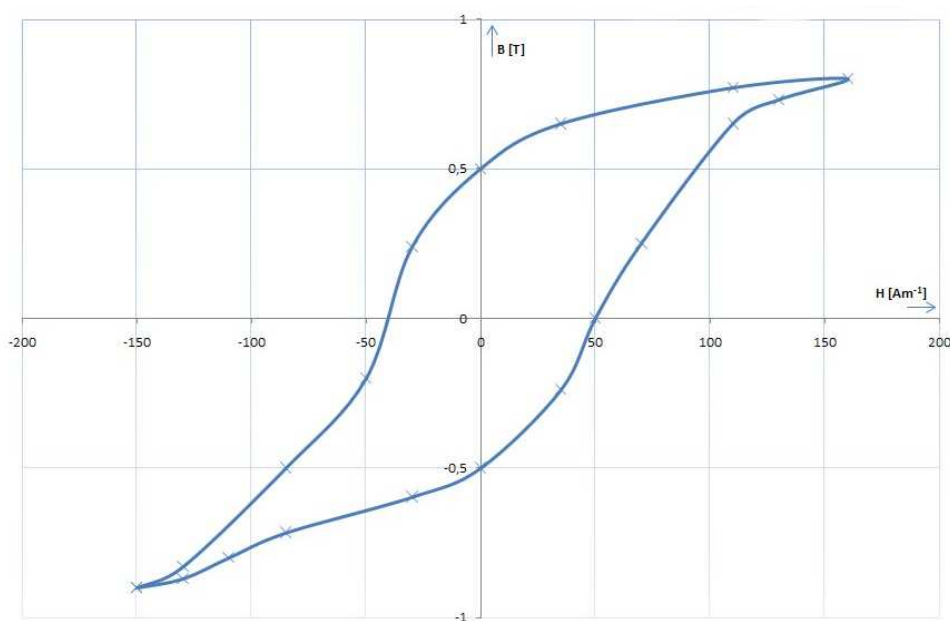
Magnetická hystereze je závislost magnetické indukce na velikosti intenzity magnetického pole a druhu feromagnetického materiálu. Z předchozí kapitoly plyne také závislost na teplotě (především mezní Curiova) na předchozím stavu (předchozí magnetizaci) látky. Tuto závislost vyjadřuje *hysterezní smyčka* s křivkou prvotní magnetizace (panenská křivka).

Křivka prvotní magnetizace vyjadřuje závislost mezi velikostí intenzity magnetického pole a magnetické indukce na materiálu, který nebyl dříve zmagnetizován nebo byl demagneti-

zován. Křivka vychází z nuly a dosahuje hodnot saturace materiálu B_S . Nasycení – hodnota křivky, kdy nárůst intenzity magnetického pole již nemá vliv na nárůst magnetické indukce (všechny magnetické domény jsou již srovnány). Samotná hysterezní závislost na předchozí magnetizaci a druhu materiálu, který je vyjádřen magnetickou konstantou μ_r , se projeví až po opětné magnetizaci.

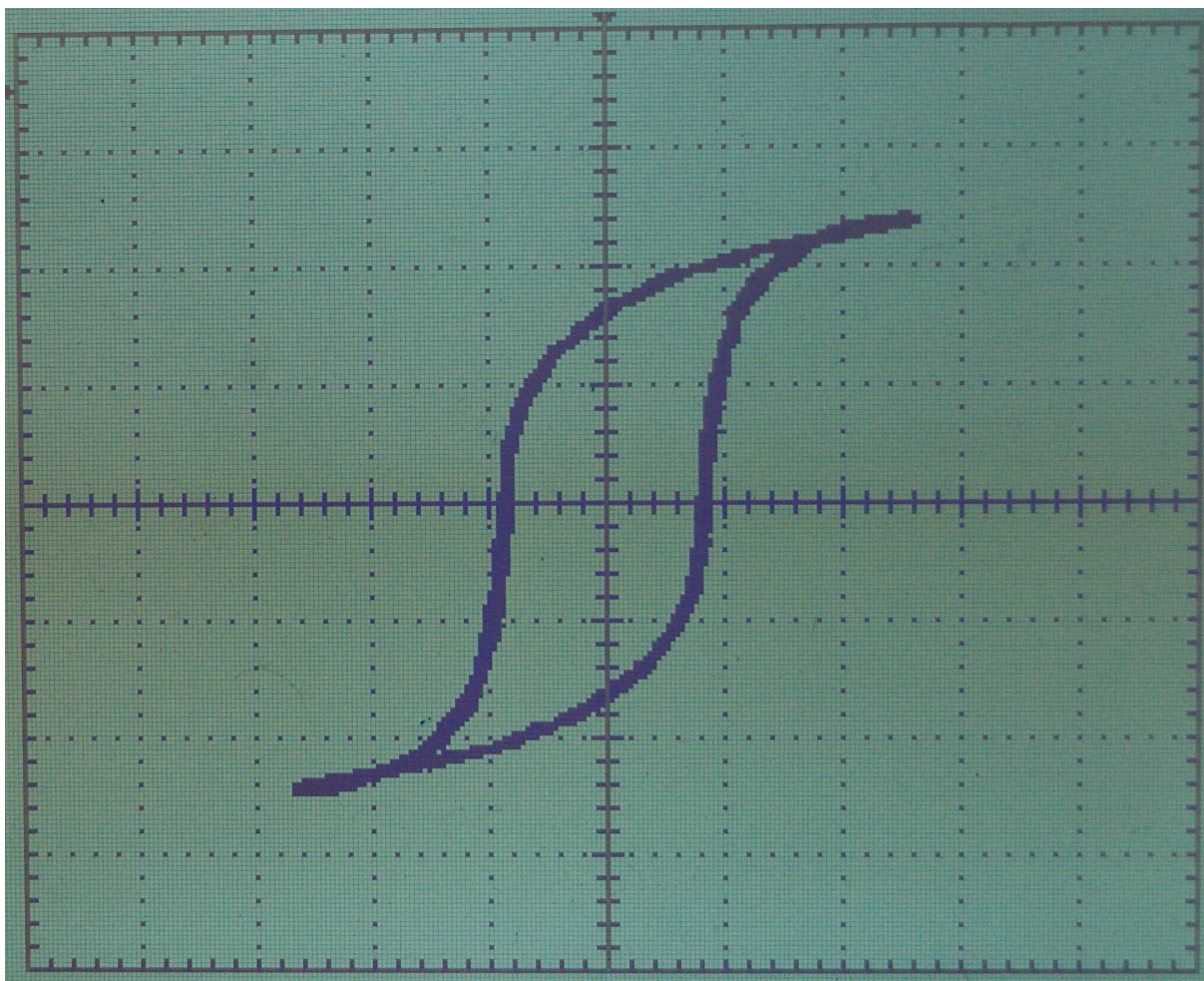
Na hysterezní smyčce jsou technicky důležité body, kde smyčka protíná nulové osy. Na ose magnetické indukce je to bod B_r – remanentní indukce (tzv. zbytková indukce) – hodnota indukce, která zůstane při dosažení nulové intenzity magnetického pole. Na ose intenzity magnetického pole je to bod H_k – koercitivita – hodnota intenzity magnetického pole, kterou je třeba dodat, aby byla magnetická indukce opět nulová.

Samotná plocha hysterezní smyčky má význam energie, kterou je nutné dodat materiálu k tzv. přemagnetování. Tato energie odpovídá ve většině technických zařízení ztrátám. Nejčastějším zařízením pracujícím s přeměnou elektrické energie na magnetickou a naopak je transformátor. Svoji funkcí je vlastně předurčen k největší reakci na vnější magnetické pole (a to i EMP). Pro běžný provoz je k minimalizaci ztrát použito materiálů uzpůsobených speciálními technologiemi (např. orientované plechy válcované za studena).



Obrázek 3.2: Hysterezní smyčka feromagnetického materiálu

Viz příloha – MS Excel model hysterezní smyčky



Obrázek 3.3: Zobrazení hysterezní smyčky na osciloskopu

Viz příloha – Měření vlastností hysterezní smyčky na osciloskopu

3.3.5 Magnetický indukční tok

Analogicky k elektrickému poli je i v magnetickém poli zaveden pojem toku vektoru magnetické indukce. Celkový magnetizační tok danou plochou je definován [3, 5] tokem vektoru magnetické indukce plochou $\mathbf{S}$.

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S}$$

Jednotkou podle SI je 1 weber (Wb) = Vs. Indukční magnetický tok libovolnou spojitou jednoduše souvislou plochou je v daném magnetickém poli jednoznačně určen křivkou C , která ohraničuje plochu $\mathbf{S}$ jí proloženou. Jelikož jsou indukční čáry v magnetickém poli uzavřené, je indukční tok touto uzavřenou plochou roven nule. (Gaussova věta magnetismu o neexistenci volným magnetických nábojů.) Protože všechny magnetické indukční trubice jsou uzavřené, je jejich počet zcela určen křivkou C . Tok Φ je pak dán pouze počtem jednotlivých indukčních trubic, které procházejí vnitřkem křivky C .

3.4 Elektromagnetismus

3.4.1 Elektromagnetická indukce

Jedním z nejdůležitějších elektromagnetických jevů je projev časově proměnného elektrického proudu je elektromagnetická indukce. Změnu proudu provází i změna magnetického pole v jeho okolí. Naopak změna magnetického pole v okolí vodiče vede k vytvoření časově proměnného indukovaného elektrického proudu. Tento jev má velký význam na elektrotechnické a elektronické součástky při výskytu elektromagnetického pulsu.

Změny elektromagnetického pole nebudou v celém prostoru probíhat současně, protože se šíří konečnou rychlostí světla c ($2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$). Vzhledem k její velikosti je však možné toto zpoždění zanedbat a takové elektromagnetické pole, kde lze uvažovat změny v pohybu elektrických nábojů ve fázi se změnami tohoto pole, pak považovat za kvazistacionární.

Při změně velikosti magnetického či elektrického pole dojde i ke změně velikosti magnetického toku. Této změny $d\Phi$ může být dosaženo pohybem smyčky v magnetickém poli, které je v klidu, nebo časově se měnícím magnetickým polem plochou smyčky, která je v klidu, nebo vzájemným pohybem smyčky a časově proměnného magnetického pole.

Vzájemnou závislost mezi změnou elektrického a magnetického pole vyjadřuje Faradayův zákon elektromagnetické indukce v diferenciálním tvaru

$$U_i = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

Faradayův zákon tedy vlastně vyjadřuje velikost indukovaného elektromotorického napětí. Indukované napětí je proporcionální k rychlosti změny magnetického indukčního toku. [11]

3.4.2 Šíření elektromagnetické energie

Šíří-li se prostorem elektromagnetická vlna, nese s sebou – jako každé vlnění – energii [5, 10], která postupuje prostorem. V homogenním poli, které se mění lineárně s časem, je hustota proudu energie číselně rovna energii prošlé za jednotku doby jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření energie, je dána tzv. *Poyntingovým vektorem* $\mathbf{S}$.

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

Tato rovnice je pro rovinnou vlnu odpovídající i z pohledu znaménka (orientace), neboť vektory $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$ a $\mathbf{S}$ tvoří pravotočivou soustavu. Za pomoci vektorové analýzy (vzorce pro divergenci vektorového součinu) můžeme vztah upravit do tvaru

$$\operatorname{div} \mathbf{S} = \operatorname{div} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{H} \cdot \operatorname{rot} \mathbf{E} - \mathbf{E} \cdot \operatorname{rot} \mathbf{H}$$

Z prvních dvou Maxwellových rovnic (viz kapitola 3.5) vychází

$$\operatorname{div} \mathbf{S} = -\mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \mathbf{E} \cdot \left(\mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) = -\mathbf{E} \cdot \mathbf{j} - \left(\mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \right)$$

Oba členy na pravé straně vztahu mají názorný fyzikální význam. Součin

$$\mathbf{E} \cdot \mathbf{j} = Ei = \frac{U}{l} \frac{I}{S} = \frac{P}{\tau} = p$$

neboť intenzita pole je spád potenciálu a hustota indukčního proudu je podíl proudu a plochy. Výraz je tudíž *hustota výkonu indukčního proudu*. Dvojčlen v závorkách na pravé straně vztahu se nechá při konstantní permeabilitě a permitivitě upravit na tvar

$$\mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \varepsilon \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu \mathbf{H} \cdot \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$$

Platí úprava $\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}) = 2\mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ a tak je možné předchozí vztah nahradit výrazem

$$\frac{\varepsilon}{2} \frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}) + \frac{\mu}{2} \frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}) = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B}) = \frac{\partial w}{\partial t},$$

který vyjadřuje časovou změnu hustoty elektromagnetické energie. Tím je možné získat matematickou formulaci *Poyntingovy věty*, která vyjadřuje zákon zachování energie v elektromagnetickém poli:

$$\operatorname{div} \mathbf{S} + p + \frac{\partial w}{\partial t} = 0$$

Výraz je možné také integrovat přes libovolný objem V a po přesunutí časové derivace před integrál, s využitím Gaussovy věty z vektorové analýzy na integrál s divergencí, získáme tak rovnici pro bilanci energie:

$$\int_V \mathbf{E} \cdot \mathbf{j} \, dV + \oint_{S_V} (E \times H) \, dS_V = -\frac{d}{dt} \int_V \frac{1}{2} (\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B}) \, dV.$$

Kde pravá strana vyjadřuje úbytek energie uložené v objemu V (opět vyjádřena hustota elektromagnetické energie). První člen levé strany udává přeměnu energie na *Joulovo teplo* a zbývající člen představuje *výtok energie* přes plochu S_V , která je povrchem objemu V . Hustota tohoto toku je dána výše zmíněným Poyntingovým vektorem.

3.4.3 Intenzita elektromagnetického vlnění

V případě rovinné elektromagnetické vlny souhlasí směr toku energie se směrem šíření vlnění. Vektor intenzity magnetického pole H je kolmý na vektor intenzity elektrického pole E a pro velikost Poyntingova vektoru platí $S = EH$. Intenzita vlnění je dána jeho střední hodnotou

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) \, dt$$

V harmonické vlně, v níž [9] $E = E_0 \sin \omega t$, $H = H_0 \sin \omega t$, $H_0 = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_0$ lze spočítat střední hodnotu

$$I = \frac{1}{2} E_0 H_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_0^2$$

Intenzita vlnění je tedy úměrná druhé mocnině amplitudy intenzity elektrického pole ve vlně.

3.5 Maxwellova teorie elektromagnetického pole

Teorie elektrického a magnetického pole v izotropních neferomagnetických prostředích popisuje souhrnně soustava tzv. Maxwellových rovnic.

Fundament Maxwellovy teorie představují čtyři zákony elektrických a magnetických jevů. Tyto základní vztahy v integrálním¹ a v diferenciálním tvaru jsou [3, 5]:

Zákon elektromagnetické indukce

$$\oint_L \mathbf{E} \, dl = -\frac{d\phi}{dt} \quad \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Zákon celkového proudu

$$\oint_L \mathbf{H} \, dl = I + I_p \quad \text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Gaussova věta elektrostatiky

$$\oint_S \mathbf{D} \, dS = Q \quad \text{div } \mathbf{D} = \rho$$

Gaussova věta magnetismu

$$\oint_S \mathbf{B} \, dS = 0 \quad \text{div } \mathbf{B} = 0$$

Tyto základní rovnice lze doplnit čtveřicí vztahů platných v izotropním prostředí:

$$\text{Elektrická indukce } \mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\text{Magnetická indukce } \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\text{Ohmův zákon v diferenciálním tvaru } \mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}$$

$$\text{Hustota energie elektromagnetického pole } w = w_s + w_m = \frac{1}{2}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B})$$

¹Znak integrálu uzavřené plochy S je převzat z anglosaských zvyklostí (Donald Knuth – systém formátování matematického textu). Stejný tvar je někdy v českých publikacích nahrazen dvojitým integrálem s vyznačenou elipsou.

Kapitola 4

Vznik EMP

Již před prvním testem atomové bomby (16. července 1945) se vědci skupiny Enrica Fermiho snažili spočítat rozsah elektromagnetického pulsu po výbuchu.

Při atomovém výbuchu je uvolněno téměř celé spektrum elektromagnetického záření (tzv. Maxwellova duha). Považujeme-li za záření proud částic, popř. tok energetických kvant (fotonů), vyplývá z Maxwellových rovnic klasické elektrodynamiky důsledek, že každá nabitá částice, která se pohybuje se zrychlením, vytváří kolem sebe elektromagnetické pole.

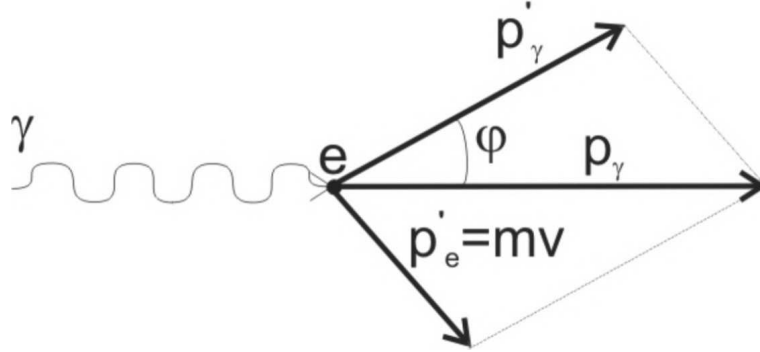
4.1 Comptonův jev

Interakcí záření s látkou prostředí (tj. nejčastěji s molekulami okolního vzduchu) dojde postupně k „vygenerování“ dalších volných částic (jedná se nejčastěji o elektrony), které se účastní na vzniku elektromagnetického pulsu.

Touto interakcí záření s hmotou se zabýval již v roce 1923 Arthur Holly Compton. Ten na rozptylu rentgenových paprsků (z molybdenové antikatody) v grafitové desce měřil rozptýlené záření. Zjistil, že v rozptýleném záření se vedle původní vlnové délky λ objevuje i vlnová délka λ' . Tento jev byl pojmenován Comptonův efekt.

Později bylo zjištěno, že tento jev je tím zřetelnější, čím tvrdší jsou paprsky. Comptonův objev (současně s Debyem) byl popsán jednoduchým předpokladem, že se jedná o srážku fotonu s elektronem, který je prakticky volný (nebo jen slabě poután k atomu). Stručná kvantová teorie Comptonova jevu vychází ze zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie. [10][6][1]

Je zakresleno schéma dopadajícího fotonu γ , přenášejícího energii $\varepsilon = h\nu$ a hybnost $p_\gamma = (\frac{h\nu}{c})$, na elektron s klidovou energií m_0c^2 a s nulovou hybností.



Obrázek 4.1: Schéma dopadajícího fotonu

Vyjdeme-li z toho, že elektron má dostatečně malou „termickou“ rychlost, takže se jeho hmotnost liší pouze málo od klidové hmotnosti elektronu ($m_0 = 9,108 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$), platí rovnice zachování energie:

$$\varepsilon + m_0c^2 = \varepsilon' + mc^2$$

Kde platí $\varepsilon = h\nu$ je energie fotonu před nárazem a $\varepsilon' = h\nu'$ jeho energie po nárazu. Pro další výpočty lze upravit dosazením $h(v - v') + m_0c^2 = mc^2$. Tuto rovnici umocníme na druhou $m^2c^4 = h^2(v^2 - 2vv' + v'^2) + 2h(v - v')m_0c^2 + m_0^2c^4$.

Ze schématu Comptonova jevu je pomocí kosinové věty pro trojúhelník s úhlem φ možné vyjádřit zákon zachování hybnosti:

$$(mv)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\cos\varphi$$

Zákon zachování hybnosti lze upravit na tvar $m^2v^2c^2 = h^2(v^2 - 2vv'\cos\varphi + v'^2)$.

Sepíšeme-li vztahy zákonů zachování v Comptonově jevu jako soustavu rovnic, je možno je od sebe odečíst a získat vztah pro výpočet velikosti posunu:

$$\begin{aligned} m^2c^4 &= h^2(v^2 - 2vv' + v'^2) + 2h(v - v')m_0c^2 + m_0^2c^4 \\ m^2v^2c^2 &= h^2(v^2 - 2vv'\cos\varphi + v'^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m^2c^4 - m^2c^2v^2 - m_0^2c^4 &= h^2v^2 - h^2v^2 - 2h^2vv' + h^2v'^2 - h^2v'^2 + (2h\nu - 2h\nu')m_0c^2 + 2h^2vv'\cos\varphi \\ c^4(m^2 - \frac{m^2v^2}{c^2} - m_0^2) &= -2h^2vv' + 2hvm_0c^2 - 2h\nu'm_0c^2 + 2h^2vv'\cos\varphi \\ -c^4[m^2(1 - \frac{v^2}{c^2}) - m_0^2] &= 2h^2vv'(1 - \cos\varphi) - 2hc^2m_0(v - v') \end{aligned}$$

Platí-li vztah pro klidovou hmotnost elektronu

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

je levá strana rovnice nulová a vydělením $2h\nu\nu'$ dostaneme

$$\left(\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu}\right) m_0 c = h(1 - \cos\varphi)$$

Pro vlnové délky $\lambda = \frac{c}{\nu}, \lambda' = \frac{c}{\nu'}$, příslušné frekvencím ν a ν' , tedy plyne

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\varphi)$$

a Comptonův posun

$$\Delta\lambda = A(1 - \cos\varphi) = 2A \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

Hodnota konstanty

$$A = \frac{h}{m_0 c} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,108 \cdot 10^{-31} \cdot 2,998 \cdot 10^8} = 2,426 \cdot 10^{-12} m$$

se shoduje s předpokládanou hodnotou, která byla získána měřením (N. S. Ginrich 1930), podle kterého je $A = (2,424 \pm 0,004) pm$.

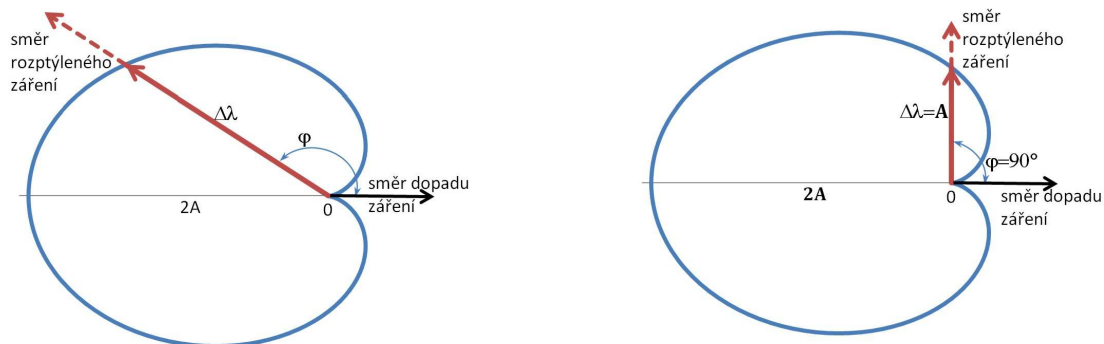
Ve vztazích je c rychlost světla ($2,998 \cdot 10^8 ms^{-1}$)

h Planckova konstanta ($6,626 \cdot 10^{-34} Js \doteq 4,1 \mu eV \cdot GHz^{-1}$).

Elektromagnetické záření o vlnové délce λ (ve vakuu) má frekvenci f a jemu připisovaný foton má energii E . Vztah mezi nimi vyjadřují rovnice: $\lambda = \frac{c}{f}$ a $E = \frac{h}{f}$.

Geometricky lze rovnici Comptonova posunu znázornit v polárních souřadnicích jako kardioidu. Je-li zvolen směr dopadajícího svazku za polární osu sestrojené kardioidy, která ji protíná v počátku a v bodě vzdáleném o $2A$ proti směru záření, je Comptonův posun dán délkou průvodiče vedeného ke kardioidě ve směru rozptýleného paprsku. Paprsek rozptýlený kolmo k původnímu směru má posuv $\Delta\lambda = A$.

Viz příloha – MS Excel model závislosti Comptonova posuvu na úhlu rozptylu.



Obrázek 4.2: Geometrické znázornění Comptonova posunu v polárních souřadnicích

Teoreticky dochází ke Comptonovu jevu při každé srážce fotonu s elektronem. Je-li však hmotnost fotonu oproti hmotnosti elektronu velmi malá, nelze vycházet z rovnice zákona zachování energie, pro kterou byl dán předpoklad minimální původní rychlosti elektronu (tj. elektron s klidovou hmotností). Je-li tedy energie fotonu $\varepsilon \ll m_0 c^2$ je hmotnost elektronu dána závislostí

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

pak je posuv neměřitelně malý, protože ztráta hybnosti fotonu je nepatrná (lehký foton „odskočí“ od mnohem těžší částice). Proto je Comptonův jev pozorovatelný jen při rozptylu záření složeného z fotonů s velkou hmotností (např. Rentgenové nebo γ záření) a nelze je pozorovat v oboru viditelného světla. Comptonův posun je také neměřitelně malý při srážce fotonu s elektronem, který je pevně vázán k jádru. Pro takovou srážku je třeba upravit vztah

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \varphi)$$

záměnou m_j za m_0 . Hodnota hmotnosti jádra $m_j \gg m_0$. Nový tvar vztahu je

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_j c} (1 - \cos \varphi)$$

Tím je dáno, že posunutá čára je tím intenzivnější, čím více volných nebo slabě poutaných elektronů obsahuje rozptylující látka.



Obrázek 4.3: Fotografie rozpadu ^{235}Th ve Wilsonově difúzní mlžné komoře

Kapitola 5

Dopad EMP na lidský organismus

Předpoklad:

Elektromagnetické pole s intenzitou, která může vzniknout při atomovém výbuchu, nemá významný vliv na lidský organismus.

Do spektra elektromagnetického záření patří i rentgenové a gama záření. Při úvahách o elektromagnetickém pulsu se však v drtivé většině uvažuje pouze o oblasti neionizujícího záření (elektromagnetické záření o vlnových délkách v řádech kilometrů až mikrometrů [17]). V užším smyslu působení na lidský organismus je do elektromagnetického pulsu počítáno záření s frekvencí do rozsahu 300 GHz, tj. záření s vlnovou délkou větší než 1 mm – tzv. radiofrekvenční záření.

Při působení na látky, počítaje v to i živou tkáň, se u elektromagnetického záření daleko více než vlnové vlastnosti uplatňují jeho vlastnosti kvantové, tedy skutečnost, že záření předává energii látkám jen po kvantech, která jsou tím menší, čím je vlnová délka záření větší. S touto vlastností elektromagnetického záření souvisí nejen jeho schopnost či neschopnost ionizovat atomy, ale i schopnost měnit strukturu molekuly nebo vyvolávat v biologické tkáni chemickou reakci. [15]

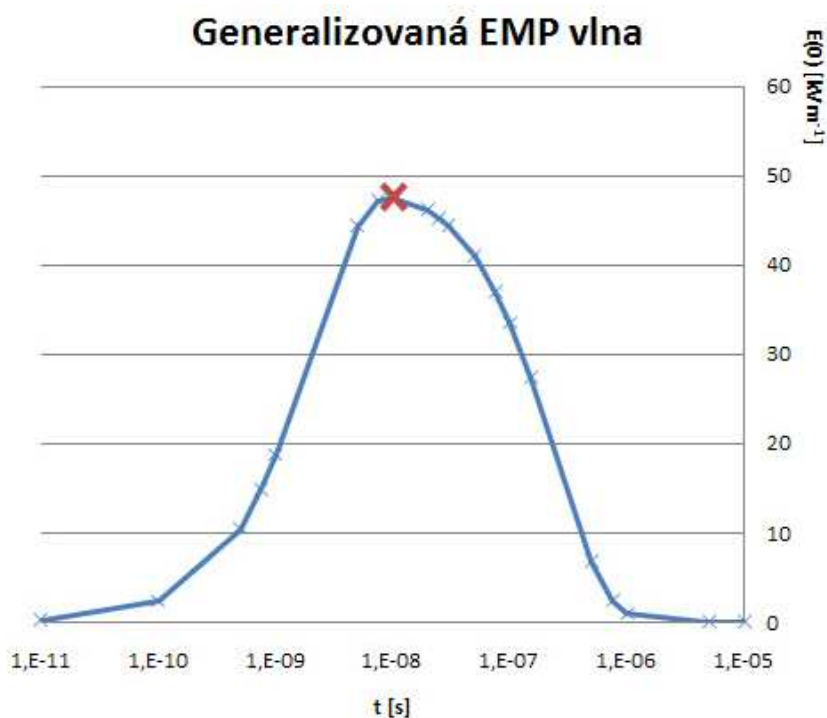
5.1 Generalizovaná EMP vlna

Pro simulaci účinků elektromagnetického pulsu na lidský organismus byla stanovena hypotetická situace, která nejlépe aproximuje popis skutečného průběhu elektromagnetické vlny při vysoko-atmosférickém (HEMP) či stratosférickém (SEMP) jaderném výbuchu. Parametry vlny (doba náběhu, trvání a výška) pulsu i přes různé zdroje simulačních metod mohou být získány náhledem na interakci pole s biologickým materiálem [18]. Tento abstrakt popisuje

rovnice závislosti intenzity pole v čase:

$$E(t) = E_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

V rovnici závislosti intenzity pole v čase je E_0 vrcholem amplitudy, α a β jsou časové konstanty pulsu. Graficky je pak tato závislost vyjádřena normálním Gauss-Laplaceovým rozdělením kolem E_0 .



Obrázek 5.1: Model průběhu generalizované EMP vlny. Viz příloha – MS Excel.

5.2 Působení EMP na organismus

Mechanismus interakce biologických organismů s elektromagnetickým polem je v indukci časově proměnných elektrických polí a proudů. Na buněčné úrovni interakce indukuje napětí napříč membránami buněk. Při prahové úrovni indukované napětí produkuje přímou stimulaci vzrušivých buněk. Indukované napětí je dostatečné pro stimulaci nervů a svalových buněk tak, aby došlo k jejich kontrakci. [11]

Vezměme v úvahu jediný puls, který má výše zmíněný průběh generalizované EMP vlny. Záměrně ignorujeme možnost vlnové interference, která by mohla vzniknout (ať již výskytem několika zdrojů či odraženou vlnou) – superpozicí vzniklá výsledná vlna by ve svých důsledcích zachovávala vlastnosti generalizované EMP vlny. Při účincích elektromagnetického pole na organismus také není rozhodující směr působení.

Pro vyjádření velikosti energie přenášené elektromagnetickou vlnou je zavedena výše zmíněná veličina S hustota zářivého toku [Wm^{-2}] – velikost Poyntingova vektoru. Pro jednoznačné určení daného vektoru stačí znát jeden ze tří základních parametrů elektromagnetické vlny (S , E , H popř. B), všechny ostatní lze jednoznačně dopočítat. Je-li elektromagnetické záření tvořeno postupnou elektromagnetickou vlnou, ve které je vektor intenzity elektrického pole E kolmý na vektor intenzity magnetického pole H , platí mezi vektory vztah $H^2 = E^2 Z^{-1}$. Hodnota impedance Z pro vakuum je rovna $120\pi \Omega$ [15].

Energii pulsu, který bude působit na fantom lidského těla (1 m^2 s impedancí $Z = 350 \Omega$) lze pak vyjádřit [18]:

$$W_0 = \frac{E_0^2}{Z} \int_0^\infty e^{-\alpha t} - e^{-\beta t^2} dt = \frac{E_H^2 + E_V^2}{Z} \frac{(\beta - \alpha)^2}{2\alpha\beta(\alpha + \beta)} \approx 0,9 \text{ Jm}^{-2}$$

Numerický výpočet vychází z předpokládaného průběhu EMP, který má definované konstanty dle standardu RFEM*. Hodnoty konstant jsou $\alpha = 4 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$, $\beta = 4,76 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$, $E_H = 50 \text{ kVm}^{-1}$, $E_V = 15 \text{ kVm}^{-1}$.

Závěr:

Jediný elektromagnetický puls dodá lidskému tělu relativně malou a tím pro organismus neškodnou energii cca 1 Joulu na čtvereční metr. Pro srovnání [15]: Hustota zářivého toku slunečního záření při zemském povrchu dopadajícího kolmo na rovinnou plochu je přibližně rovná $1\,000 \text{ Wm}^{-2}$ ($\text{W} \approx \text{Js}^{-1}$).

*Biological Effects and Exposure Criteria of Radio Frequency Electromagnetic Fields, Chap. 17, National Council of Radiation Protection Measurements Bethesda, Maryland, 1996.

Kapitola 6

Dopad EMP na elektrotechnické součástky a zařízení

Ověřovaná hypotéza: Moderní elektronické součástky jsou náchylné k poškození elektromagnetickým polem a pulsem.

Citlivost elektronických zařízení na naindukované výkony z elektromagnetického pole se pohybuje již od $5 \cdot 10^{-6} J$ u mikrovlnné diody, přes tranzistory FET (tranzistory řízené elektrickým polem), bipolární tranzistory, zesilovací tranzistory, usměrňovací diody, výkonové usměrňovací polovodičové diody, až po $5 \cdot 10^{-2} J$ u vakuových součástek (elektronky).

Z těchto poznatků o citlivosti zařízení a možnosti elektromagnetické indukce je zřejmé, že vždy především záleží na druhu sběrače (antény). Citlivý systém připojený na nekvalitní sběrač může být méně poškozen než odolnější zařízení s kvalitní anténou.

V teoretickém případě shodné kvality sběrače lze sestavit seznam zařízení podle stupně citlivosti na EMP:

Velmi citlivé zařízení Slaboproudé vysokorychlostní číslicové počítače, jak tranzistorové tak vakuové součástky (v provozním stavu).

Systémy s tranzistory nebo s usměrňovači z polovodičových součástek (křemíkové, germaniové i seleniové): především počítače a PLC, energetické zdroje, polovodičové součástky počítačových sítí, zabezpečovací a telekomunikační zařízení včetně řízení dodávek energií.

Citlivé zařízení Odolnější vakuové součástky, které neobsahují polovodičové usměrňovače.

Systémy, které využívají relé a přepínače: indikátory, systémy podpory života, inter-

com, telekomunikační a zabezpečovací zařízení.

Nebezpečná elektronická zařízení: detonátory, čerpací zařízení, pyrotechnické vybavení.

Rozvodná elektrická soustava a systémy transformace energie.

Méně citlivé zařízení Vysokonapěťové zařízení: samotné transformátory, rotační motory, tepelné obvody, vzduchem izolované silové kabely.

Elektromagnetický puls je ve svém přímém působení pro lidský organismus neškodný. Zcela jiná situace nastává, je-li organismus v dotyku s vodivou součástí, na které je možnost elektromagnetické indukce. Princip tohoto jevu vychází z výše vypsanych Maxwellových rovnic.

Za hlavní ohniska zájmu je možné považovat součásti typu (řazeny dle významu [25]):

Dlouhá vedení, potrubí, vodivé velké antény, přírodní a odvodní kabely k anténám, věže nadzemních dodávek elektřiny a telefonního spojení.

V budovách se pak jedná o kovové struktury budov, tyčové výztuže, střechy z vlnitých plechů a kovové ploty.

Speciální skupinou zájmu řešení indukce jsou železniční tratě a povrchy bojové techniky.

Velmi citlivé součástky – zařízení s přímým dopadem na životní funkce organismu (např. kardiostimulátory).

Je-li například schopna jedna EMP vlna (generalizovaného průběhu) na 500 m dlouhé vedení ve výšce 10 m naindukovat dotykovou energii až 1KW [18], je zřejmé že citlivá zařízení (např. tranzistory typu MOSFET) nemohou odolat zničení.

Předpoklad:

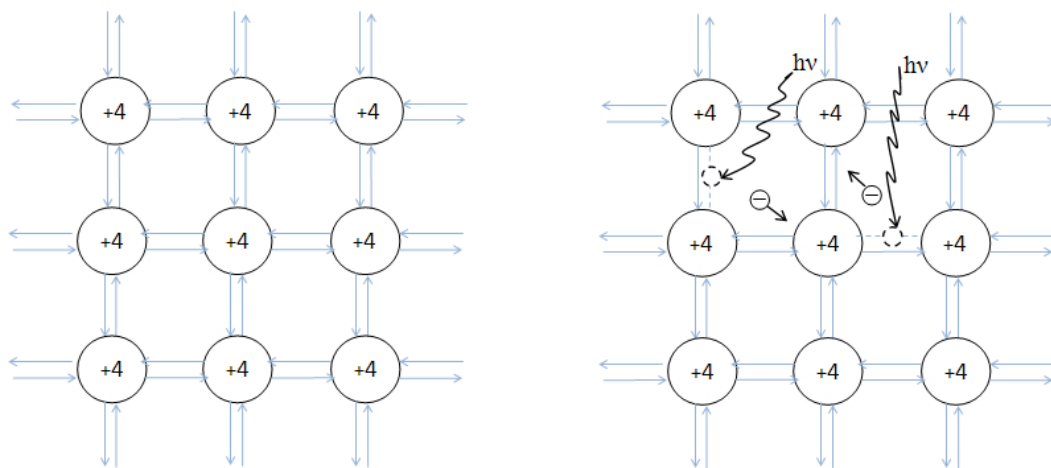
Převodní charakteristiky běžného bipolárního tranzistoru budou ovlivněny přítomností slabého magnetického pole. Samotný tranzistor bude nefunkční i po velmi krátkém vystavení působení elektromagnetického pole.

6.1 Dopad EMP na polovodiče

Pro pochopení možnosti ohrožení elektromagnetickým polem dnes nejčastěji používaných elektronických součástek (ať se již jedná o klasické bipolární či unipolární tranzistory či komplikované integrované obvody) je nutné se zaměřit na principiální vlastnosti polovodičových součástek. Základním prvkem pro polovodičové technologie je samotný polovodič typu N, P, degenerované polovodiče N^+ , P^+ , popřípadě jejich kombinace a přechody s kovy.

Základními polovodivými prvky jsou prvky IV. skupiny periodické soustavy prvků. Uhlík (diamant), křemík, germanium, cín a olovo. Tyto prvky mají ve valenční sféře čtyři elektrony a jejich atomy jsou vázány kovalentní vazbou, která je tvořena čtyřmi dvojicemi elektronů, do pravidelné krystalové mřížky (tvořím monokrystal). Šířka zakázaného pásma těchto prvků klesá se vzrůstající atomovou hmotností ($C \approx 5 \text{ eV}$, $Si \approx 1,12 \text{ eV}$, $Ge \approx 0,72 \text{ eV}$, $Sn \approx 0,3 \text{ eV}$, $Pb \approx 0,1 \text{ eV}$ [12]).

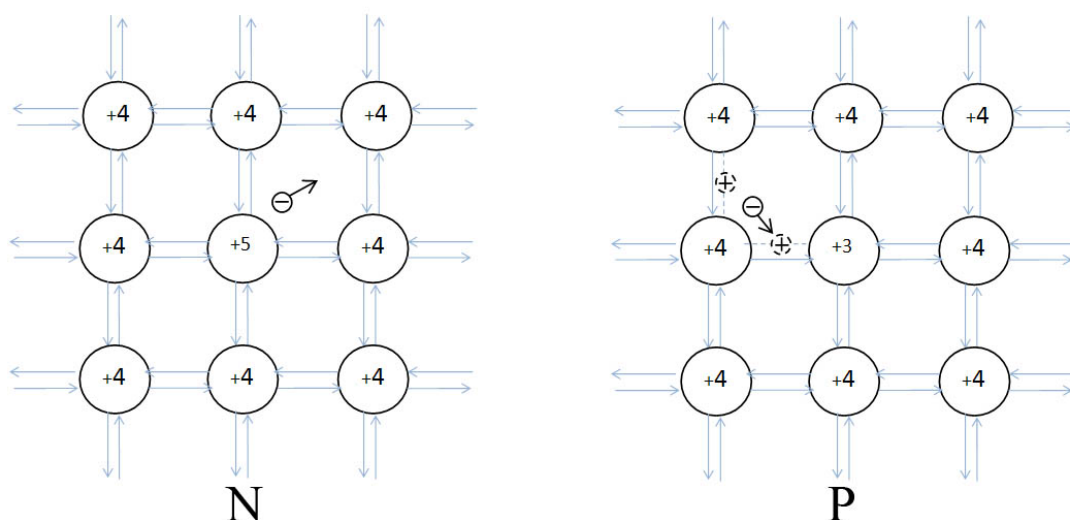
K uvolnění elektronu od atomu polovodiče dochází po přestupu elektronu z valenční do vodivostní sféry, tj. po překonání zakázaného energetického pásu. Aby mohl elektron zakázaný pás překonat musí atom přijmout určité kvantum energie ve formě tepla nebo záření. V podmínkách záření u jaderných událostí může dojít k tak masivnímu předání energie, že se naruší samotná struktura krystalové mřížky polovodiče. Oproti tomu při teplotě absolutní nuly zaujímají elektrony valenční sféry polohy na oblastech nejbližších jádru a jsou ve vazbách pevně vázány. Valenční sféra je velmi pevná, neboť je v součinnosti s okolními atomy doplněna na osm elektronů (tzv. nasycená kovalentní vazba). Protože jsou všechny valenční elektrony atomů v těchto vazbách využity, nezbyvá žádný elektron k vedení elektrického proudu. V důsledku toho je za těchto podmínek vodivost polovodiče nulová (viz model kovalentní vazby A).



Obrázek 6.1: Model kovalentní vazby atomů čistého čtýřmecného polovodiče při A) absolutní nule B) s vnější energií.

Je-li do čistého polovodiče dodána energie (např. světelné záření – viz model kovalentní vazby B) dostatečné velikosti (dovolí elektronům překonat zakázaný pás), dojde k rozbití některých vazeb. Uvolněné elektrony se volně pohybují krystalovou mřížkou a umožňují vedení elektrického proudu. Ve vazbě, ze které byl elektron uvolněn, zbývá volné místo tzv. díra. Protože nenasycená vazba má snahu se opět zaplnit na osm elektronů, působí díra na okolní náboje jako kladný náboj stejné velikosti jako náboj elektronu. K zaplnění díry může dojít buď přetažením některého volného elektronu (zánik náboje – spojení díra, elektron tzv. rekombinace), nebo tím, že v důsledku pohybu krystalové mřížky se v určitém okamžiku přiblíží některý ze sousedních atomů natolik, že dojde k vytržení elektronu z některé jeho vazby. Pohyblivost děr krystalovou mřížkou je až čtyřikrát pomalejší než pohyblivost elektronů. Vodivost podmíněná vznikem volně pohyblivých párů nosičů náboje elektron-díra v důsledku rozbíjení vazeb mezi atomy čistého polovodiče se nazývá vlastní (intrinzická) vodivost polovodiče. Je zřejmé, že vlastní vodivost polovodiče se vzrůstající teplotou roste.

Vodivost krystalů mohou změnit i nepatrné příměseniny, tj. znečištění krystalu cizími atomy nebo ionty. Tyto atomy se nazývají nečistoty popř. neryzosti. Zvětšení vodivosti lze zaznamenat již v případě, kdy jeden atom příměsi připadá na 10^{10} atomů základního polovodiče [12]. Mimo příměsí lze vodivost polovodiče také zvýšit poruchami v krystalové mřížce. Jsou-li v polovodiči přidány nečistoty záměrně je změna vodivosti popsána jako nevlastní vodivost. Ta je v podstatě možná ve dvou variantách (negativní N a pozitivní P). V látkách obsahujících příměsí působí vždy vlastní i nevlastní vodivost.



Obrázek 6.2: Model polovodiče s nevlastní vodivostí typu N a typu P

6.1.1 Polovodič typu N

Jsou-li v krystalové mřížce čistého čtyřmocného polovodiče některé jeho atomy nahrazeny pětímocným prvkem (např. P, As, Sb), využijí se do čtyř dvojic elektronů, které tvoří nasycenou kovalentní vazbu atomů monokrystalu, pouze čtyři z pěti valenčních elektronů příměsi. Pátý elektron, který se vazby neúčastní, je poután k jádru velmi volně. K jeho uvolnění většinou postačuje i běžná tepelná energie látky. Uvolněné elektrony pětímocných příměsí (tzv. donorů) se pohybují prostorem krystalové mřížky. Svým pohybem tak umožní vytvořit vodivost zprostředkovanou pohybem záporných (negativních) nábojů, která se nazývá nevlastní vodivost typu N.

6.1.2 Polovodič typu P

Jsou-li v krystalové mřížce čtyřmocného polovodiče některé jeho atomy nahrazeny třímocným prvkem (např. B, Al, Ga, In), chybí jeden elektron k tomu, aby se mohla vytvořit nasycená kovalentní vazba vytvořená ze čtyř dvojic elektronů. Volné místo se pak chová jako pohyblivý kladný náboj. Tento náboj tzv. díra pak umožňuje vedení elektrického proudu látkou. Vodivost vytvořená popsáním způsobem, která využívá k vedení elektrického proudu pohybu kladných (pozitivních) nábojů, se nazývá nevlastní vodivost typu P.

6.1.3 Přechod PN

Jsou-li na destičce z monokrystalu polovodiče dvě různě dotované části (jedna má nevlastní vodivost typu N a druhá typu P), je místo, kde se mění vodivost, označováno za PN přechod. Z atomů příměsí vznikly v krystalové mřížce pevně vázané jednomocné ionty, které se nemohou zúčastnit vedení elektrického proudu. Průchod proudu krystalem však mohou působením svého elektrostatického pole velmi podstatně ovlivnit.

Vlastnosti polovodičové součástky ovlivňuje rozložení elektronických hladin v krystalu. Jak vyplývá z vlastností intrinzického i příměsemi umocněného extrinzického polovodiče, je pro jejich chování v podmínkách EMP či tepelných změn velmi podstatné umístění tzv. Fermiho hladiny W_F . Pravděpodobnost obsazení energetických hladin elektrony a děrami se řídí Fermiho-Diracovým statistickým rozdělením [5]

$$f(W, T) = \frac{dn}{DN} = \left(1 + \exp \left[\frac{(W - W_F)}{kT} \right] \right)^{-1}$$

kde dn je počet elektronů v intervalu $(W+dW)$ a dN je počet možných energetických stavů v témž intervalu.

Fermiho hladina se dá definovat pro neutrální monokrystal jako energetická hodnota, která leží uprostřed mezi valenčním a vodivostním pásmem (má poloviční pravděpodobnost obsazení při $T > 0K$). Při teplotě blížící se absolutní nule odděluje obsazené a neobsazené hladiny a u vlastních polovodičů leží uprostřed zakázaného pásu, u vodičů je to nejvyšší ještě obsazená hladina. U polovodičů typu N se hodnota této hladiny přiblíží k vodivostnímu pásu a u polovodičů typu P k valenčnímu pásu. Pro PN přechod je equilibrium Fermiho hladiny konstantní napříč přechodem.

Platí [5], že koncentrace nosičů je oproti středu zakázaného pásu W_i dána vztahy pro N_d (donory) N_a (akceptory)

$$N_d = n_i \exp \left[-\frac{(W_i - W_F)}{k_B T} \right] , \quad N_a = n_i \exp \left[-\frac{(W_F - W_i)}{k_B T} \right]$$

Ve zjednodušeném případě intrinzického polovodiče v termodynamické rovnováze platí [35] pro koncentraci nosičů náboje s efektivní hmotností m_c (elektrony) a m_v (díry)

$$N_c(T) = \frac{1}{4} \left(\frac{2m_c k_B T}{\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$N_v(T) = \frac{1}{4} \left(\frac{2m_v k_B T}{\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

U vlastního, intrinzického polovodiče jsou hustoty stejné ($n_c(T) = n_v(T) = n_i(T)$), tedy platí $n_i = \sqrt{n_c n_v}$. Po dosazení, pro šířku zakázaného pásu $\Delta E = \varepsilon_c - \varepsilon_v$, vyjde [16, 18]:

$$n_i = \sqrt{N_c P_v} e^{-\frac{\Delta E}{k_B T}}$$

$$n_c = n_v = 2 \left(\frac{k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} (m_c m_v)^{\frac{3}{4}} e^{\frac{-\Delta E}{2k_B T}}$$

Z těchto vztahů vyplývá důležitost vlivu teploty (i ostatních možností dodání vnější energie do polovodičové struktury) na elektrotechnické součástky využívající PN přechod. Tento vliv lze dobře demonstrovat na měření vlastností voltampérové charakteristiky polovodičových součástek pro změnu teploty při stanovení Boltzmannovy konstanty k_B .

Viz příloha – Stanovení Boltzmannovy konstanty pomocí voltampérové charakteristiky PN přechodu

6.2 Dopad EMP na tranzistory

Tranzistor je polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN. Podle druhu výroby lze tak pro aplikace využít tranzistor typu NPN či PNP. Jedná se v podstatě o spojení dvou polovodičových diod v jedné součástce, většinu vlastností tranzistoru však dvojicí diod nahradit nelze. Tranzistorový efekt byl objeven a tranzistor vynalezen 16. prosince 1947 v Bellových laboratořích týmem ve složení William Shockley (1910 – 1989), John Bardeen (1908 – 1991) a Walter Brattain (1902 – 1987). Za tento objev jim byla roku 1956 udělena Nobelova cena za fyziku.

Základní rozdělení tranzistorů je možné do dvou skupin – Bipolární (řízený elektrickým proudem) – Bipolar Junction Transistor – BJT a Unipolární (řízený elektrostatickým polem) – Field Effect Transistor – FET. Technologii unipolární tranzistorů lze dále dělit na:

- JFET (Junction Field-Effect Transistor) Tranzistor s přechodovým hradlem
- MESFET (MEtal Semiconductor FET) FET ve spojení se Schottkyho diodou (přechod kov-polovodič)
- MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET) je polem řízený tranzistor, kde je vodivost kanálů mezi elektrodami Source a Drain ovládána elektrickým polem ve struktuře kov-oxid-polovodič.
- MISFET (Metal Insulation Semiconductor FET)
 1. S indukčním kanálem
 2. S vodivým kanálem

6.2.1 Unipolární tranzistor

Unipolární tranzistor je polovodičová součástka skládající se z polovodičů typu N a P. Oproti bipolárnímu tranzistoru má jednu základní výhodu. Bipolární tranzistor potřebuje ke své činnosti výkon do báze (v zapojení se společným emitorem) nebo emitorového (v zapojení se společnou bází) obvodu. Z principu funkce bipolárního tranzistoru plyne, že primární veličinou ve vstupním obvodu je proud, který teče buď do báze (zapojení SE) nebo do emitoru (zapojení SB) bipolárního tranzistoru.

To neumožňuje integrovat větší množství (řádově tisíce) bipolárních tranzistorů na jediném čipu, neboť vzniklé Jouleovo teplo není miniaturní čip schopen odvést. Bipolární

tranzistory se proto používají zejména v analogových integrovaných obvodech, kde není tak vysoká hustota integrace, a v číslicových obvodech malé a střední hustoty integrace.

Pro obvody s vysokou hustotou integrace je potřeba tranzistor, jehož vstupním obvodem neteče proud (je řízený napětím, podobně jako elektronka). A to jsou tranzistory řízené polem – FET. Jejich princip je značně odlišný od principu bipolárního tranzistoru. Řídící elektrodou tranzistorů typu FET teče buď jen velmi malý proud ekvivalentní proudu diody v závěrném směru, nebo je tato řídící elektroda izolovaná od řízeného obvodu vrstvičkou SiO_2 , takže jí neteče prakticky žádný proud (má odpor cca $10^{12}\Omega$) [32].

Z pohledu problematiky vlivu elektromagnetického pole prostředí redukuje matematický popis vlastností FET na popis závislosti proudu na vstupních napětích [24, 17, 14] pro ideální strukturu (homogenní monokrystal, planparalelní elektrody, požadovaná technologie zpracování, apod.). Poměr potenciálu elektrického pole V v tomto idealizovaném a zjednodušeném případě je možné popsat s dostatečnou přesností pro vakuum tzv. třípolovinovým zákonem a Poissonovou rovnicí

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{\varrho(x, y, z)}{\varepsilon_0 \varepsilon}$$

která dává řešení, do něhož vstupují veličiny a, z, l (fyzikální rozměry přechodu), N_D (koncentrace donorů), q (elektrický náboj) a μ (materiálová konstanta). Řešení lze např. podle [5] napsat ve tvaru

$$i_D = \frac{2azq\mu_N N_D}{l} u_{DS} \left[1 - \frac{2}{3} \frac{U_0}{u_{DS}} \left(\frac{u_{GS} + u_{DS}}{U_0} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2} \frac{U_0}{u_{DS}} \left(\frac{u_{GS}}{U_0} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

Proud drainu dosahuje nasycení (derivace i_D podle u_{DS} je nulová) pro $U_{DS} = U_0$. Strmost (parametr y_{21}) v oblastech nasycení rozhoduje o zesilovacích možnostech JFET. Z těchto rovnic a z principiálního hlediska plyne důkaz, že jsou tak moderní unipolární tranzistory FET mnohem náchylnější k poškození (nestabilita pracovního bodu až zničení) v důsledku teplotních vlivů, vlivů elektromagnetického a především elektrostatického pole než klasické bipolární tranzistory. Unipolární tranzistor je však z výše zmíněných důvodů možností vyšší integrace základem všech dnešních integrovaných obvodů, jako např. procesorů, pamětí atd. Integrované obvody tvoří v dnešní době základ i pro komunikační technologie.

Závěr:

Moderní elektronická zařízení jsou skutečně náchylnější k poškození EMP pulsem. Při vytvoření EMP či HEMP (SEMP) v důsledku nukleární bomby je velká pravděpodobnost, že dojde k totálnímu zničení ICT. I v případě, že nedojde ke zničení samotných přijímačů (např. ochrana Faradayovou klecí), dojde k indukci tak vysokých energií na vysílacím zařízení, že nebude možné komunikaci udržet (mimo výjimek, jako např. chráněné optické spoje).

V důsledku útoku s účastní radiačních materiálů bez vzniku EMP (např. špinavá bomba) dojde k lokálnímu narušení ICT spíše v důsledku teplotní závislosti a v důsledku narušení struktury přechodů integrovaných obvodů z energií ionizujícího záření.

Část III

Komunikace

Kapitola 7

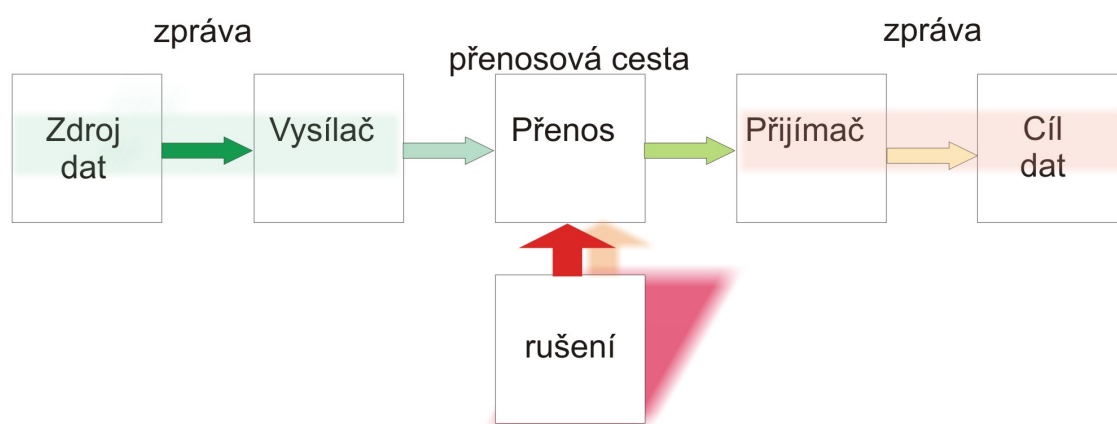
Komunikační teorie

Ověřovaná hypotéza:

Komunikace po útoku bez poškození ICT je vedena nejen vertikálně (masmédia a vládní prohlášení), ale i horizontálně (ICT technologie jako komunikační nástroj mezi občany).

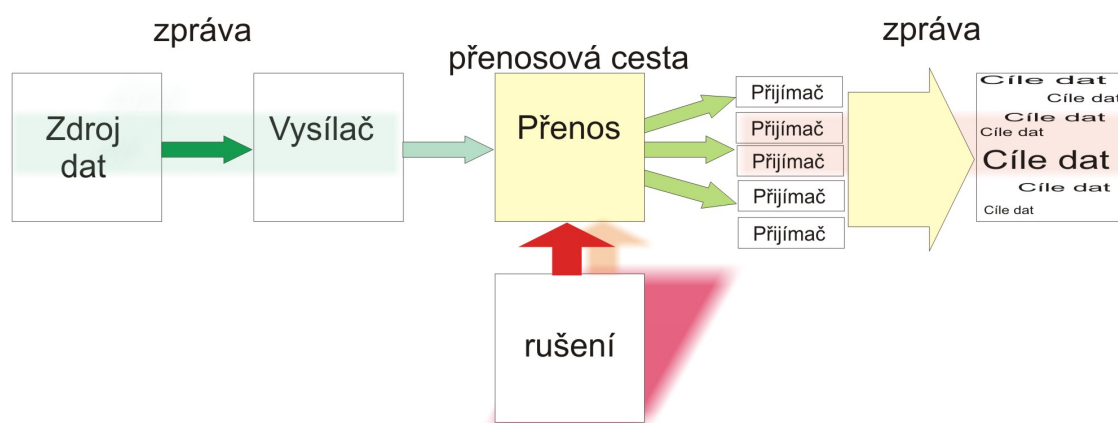
Komunikace je proces, kterým jsou vyměňovány informace mezi entitami skrze běžné systémy symbolů, znaků a chování. [21]

Z vývojového hlediska lze komunikaci dělit na interpersonální a masovou. Lze ukázat, že s postupem vývoje společnosti a její technickou a technologickou vyspělostí je značný posun od komunikace jednotlivých osob k masové komunikaci. Rychlost přenosu zpráv je v dnešní době omezena pouze fyzikální hranicí. Lidstvo je schopno šířit data rychlostí světla a takřka neomezenému počtu příjemců. Přenosová cesta na libovolném médiu se nechá popsat přenosovým modelem daného druhu komunikace.



Obrázek 7.1: Přenosový model interpersonální komunikace

S nástupem moderních technologií je definován termín masová komunikace, který se používá k popisu vědních studií o komunikaci, kde lidé či entity přenášejí informace velké části populace najednou skrze hromadné sdělovací prostředky – tzv. masmédia. Mezi nejrozšířenější masová média patří periodický tisk, rozhlas, televize a internet. [28]



Obrázek 7.2: Přenosový model masové komunikace

Historickým problémem masmédií byla vždy otázka odpovědnosti. S příchodem internetu se charakter této otázky výrazně změnil – zatímco zhruba do konce 20. století získával jedinec možnost prezentovat své myšlenky v masmédiích na základě výběrových kritérií, resp. vytvoření ekonomicky významné osobní pozice, je dnes přístup do masmédií umožněn širokým vrstvám obyvatel.

To na jedné straně rozšiřuje rozsah svobody slova, na druhé straně omezuje možnosti společenských elit usměrňovat vývoj společnosti a usnadňuje šíření nepravdivých, resp. cíleně lživých informací, které mají negativní důsledky pro život jedinců. [28]

Definujeme-li model jako strukturu symbolů a operačních pravidel, jež tvoří z nějakého hlediska sadu relevantních bodů v existující struktuře či procesu, je možné mimo modelů samotných přenosových cest vytvořit komunikační modely, které slouží k vizualizaci a analýze problémové situace vždy z určitého hlediska. Popisují způsob, jak individua "zpracovávají" sociální realitu, ve které žijí.

Komunikační modely pak mají funkce [31]:

1. organizační (uspořádání, výběr a popis dat)
2. heuristickou (nový pohled na vztahy mezi prvky)

3. prediktivní (předpověď dopadu informace)
4. kvantitativní (měření, klasifikace)

Tyto modely jsou v podstatě tři základní a jeden rozšiřující (revidovaný):

Shannona a Weavera (1949) Primárním hlediskem je efektivnost procesu.

Popis komunikační cesty: informační zdroj – nosič (médiu) – signál – kanál (+ šum) – přijímač – přijatý signál – rekonstrukce původního sdělení – cílový stav.

Z tohoto modelu vycházejí v této práci zobrazené modely přenosových cest.

Harolda D. Lasswella (1948) Primárním hlediskem je jednosměrné přesvědčování.

Popis komunikační cesty: kdo mluví (komunikátor) – co říká (sdělení) – jaké prostředky používá (médiu) – na koho se obrací (přijímač) – jakého účinku dosahuje (účinek)

Romana Jakobsona (1960) Hlediskem jsou funkce komunikace podle dominance jednotlivých prvků.

Popis horizontální komunikační cesty: mluvčí (emotivní funkce) – sdělení (poetická funkce) – adresát (konativní funkce)

Popis vertikální komunikační cesty: kontext (poznávací, referenční funkce) – kontakt (fatická funkce) – kód (metajazyková funkce)

Twaitsův – Jakobsonův revidovaný model (1994) Hlavním hlediskem je důslednější oddělení strukturálních komponent komunikace a jejich funkcí.

Popis horizontální komunikační cesty: funkce oslovení, která zahrnuje: adresanta (expresivní funkce) – kontakt (fatickou funkce) – adresáta (konativní funkce)

Popis vertikální komunikační cesty: funkce označování, která zahrnuje: obsah (referenční funkce) – kód (metajazykovou funkce) – formu (formální funkce) – situaci (kontextuální funkce)

7.1 Teorie informace

Pro korektní zařazení pojmů v informačních a komunikačních technologiích je třeba definovat základní pojmy.

Pojem *data* vyjadřuje popis stavu objektu a jeho chování v časovém toku, vyjádřené v číslicové formě. Mohou vzniknout jako údaje pořízené z výstupů měřících přístrojů, senzorů nebo technologických procesů popř. prostým zadáním údaje do datového prostředí. Data jsou matematickým popsáním hodnoty, která vyjadřuje velikost shannonovy entropie. Vyhodnocením, *převody* a *tříděním* dat vznikne *zpráva*.

Chceme-li zprávu zaznamenat, přenést nebo jakýmkoli způsobem zpracovat, musím mít zpráva materiálního nositele. Základní rozlišitelné prvky zprávy nazýváme *symboly*. Různé symboly musí být charakterizovány změnami fyzikálních veličin. Jestliže jsou symbolům přiřazena grafická znázornění jsou označovány za *znaky*. Souborem těchto znaků je *abeceda*.

Fyzikální veličina, která slouží k zobrazení zprávy a vytvoření symbolů abecedy, je definována jako *signál*. Stejnou zprávu lze vyjádřit pomocí různých abeced. Transformace zprávy vyjádřené pomocí jedné abecedy na zprávu vyjádřenou pomocí druhé abecedy je nazývána *kódováním*. Tím ovšem nesmí být změněn vztah mezi symboly zprávy a okolním světem tzv. *informace*. Informace vyjadřuje matematický popis velikosti potenciálu (rozdílu) entropií vstupních a finálních dat. [16]

Informaci lze tak chápat jako vztah mezi symboly zprávy nebo mezi symboly a okolním světem.

Tyto vztahy jsou nejméně tři:

- Strukturní vztah mezi symboly

Zkoumáním těchto vztahů se zabývá teorie *syntaktické informace*.

- Vztahy mezi symboly ve zprávě a významem přiřazených těmto symbolům

Tímto se zabývá teorie *sémantické informace*.

- Vztahy mezi symboly a okolním světem omezené na užitek uživatele

Tzn. konečnou otázkou užitku, který přináší uživateli přiřazení významu symbolům dané zprávy, nebo otázkou jakou hodnotu přikládá uživatel významu dané zprávy.

Obor teorie *pragmatické informace*.

Všechny interakce jsou velmi důležité a mají zásadní vliv na pochopení obsahu zprávy, zvláště je-li informace přenášena za mimořádné či kritické situace. Mimo těchto vztahů je nutné mi-

nimálně zmínit vlastnosti komunikační cesty (tzv. kanál). Za komunikační (přenosový) kanál je považován řízený systém, na jehož vstupy přichází jak užitečný signál u tak i nežádoucí signály (porucha, šum). Úkolem takového systému je dostatečně přesně zobrazit informaci nesenou signálem u na výstupní signál y a to bez ohledu na stav přenosové techniky.

Pro přenos zprávy přenosovým kanálem můžeme uvažovat tři varianty přenosu:

1. Přenos bez poruch, informace na vstupu kanálu se beze změn přenesou na výstup
2. Přenos s poruchami, část přenášené informace bude nahrazena poruchami, případně se k dané informaci přidají poruchy
3. Přenos se z důvodu silného zarušení nebo poruchy kanálu vůbec neuskuteční

Je zřejmé, že za mimořádných či krizových situací jsou nároky na komunikační kanál z principu jiné, než za běžné situace. Nejsou-li tak přenosové kanály porušeny přímo fyzikálním působením okolí, jsou na ně kladeny naddimenzované požadavky. Cílem přenosové cesty je v takové situaci zachovat alespoň částečnou funkčnost a dokázat zvládnout vybrat a uskutečnit prioritní přenosy.

Kapitola 8

Podmínky skupinové komunikace

Pro zařazení pojmu *komunikace* do kontextu moderní informační společnosti je třeba nejdříve definovat podmínky za kterých k ní dochází. Je zcela rozdílná interpersonální komunikace mezi jednotlivci v klidném prostředí či za podmínek davového shromáždění. Je zcela rozdílná komunikace s možností využití všech obvyklých informačních a telekomunikačních zařízení včetně mobilní telefonie, oproti komunikaci bez možnosti jejího využití.

Za mimořádných či krizových podmínek je komunikace navíc zatížena i specifickým chováním jednotlivce či davu, přetíženými telekomunikačními spoji či jejich prostou neexistencí. V těchto podmínkách je někdy velmi těžké zachovat tzv. kritickou infrastrukturu informačních systémů [34], natož běžnou občanskou komunikaci (navíc zatíženou zvýšenou potřebou kontaktovat příbuzné či známe).

8.1 Dav

V běžném smyslu znamená slovo *dav* shromáždění jakýchkoliv jedinců bez ohledu na jejich národnost, povolání nebo pohlaví a bez ohledu na náhodu, která je svedla dohromady. [3] Z psychologického hlediska má však takové shromáždění lidí nové vlastnosti, které se značně liší od vlastností jedinců ze kterých se skládá. Je dokázáno, že psychologie lidí v davu se zásadně liší od jejich psychologie individuální a ani rozum či vzdělání je nemůže tohoto rozdílu zbavit. Rozum ve skupinách nehraje žádnou podstatnou úlohu. Působí v nich pouze neuvědomělé city.

Jakmile se utvoří psychologický dav, nabývá sice dočasných, ale přesně stanovitelných obecných vlastností. K nim pak ještě přistupují zvláštní vlastnosti, měnící se podle prvků ze kterých se dav skládá a které mohou pozměnit jeho duševní strukturu. Psychologické davy lze tedy rozdělit do několika kategorií:

1. Davy různorodé:

- (a) Anonymní (např. pouliční dav)
- (b) Neanonymní (např. poroty, parlamenty, apod.)

2. Davy stejnorodé:

- (a) Sekty (sekty politické, náboženské, atd.)
- (b) Kasty (kasta vojenská, kněžská, dělnická, atd.)
- (c) Třídy (třída měšťanská, selská, atd.)

Charakteristické známky davu jsou například ztráta uvědomělé osobnosti, zaměření citů a myšlenek stejným směrem. Logické uvažování a inteligence davu klesá na úroveň primitivního jedince, zatímco tendence a schopnost k uskutečňování činů se podstatně zvyšuje. Jen tím, že je částí davu, sestupuje člověk na žebříku civilizace o několik stupňů níže.

Osamocen byl snad vzdělaným člověkem, v davu je bytostí pudovou, a proto barbarem. Má bezděčnost, prudkost, divokost a také nadšení a hrdinství primitivních bytostí. A blíží se jim dále i snadností, s jakou na sebe nechá působit slovy a představami, a jak se dává svést k činům, poškozujícím jeho nejvlastnější zájmy.

– Gustave Le Bon –

Nejnápadnějším jevem, kterým se projevuje psychologický dav, je jakási kolektivní duše. V davu nezáleží na vzdělání, sociálním či pracovním postavení ve společnosti. Tato duše způsobuje, že jedinci v davu cítí, myslí a jednají naprosto odlišně, než by každý z nich cítil, myslel a jednal, kdyby byl sám. Nedomáhá se k pouhému sčítání prvků, ale k jejich kombinaci a utvoření nových vlastností.

Vznik zvláštních vlastností davů určují různé příčiny:

1. příčinou je, že jedinec nabývá v davu již pouhou skutečností, že je součástí většího počtu lidí, pocit nepřekonatelné moci, která mu dovoluje povolit pudům, jež by osamocen nezbytně potlačil. Jestliže je dav anonymní, a proto nezodpovědný, ustoupí jedinec těmto instinktům tím spíše, že úplně mizí pocit zodpovědnosti, který ho jinak vždy zdržuje či svazuje. To, čím se liší, jsou prvky uvědomělé, jež jsou výsledkem výchovy, nejčastěji však výjimečné dědičnosti.

Lidé velmi rozdílné inteligence mají často totožné pudy, vášně a city. Ve všem, co je předmětem citu: v náboženství, politice, v mravnosti, v náklonnostech, antipatiích

atd., zřídka vynikají i nejznamenitější lidé nad úroveň prostých jedinců. V kolektivní duši se stírají intelektuální schopnosti lidí – a tím také jejich individualita.

2. příčinou je duševní nákaza, jež rovněž podmiňuje u davů projev zvláštních vlastností a určuje zároveň i jejich směr. Le Bon tvrdí, že v davu je každý čin a cit nakažlivý, a to do té míry, že jedinec velmi často obětuje svůj osobní zájem zájmu kolektivnímu. Je to vlastnost, která je přímo protichůdná jeho přirozené povaze a člověk je jí schopen výhradně jako součást davu.
3. příčina je zdaleka nejdůležitější, protože podmiňuje v davovém jedinci zvláštní vlastnosti, naprosto odporující vlastnostem osamoceného jedince. Touto příčinou je sugestibilita. Pozorování svědčí o tom, že jedinec, který je nějakou dobu uprostřed jednajícího davu, je brzo přiveden – působením proudění, které z davu vychází nebo z jakékoliv jiné nám neznámé příčiny – do zvláštního stavu.

Tento stav je přirovnáván ke stavu, který je podoben onomu, do něhož se dostane hypnotizovaný v rukou hypnotizéra. "Jelikož život mozku je u hypnotizovaného paralyzován, stává se tento otrokem všech svých nevědomých činností, které hypnotizér ovládá podle své libosti. Vědomá osobnost zmizela a vůle a úsudek jsou ztraceny. City a myšlenky jsou zaměřeny směrem, určeným hypnotizérem." Toto je klasické přirovnání, díky kterému je možno do určité míry objasnit působení davu na jedince.

Jedinců, kteří by i v davu měli dostatečně silnou osobnost, aby odolali sugesci, je velmi málo, takže jsou strženi proudem. Nanejvýše mohou zkusit odvrácení proudu jinou sugescí. Vhodné slovo nebo v pravý čas vyvolaná představa odvrátily někdy davy od nejkrvavějších činů.

Některé vlastnosti davu:

1. Popudlivost, proměnlivost a dráždivost davů

Na osamoceného jedince mohou působit stejné podněty jako na člověka v davu, ale říká-li rozum, že je nevhodné jim ustupovat, člověk jim nepodlehne. Fyziologicky můžeme tento jev popsat tak, že jedinec je schopen narozdíl od davu ovládat své reflexy.

Různé popudy, kterými jsou davy ovládány, mohou být podle podnětu vznešené nebo kruté, hrdinské nebo zbabělé, ale budou vždy tak panovačné, že před nimi mizí i pud sebezáchovy. Jelikož podněty, působící na davy, jsou různé a poněvadž se jim skupiny vždy podrobují, jsou davy v důsledku toho velice proměnlivé. Z toho plyne, že mohou v okamžiku přejít od nejkrvavější ukrutnosti k velkomyslnosti nebo heroismu.

Osamocený jedinec dobře ví, že nedokáže sám zapálit palác nebo vyplenit skladiště; pokušení provést takové činy ho sotva napadne. Tvoří-li však součást davu, nabude jedinec vědomí moci, vyplývající z množství, a podlehne prvnímu negativnímu podnětu. Nečekaná překážka bude zuřivě odstraněna. Dá se říci, že normální stav davu, narázivšího na překážky, je zběsilost.

2. Lehkověrnost davů a snadnost, s jakou podléhají sugesci

Dav musí vždy být neobyčejně lehkověrný, protože se pohybuje stále na hranicích nevědomí, podléhá všem sugescím, je prostoupen prudkostí citů, která se vyskytuje u bytostí, jež se nemohou odvolávat na rozumové vlivy. Dav je také zbaven kritického ducha. Rozumová analýza ukazuje, jak jsou obrazy jednání nesouvislé, dav to však nepozoruje a zamění skutečnou událost s tím, co k ní přidala jeho zkreslující obrazotvornost. Dav nerozlišuje subjektivní od objektivního.

3. Přehnanost a zjednodušení citů u davů

Ať jsou city projevované davem dobré nebo zlé, mají vždycky dvě vlastnosti: jsou velmi jednoduché a velmi přehnané. Jednoduchost a přehnanost citů působí, že davy neznají pochybnosti ani nejistotu. Prudkost citů u davů, hlavně u davů různorodých, je ještě zvyšována tím, že skupiny nemají pocit odpovědnosti. Vědomí naprosté beztrestnosti – a to tím silnější, čím je dav početnější – a vědomí značné okamžité moci, způsobené množstvím, dovolují skupině city a činy, jež jsou nepředstavitelné u osamoceného jedince. Přehnanost se u davů projevuje, bohužel, často ve špatných směrech, jež jsou zbytky dědičných pudů primitivního člověka, které musí osamocený a zodpovědný jedinec ze strachu před trestem držet na uzdě. Tak lze vysvětlit, proč se tak snadno dají davy strhnout k nejhorším výstřednostem.

Poněvadž lze dav ovlivnit jen krajními city, musí řečník, který ho chce strhnout, použít silných výrazů. Přehánět, zdůrazňovat, opakovat a nepokusit se nikdy o rozumový důkaz – to jsou obvyklé způsoby argumentace řečníků na lidových schůzích. Není třeba připomínat, že přehánění se vztahuje u davů pouze na city a vůbec ne na inteligenci.

4. Nesnášenlivost, autoritativnost a konzervativnost davů

Davy znají pouze prosté a výstřední city: názory, myšlenky a víry, jež jsou jim vsugerovány, jsou přijímány nebo odmítány jako uzavřený celek a jsou pokládány buď za absolutní pravdy, nebo za absolutní omyly.

Dav je právě tak autoritativní jako nesnášenlivý, jelikož nemá pochybnosti o tom, co má pokládat za pravdu a co za lež, a má na druhé straně velmi určité vědomí síly. Jedinec snese nesouhlas a připustí diskusi – dav nikdy. Sebenepatrnější nesouhlas některého řečníka na veřejných schůzích je ihned přijímán divokým křikem a prudkými útoky, po nichž brzo následuje násilí a vyhození, neustoupí-li řečník od svého tvrzení. Výbuchy vzpoury a ničivosti jsou vždy jen krátké. Davy jsou krajně konzervativní, poněvadž jsou příliš ovládány nevědomím, a protože jsou podrobeny dědičným vlivům.

5. Mravnost davů

Je-li dav schopen vraždy, zhárství a všech druhů zločinů, je právě tak schopen velmi vznešených činů oddanosti a nezištnosti, a to ještě v mnohem větší míře, než osamocený jedinec. Nejvíce působí na jedince v davu, dovoláváme-li se slávy, cti, náboženství a vlasti. Pouhá přítomnost v davu dává velmi často i úplným darebákům schopnost nabýt na okamžik velmi přísných mravních zásad. Jako se davy někdy oddávají nízkým pudům, stejně tak zase jindy podávají příklad vznešených mravních skutků.

Faktory působící bezprostředně na názory davů:

1. Obrazy, slova a formule

Ze studií obrazotvornosti davů je zjištěno, že na něj působí především obrazné představy. Nemáme-li ovšem vždy tyto obrazné představy po ruce, je možno je vyvolat správným užitím slov a formulí.

Moc slov je těsně spjata s představami, jež slova vyvolávají a je úplně nezávislá na jejich skutečném významu. Obyčejně jsou nejpůsobivější právě ta slova, jejichž smysl je nejméně vymezený. (Např. výrazy: demokracie, socialismus, rovnost, svoboda, apod., jejichž smysl je celkově abstraktní.) Proti určitým slovům a formulím nemohou rozumové důvody vůbec bojovat. Jsou slavnostně pronášeny před davy, a jakmile se tak stane, dostanou všechny obličejy uctivý výraz a hlavy se sklánějí.

2. Iluze a zkušenost

Již od dob vzniku civilizací podléhaly davy vždy vlivu iluzí. Davy nikdy nežízní po pravdě; odvracejí se od skutečností, které se jim nelíbí a zbožňují raději klam, když je oslňuje. Jedině zkušenost má dostatek moci, aby ustálila pravdu v duši davů a tak zničila iluze, které se staly příliš nebezpečnými. A i zde je nutné, aby byla zbudována na široké základně a aby byla často opakována.

3. Rozum

Při vyjmenování faktorů, které dovedou působit na duši davů, by bylo možno rozum úplně vynechat, kdyby nebylo nutno ocenit alespoň negativní stránku jeho vlivu.

Na davy nelze působit logickými úvahami. Dav chápe pouze hrubé asociace idejí. Proto se také řečníci, kteří skupiny dokáží ovlivnit, odvolávají vždy jen na city a nikdy na jejich rozum. Zákony rozumové logiky na dav vůbec nepůsobí.

4. Vedení davu – tvrzení opakování

Čisté a prosté tvrzení bez uvažování a důkazů je jedním z nejjistějších prostředků, jde-li o to, aby se nějaká idea ujala v mysli davů. Čím je tvrzení stručnější, čím více je zbaveno jakýchkoliv důkazů a výkladů, tím větší má autoritu. Náboženské knihy a zákoníky všech věků užívaly vždy pouhého tvrzení. Jeho cenu znají velmi dobře státníci, povolání hájit nějaké politické stanovisko, i průmyslníci, doporučující reklamou svoje výrobky. Tvrzení však nabývá skutečného vlivu jenom tehdy, je-li stále opakováno, a to pokud možno týmiž slovy.

5. Pevné přesvědčení

Přesvědčení a názory davů tvoří dvě od sebe velmi odlišné třídy. Na jedné straně jsou veliké a trvalé víry, které se udržují po několik staletí a na kterých spočívá celá civilizace. (Např. kdysi feudální myšlenka, křesťanské a reformační ideje.) Na druhé straně jsou to okamžité a proměnlivé názory, které vyplývají obyčejně z obecných pojetí a jež se rodí a zanikají v každém věku. (Teorie, jež ovládají na chvíli směr v umění či literatuře.)

Dnes je počet proměnlivých názorů davů větší než kdykoli předtím, a hned to ze tří různých příčin.

První je ta, že staré víry ztrácejí stále více svoji moc, a tudíž nepůsobí již tak jako dříve na pomíjivé názory, aby jim daly určitý směr. Zmizení obecných přesvědčení uvolňuje místo pro množství názorů soukromých, které nemají minulost ani budoucnost.

Druhá příčina je ta, že moc davů stále roste, má tudíž stále méně a méně protiváhy, a proto se může volněji projevovat proměnlivost idejí, kterou jsme u nich zjistili.

Třetí důvod je konečně nedávný rozmach tisku, který neustále předkládá davům zcela protichůdné názory. Dojmy, které by každý z nich mohl zanechat, jsou ihned zničeny dojmy protichůdnými. Z toho plyne, že se žádný názor nerozšíří a nemá dlouhého trvání. Zanikne dříve, než se může tak rozšířit, aby se stal obecným.

Z těchto různých příčin pramení zcela nový jev ve světových dějinách, který dobře charakterizuje přítomnou dobu totiž bezmocnost vlád v řízení obecného veřejného mínění a to i přes obrovský nástup technických možností masové komunikace. [3]

8.2 Veřejné cítění

Důležitou stránkou lidského chování, se kterou je nutné při útoku s účastí radioaktivního materiálu počítat, je, že v případě nějaké události či nehody se lidé sbíhají na pomoc. Do doby než je známá přítomnost radioaktivity je tak možné, že se mnoho lidí účastní na průzkumu a pomoci. Navíc, bez řádné kontroly, pak může být těžké zhodnotit a regulovat šíření kontaminace jak lidé vstupují a opouští scénu události. [7]

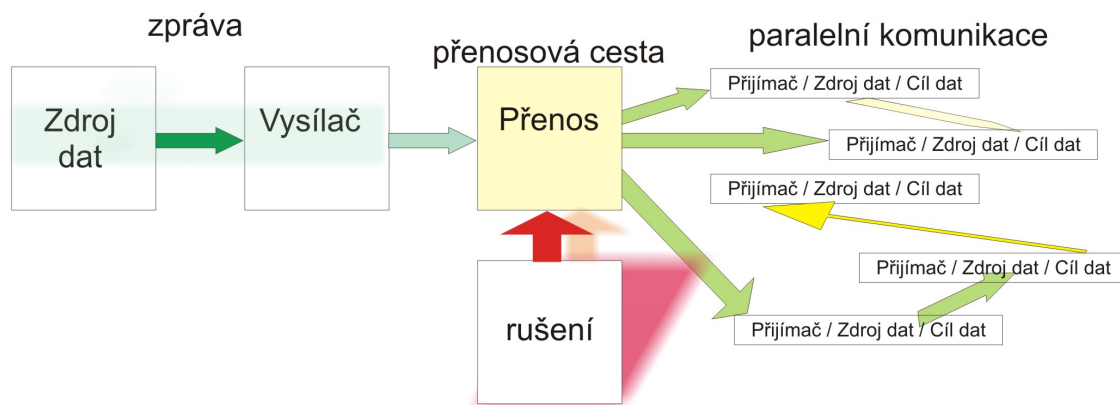
Je také nutné počítat s tím, že mnoho lidí, ať již přímých účastníků či informovaných ze sdělovacích prostředků, přijde do zasaženého místa nabídnout svou pomoc. Typickým projevem solidarity je množství lidí, kteří chtějí darovat krev. V situaci, kdy je nemocnice zatížena příjmem velkého počtu raněných, je však prakticky nemožné uskutečňovat odběry (transport krve i ze vzdálenějších zdravotnických zařízení je rychlejší a efektivnější než okamžitý odběr). Tuto situaci někdy umocní svou výzvou i místní organizace Červeného kříže. Příklad: teroristické útoky v Madridu 11. 3. 2004 podle oficiálních zdrojů bylo spotřebováno 145 jednotek plné krve (z toho 90 v prvních 4 hodinách), 60 jednotek čerstvě mražené plazmy a 75 jednotek krevních destiček. Na toto množství však bylo přijato tisíce dárců v samotném Madridu a 1725 dárců krve v dalších regionech Španělska. [20]

Je nutné počítat s nasazením pořádkových sil na zvládnutí odhodlaného jednotlivce, davu či na pouhé časové prodlevy na vysvětlení, proč není pomoc dobrovolníků již nutná. Komunikace s okolím i se sdělovacími prostředky je oborem pořádkových sil, zdravotnický personál a záchranné týmy nemohou tuto problematiku během zásahu řešit.

8.3 Paralelní komunikace

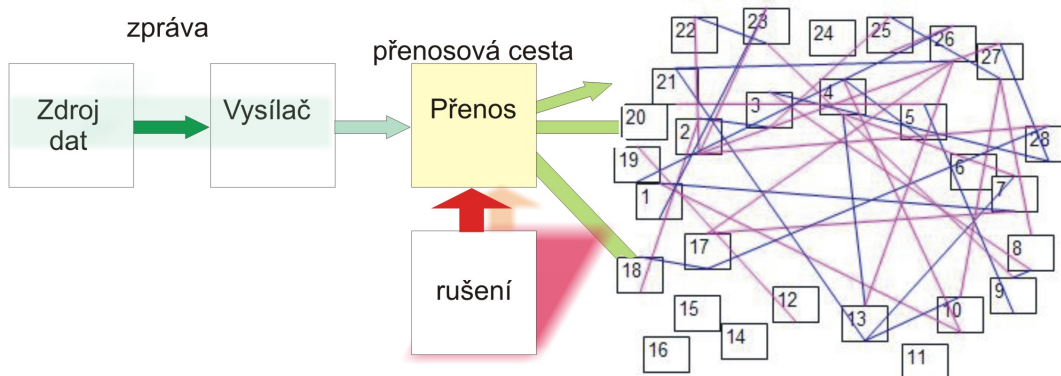
Při šíření zpráv je dnes možnost, kromě výše zmíněného rozdělení na interpersonální a masovou komunikaci, rozdělit komunikaci na paralelní a vertikální. Předání zprávy pomocí přenosových komunikačních cest je klasickým příkladem vertikální komunikace – jeden zdroj předá daným způsobem zprávu jednomu (interpersonální) nebo více (masová) příjemcům. Paralelní komunikace vyjadřuje propojení mezi jednotlivými příjemci, ze kterých se okamžitě stávají i zdroje datových toků. Paralelní komunikace je ve většině případů umocněna použitím

moderních ICT prostředků, není jimi však nutně podmíněna (např. prosté pomluvy). Model přenosové cesty paralelní komunikace není možné již jednoznačně určit.



Obrázek 8.1: Přenosový model paralelní komunikace

Jeden z hlavních důvodů neurčitosti cesty je prostý lidský faktor – není možné předem určit komu bude zpráva předána, ale ani jestli vůbec a popřípadě kolika dalším účastníkům.



Obrázek 8.2: Příklad přenosového modelu paralelní komunikace pro skupinu 27 prvků

Masivní rozšíření komunikačních technologií ovšem vede také k jejich zneužívání. Kromě samotného nástroje komunikace antisociálních skupin vedlo rozšíření ICT také k šíření poplašných zpráv a zpráv typu hoax.

Kapitola 9

Příklad komunikace

Ověřovaná hypotéza:

V případě potřeby předat zprávu v malé sociální skupině pomocí ICT dojde pomocí paralelní komunikace k předání informace minimálně 75 % jedinců skupiny do 48 hodin.

Sociální skupina je specifickým sociálním útvarům, vytvářeným různým počtem jedinců a vždy určitým způsobem tak, že jedinci k sobě patří nebo jsou přiřazováni. Malá sociální skupina je většinou uskupení maximálně deseti jedinců. Jedná-li se však o skupinu formální, dosahuje počet jedinců i několika desítek. Typickým příkladem může být školní třída.

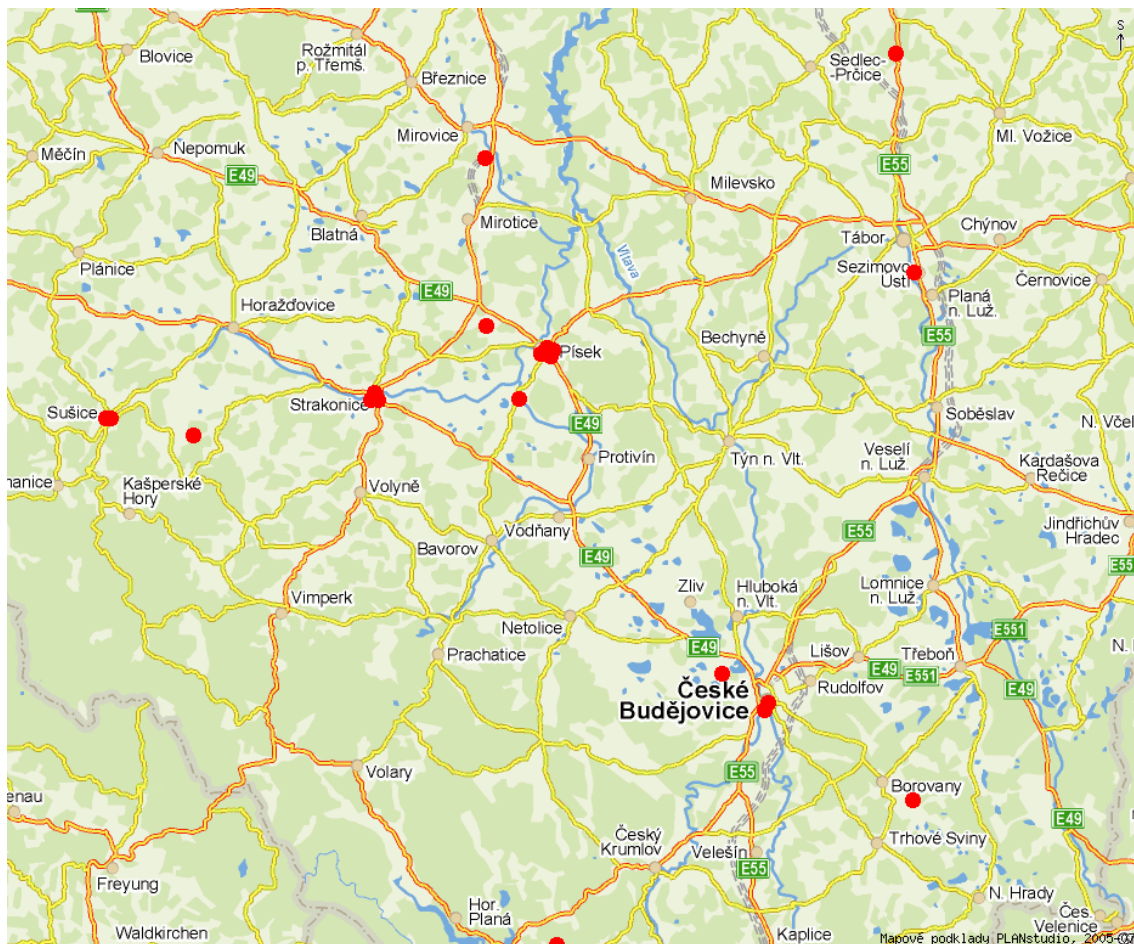
Typickou neosobní komunikací v rámci skupiny je v dnešní době mobilní telefon, krátké textové zprávy a e-mail. Není pravděpodobné, že by jednotlivci ve skupině používali písemný styk klasickou dopisní formou. Rychlost komunikačních toků je podstatně zvýšena oproti minulosti. Komunikující jedinci vytváří tzv. model malého světa. Nárůst zaznamenává také samotná četnost komunikace a to speciálně v mimořádných situacích.

Na základě hypotézy byla vytvořena ukázková situace u ukázkové malé společenské skupiny. Je předpoklad, ověřený např. po M11, že by stejný model odpovídal v mezích tolerance i pro velké společenské skupiny. Testovací skupinou byl kolektiv 27 žáků třídy střední školy ve věkovém rozmezí 16 až 18 let z oblasti Jihočeského kraje. Skupina se skládá z 21 mužů a 6 žen. Všichni velmi dobře ovládají informační a telekomunikační technologie. Měsíc před výzkumem byli na situaci upozorněni.

9. 12. 2006 (sobota) ve 13:00 hodin byla odeslána jedna zpráva ve znění: Information message – ABC situation. Prosím, informujte právě dva lidi ze skupiny. Uchovejte místo, čas a zdroj doručení zprávy. Díky Široký

Celkem proběhlo 38 odeslání zprávy. 82 % bylo vyměněno do 7 hodin od odeslání první SMS. Do 48 hodin bylo seznámeno více než 70 % jedinců ze skupiny.

Mapa pokrytí jižního území republiky s vyznačenými body, kde byla přijata zpráva, je znázorněna obrázkem 9:



Obrázek 9.1: Mapa rozsahu pokrytí

Průzkum byl bez předchozího upozornění uskutečněn znovu. Zrušena byla omezující podmínka počtu odeslaných zpráv.

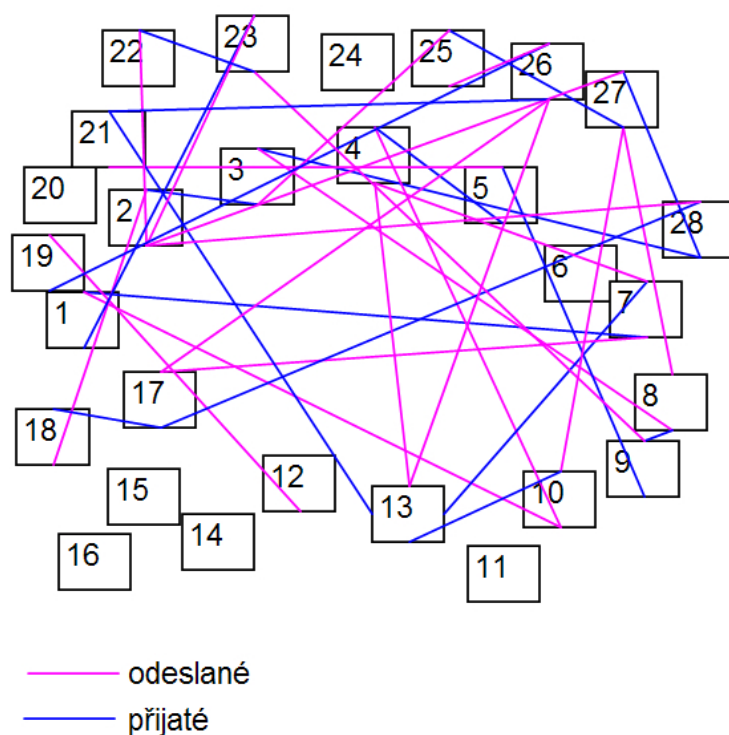
2. 4. 2007 (pondělí) ve 14:45 hodin byla odeslána jedna zpráva ve znění: INFORMUJTE. Prosím opět uchovat datum, čas, místo a původce zprávy. Rozšířte libovolnou el. cestou lidem ze skupiny. DIKY Široký

Celkem proběhlo 48 odeslání zprávy. 56 % bylo vyměřeno do 24 hodin od odeslání první SMS. Do 48 hodin bylo seznámeno více než 66 % jedinců ze skupiny. Celkově se dozvědělo zprávu 88 % jedinců skupiny. Pokrytí území přibližně odpovídá předchozímu průzkumu.

Závěr:

Hypotéza se ukázala jako mírně předimenzována ve výši informovaných jedinců. Přesto nebyla daleko od zjištěných skutečností. Vzhledem k tomu, že testovaná skupina neměla žádný osobní zájem na předání informace a je ovlivněna interpersonálními vztahy, sympatiemi a antipatiemi, je předpoklad, že za skutečné mimořádné události by potřeba podělit se o informaci a komunikace byla mnohem intenzivnější.

Grafický výstup modelu paralelní komunikace v malé sociální skupině s vybranými daty daných průzkumů je zobrazen v rozložení:



Obrázek 9.2: Model paralelní komunikace

Viz příloha – MS Excel komunikační modely

Kapitola 10

Situace M11

Za ukázkový případ komunikace v krizových situacích lze považovat situaci, která vznikla ve Španělsku dne 11. 3. 2004 – teroristický útok na vlaky v Madridu.

V tomto případě sice nešlo o nukleární útok, ale situace, která nastala, byla analogická k situaci, která by se mohla vyskytnout mimo epicentrum nukleárního útoku. Z pohledu interpersonální komunikace je irelevantní, zda se jedná o teroristický útok s účastí radioaktivních prvků či nikoliv. Následky tohoto útoku zavedly důvod k vzniku mnoha publikací a reportů ohledně sociální a politické komunikace.

10.1 Popis

Španělské království je členem Evropské unie, Severoatlantické aliance a mnoha dalších kulturně-hospodářských společenství. Španělsko má 43 200 000 obyvatel.

Španělsko – Madrid – 11. 3. 2004. Tři dny před volbami (vládní Lidová strana má mnohem vyšší preference než opoziční Socialistická strana).

ČTK, Noviky.cz [30]

Nejméně čtyři bomby vybuchly ve čtvrtek (11. 3. 2004) ráno ve vlacích u španělského Madridu. Večer počet mrtvých dosáhl 192 osob a úřady evidují více než 1200 zraněných. Mezi oběťmi nejsou podle dosavadních zpráv žádní Češi. Kdo za masakrem stojí, je stále nejisté.

11. 3. 2004 08:32 - 22:00 MADRID

Ihned po útocích se objevily spekulace, že akci připravila baskická teroristická organizace ETA. Média ale upozorňují, že "rukopis" skupině neodpovídá.

Španělský ministr vnitra Angel Acebes přesto téměř okamžitě následky masakrů připsal na účet právě radikálním Baskům. Na přímou otázku, zda je v pozadí akce tato teroristická organizace, nebo al-Kajdá Acebes odpověděl: *"Vůbec nepochybujeme. Za krvavou akcí stojí ETA."*

12. 3. 2004 19:33 - 22:23 MADRID

Separatistická organizace Baskicko a jeho svoboda (ETA) ve večerních hodinách jednoznačně odmítla odpovědnost za útoky. Oznámila to v prohlášení, které citovala baskická televizní stanice a nezávislý tisk. Prohlášení obdržel telefonicky baskický nezávislý list Gara, který je obvyklým komunikačním prostředkem pro sdělení ETA. Volající, který zůstal v anonymitě, jménem ETA prohlásil, že s čtvrtěčným krvavým masakrem nemá jeho organizace "nic společného".

Na náměstí Puerta del Sol v Madridu začala v pátek v 19 hodin mohutná manifestace proti terorismu. Do madridských ulic vyšly více než dva milióny lidí. Do ulic španělských měst vyšlo podle odhadů celkem více než osm miliónů lidí. Přišli vzpomenout na oběti čtvrtěční série pumových atentátů, jejichž počet stoupl na 199.

BBC [19]

Obvinění: Vláda, která prohrála volby konané tři dny po útoku, původně obviňovala baskickou separatistickou organizaci ETA. Ale teroristická organizace al-Kajdá začala být brzy hlavním směrem vyšetřování.

12. března Španělé vyšli do ulic protestovat proti terorismu v vládou organizované demonstraci odsuzující ETA, která byla označena vládou, že zodpovídá ze bombové útoky. Protesty byly poklidné a zúčastnili se jich i členové vládnoucích politických stran. Následující den bylo několik Marokánců zadrženo a začalo býti zřejmé, že ETA nemá spojitost s útoky. Prezident Aznar a jeho vláda přesto manipulovala média tvrzením, že ETA odpovídá za teroristické operace a to i přes to, že bylo několik zřejmých stop proti tomuto tvrzení.

Tyto informace o stopách mimo ETA se však ve sdělovacích prostředcích vůbec neobjevily. Přesto pomocí internetu, mobilních telefonů a neuvěřitelného počtu SMS se o nich mnoho lidí dozvědělo. Obyvatelé Madridu znovu vyšli do ulic (největší počet se jich shromáždil v Puerta del Sol, kde je množství vládních budov). Tentokrát již nálada ovšem nebyla poklidná – veřejný hněv se mimo na teroristy obrátil i na vládu, která pravdivě neinformovala obyvatelstvo. Při těchto protivládních demonstracích došlo i na útoky zápalnými láhvemi a zapálenými koši. Prezident Aznar dokonce požádal krále o odložení voleb (oficiálně z důvodu porušení 24 hodinového agitačního klidu před volbami). Král jeho žádosti nevyhověl a všelidové hlasování určilo za vítěze voleb opoziční stranu.

10.2 Shrnutí

Podle oficiálních zprávy byly mobilizovány zdroje na pomoc postiženým a jejich rodinám ve Španělsku bezprecedentní. Do záchranných akcí se zapojilo přes 70 000 zdravotníků, 291 vozů záchranné služby, 200 hasičů, 13 skupin psychologů a přes 500 dobrovolníků. Na pojištění a kompenzace rodinám zemřelých byla věnována částka 26 540 544 euro. Operační střediska záchranné služby (č. 112) přijala během dopoledne v den útoku přes 20 000 telefonátů.

Výčet nasazených sil a prostředků naznačuje zatíženost komunikačních technologií. Navíc je nutné počítat s ohromným počtem telefonátů a spojení mezi příbuznými.

Použití mobilních a elektronických komunikačních médií dosáhlo po útocích a následných demonstracích neuvěřitelných rozměrů. I přes vládní prohlášení a jednotnost médií paralelní komunikační vlna dokázala zvrátit veřejné mínění proti vládě.

Prohlášení demonstrujících: "Španělská vláda s námi už dlouho manipuluje, jak se jí hodí. Včera (ve čtvrtek) si byl ministr vnitra Ángelo Acebes jistý, že to byla ETA, a dneska se snaží ze všech sil, aby to vypadalo na islámské fundamentalisty."

Závěr a zhodnocení hypotéz

Následky nukleárních útoků lze rozdělit do několika skupin. Ty mají vliv především na vzdálenosti od výbuchu. V blízkosti výbuchu převažují tepelné a tlakové účinky, které mají destruktivní dopad jak na lidský organismus, tak i na technické a technologické zařízení. Ve větší vzdálenosti je nutno navíc rozlišit druh nukleárního útoku.

V případě atomové bomby a vzdušného výbuchu se přidává navíc problém elektromagnetického pole. Samotný elektromagnetický puls nemá přímý vliv na lidský organismus, zato je velmi destruktivní na technická a technologická zařízení. Nejvíce ohroženy jsou informační a telekomunikační technologie (ICT). Při útoku konvenční výbušniny s přídavkem radioaktivního materiálu (tzv. špinavé bomby) převažují dopady radiačních účinků a sociálně-spoločenské dopady nad konvenčními účinky.

Způsob zvládnutí teroristických útoku dávají do budoucna příklad zvládnutí davů i poskytování urgentní zdravotnické pomoci. Avšak každý útok je zcela specifický způsobem provedení a umístěním, proto není možné vypracovat naprosto přesné postupy. Naštěstí zatím nedošlo k teroristickému útoku s účastí radioaktivních materiálů, které by celou situaci značně zkomplikovaly.

Hypotéza 1:

Složky záchranného systému (mimo armádní vybavení) naprosto spoléhají na moderní komunikační technologie, což v případě nukleárního útoku může zcela vyřadit možnost krizového řízení.

Závěr 1:

ANO, vzhledem k vnitropolitické i mezinárodně-politické situaci ČR nepočítá ve své obranné politice s možností útoky jadernými zbraněmi a proto není ani zpracován návrh komunikace v těchto podmínkách. Obecně jsou však známy principy ochrany a třídění zařízení podle stupně ohrožení. Při změně světového politického prostředí je ČR schopna vypracovat krizové plány i pro oblast ICT a alespoň prioritní komunikaci zajistit chráněnými linkami.

Hypotéza 2:

Moderní elektronické zařízení je mnohem náchylnější k poškození EMP než zařízení, se kterým se počítá v původně sestavených plánech civilní ochrany.

Závěr 2:

ANO, přechodem na unipolární tranzistory a techniku integrovaných obvodů s vysokým stupněm integrace se už ze svého principu zvýšila citlivost zařízení na EMP. Funkci plánů civilní ochrany převzaly krizové plány – v typových krizových plánech je problematika zneškodnění ICT zpracována, v krizových plánech krajů ovšem zatím není. Nedojde-li však k přímému útoku jadernou bombou, není pravděpodobné poškození elektrotechniky a elektroniky na větším rozsahu území.

Hypotéza 3:

Komunikace po útoku bez poškození ICT je vedena nejen vertikálně (masmédia a vládní prohlášení), ale i horizontálně (ICT jako komunikační nástroj mezi občany).

Závěr 3:

ANO, paralelní komunikace je dnes již běžný komunikační model. Uskutečněný výzkum a komunikační modely dokazují, že minimálně 60 % populace je schopno se elektronickou cestou vzájemně informovat o vzniklé mimořádné situaci do 12 hodin od vzniku a to i do značných vzdáleností. Jedním z příkladů je například reakce v Madridu po 11. 3. 2004. Informace rozšířená paralelní komunikací může být i v naprostém rozporu s oficiálními informacemi a informacemi z masových médií. I přesto je osobní elektronická komunikace v dnešní společnosti považována za jeden z hlavních informačních pramenů.

Ověřením hypotéz byl splněn cíl diplomové práce. Práce může sloužit jako souhrn poznatků o vzniku a vlivu neradiačních účinků nukleárních útoků (především v oblasti elektromagnetických polí a jejich interakcí s okolím). Komunikační modely mohou přispět k porozumění nového směru interpersonální paralelní komunikace.

Část IV

Použitá literatura a SW

10.3 Citované klasické zdroje

- [1] BARTSCH, Hans-Jochen. *Matematické vzorce*. 4. vydání. Praha: Mladá fronta 2000. ISBN: 80-204-0607-7
- [2] BEDNAŘÍK – KONÍČEK – JIŘÍČEK. *Fyzika I a II Fyzikální praktikum*. Praha: ČVUT FEL 1999. ISBN: 80-01-02042-8
- [3] LE BON, Gustave. *Psychologie davu*. Praha: Kra 1994. ISBN 80-901527-8-3
- [4] BOUDA – HAMPL – LIPTÁK – SEDLÁČEK. *Materiály pro elektrotechniku*. Praha: ČVUT FEL 2000. ISBN: 80-01-02232-3
- [5] FOIT, Julius – HUDEC, Lubomír. *Součástky moderní elektroniky*. Praha: ČVUT FEL 1998. ISBN 80-01-01789-3
- [6] HORÁK, Zdeněk – KRUPKA, František. *Fyzika Příručka pro vysoké školy technického směru*. Praha: SNTL/ALFA 1981 04-017-81
- [7] ICRP *Publication 96 – Protecting People against Radiation Exposure in the Event of a Radiological Attack*. Stockholm: Elsevier 2005. ISBN: 008-044-6256
- [8] JANOŠEC, Josef – kolektiv. *Bezpečnost a obrana ČR 2015 – 2025*. Brno: MO ČR 2005. ISBN: 80-72778-303-3
- [9] JELEN, Josef. *Fyzika II*. Praha: ČVUT FEL 2000. ISBN: 80-01-018844-X
- [10] KUBEŠ, Pavel – KYNCL Zdeněk. *Fyzika I*. Praha: ČVUT 1999. ISBN: 80-01-01487-8
- [11] KUNA, Pavel – NAVRÁTIL, Leoš – kolektiv. *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing 2005. ISBN 80-86571-09-2
- [12] MAŤÁTKO, Jan. *Elektronika*. Praha: IDEA Servis 2002. ISBN: 80-85970-42-2
- [13] *NATO Handbook on the medical aspect of NBC defensive operations AMedP-6(B)*. Washington, D.C.: DDND 1996
- [14] NOVOTNÝ, Karel. *Teorie elektromagnetického pole I*. Praha: ČVUT FEL 2002. ISBN: 80-01-01774-5
- [15] PEKÁREK – ŠÍSTEK – JELÍNEK. *Neionizující záření expozice a zdravotní rizika*. Praha: Státní zdravotní ústav 2006. ISBN: 80-7071-276-7
- [16] SHANNON, Claude. *A Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University of Illinois press 1948.
- [17] ZÁŠKODNÝ, Přemysl. *Přehled základ teoretické fyziky s aplikací na radiologii*. Bratislava: Didaktis 2005. ISBN: 80-89160-25-5

10.4 Elektronické zdroje

[18] ALDRICH – EASTERLY – GAILEY – HAMILTON. *Bioelectromagnetic Effect of EMP: Preliminary Findings*. Oak Ridge, Tennessee USA: Health and Safety Research Division 1988 [online] [cit. 2007-01-08]

URL: <<http://www.ornl.gov/info/reports/1988/3445602768182.pdf>>

[19] BBC *Madrid 2004-03-11* [online] [cit. 2007-03-25]

URL: <<http://news.bbc.co.uk/2/shared/spl/hi/guides/457000/457031/html/default.stm>>

[20] CABALLOS, Gutierrez de JP – at al. *11. březen 2004: Teroristické bombové útoky v Madridu*. Critical Care 2005, Vol. 9, No. 1, s. 104-111. Překlad: Nekvapilová, Vlasta. Urgentní medicína: Časopis pro neodkladnou lékařskou péči 1/2005. České Budějovice: Mediprax 2005. ISSN: 1212-1924 [online] [cit. 2007-04-15]

URL: <http://www.mediprax.cz/um/casopisy/UM_2005_01.pdf>

[21] *Communication* [online] [cit. 2007-03-12]

URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Communication>>

[22] DURDIÁK, Jaroslav – GÁFRIK, Andrej – PULIŠ, Pavel. *Zbrane Hromadného Ničenie Aktuálna Bezpečnostná Hrozba*. Bratislava: Oddelenie polygrafického zabezpečenia MO SR, 2005 ISBN 80-88842-76-X. [online] [cit. 2006-12-08]

URL: <<http://www.mosr.sk/ibos/docs/zhn.pdf>>

[23] GLASSTONE, Samuel – DOLAN, Philip. *The Effect of Nuclear Weapons chapter III – Blast Phenomena in Air and Surface Bursts*. Washington, D. C.: United States Department of Defense and the Energy Research and Development Administration 1977 [online] [cit. 2007-04-15] URL: <<http://www.princeton.edu/globsec/publications/effects/effects3.pdf>>

[24] GLASSTONE, Samuel – DOLAN, Philip. *The Effect of Nuclear Weapons chapter VI – Shock Effects of Surface and Subsurface Bursts*. Washington, D. C.: United States Department of Defense and the Energy Research and Development Administration 1977 [online] [cit. 2007-04-15] URL: <<http://www.princeton.edu/globsec/publications/effects/effects6.pdf>>

[25] GLASSTONE, Samuel – DOLAN, Philip. *The Effect of Nuclear Weapons chapter XI – The Electromagnetic Pulse and its Effect*. Washington, D. C.: United States Department of Defense and the Energy Research and Development Administration 1977 [online] [cit. 2007-04-15] URL: <<http://www.princeton.edu/globsec/publications/effects/effects11.pdf>>

[26] *Integrovaný záchranný systém*. Telefonica O2 [online] [cit. 2007-03-08]

URL: <<http://www.cz.o2.com/izs/cz/site/home/index.html>>

[27] *Magnetooptický disk* [online] [cit. 2007-04-08]

URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetooptick%C3%BD_disk>

- [28] *Média* [online] [cit. 2007-03-12]
URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9dia>>
- [29] *Operation Crossroads*. [online] [cit. 2006-12-25]
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bikini_baker>
- [30] NOVINKY.CZ *K atentátu v Madridu se prý přihlásila al-Kajdá*. [online] [cit. 2007-03-25]
URL: <<http://www.novinky.cz/02/75/76.html>>
- [31] SLOUKOVA, Danica. *Slovníček důležitých pojmů ke kurzu filosofie jazyka*. Duben 2003. [online] [2007-03-01] URL: <<http://www.gsgpraha.cz/sloukova/slovnicek/k.html>>
- [32] TICHÝ, Milan. *Elektronika*. Praha: Univerzita Karlova Matematicko-fyzikální fakulta [online] [2007-04-01] URL: <lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy>
- [33] *TNT equivalent* [online] [cit. 2007-01-15]
URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Megaton_Wikipedie>
- [34] *Typový plán k řešení krizových situací v oblasti telekomunikačních a inform. systémů*. Praha: MI ČR č.j.: MI 1491/2003-11 [online] [cit. 2007-04-15] URL: <km.fph.vse.cz/pedagogika/predmety/3ma321/typove_plany/TP%20-%20telekomunikační%20a%20inf%20systémy.doc>
- [35] ZÁLEŽÁK, Tomáš. *Soubor zápočtových příkladů do cvičení z úvodu do fyziky pevných látek*. Brno: Masarykova univerzita Katedra fyziky [online] [cit. 2007-03-24]
URL: <<http://www.physics.muni.cz/zalezak/bin/pevne-latky.pdf>>

10.5 Použité klasické zdroje

- [36] KOPKA, Helmut – DALY, Patric W. *L^AT_EX kompletní průvodce*. Brno: Computer Press 2004. ISBN: 80-7226-973-9
- [37] ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut 2002
- [38] ČSN 01 0197 (ČSN ISO 690 a 690-02) *Bibliografické citace dokumentů*. Praha: Český normalizační institut 2000
- [39] OETIKER, Tobias – PARTL, Huber – KOČER, Michal. *Ne příliš stručný úvod do systému L^AT_EX₂_ε: Neboli L^AT_EX₂_ε v 73 minutách*. Verze 2.2.Beta 25.leden 1996; CZ-0.9.Beta prosinec 1998
- [40] HAASS, Vladimír – SEDLÁČEK, Miloš. *Elektrická měření, přístroje a metody*. Praha: ČVUT FEL, 2000. ISBN: 80-01-02219-6

10.6 SW vybavení

sazba textu a matematických vzorců $\text{\LaTeX}$ 2 ϵ (*MiKTeX*) za použití editoru WinEdt Build: 20050701 (v. 5.4) licence SPS a VOS Písek (25-user Site License)

sady nástrojů a SW vybavení Microsoft Office 2007 (12.0.4518.1014) MSO (12.0.4518.1014) Product ID 89388-707-0108462-65512 Licence Miroslav Široký SPŠ a VOŠ Písek

úprava obrázků a výsledků modelů Adobe Photoshop verze: 9.0 (9.0x119) Sériové číslo: 10451417342436336730 Licence Miroslav Široký SPŠ a VOŠ Písek

Část V

Klíčová slova

Elektromagnetický puls (EMP) – Electromagnetic pulse

Nukleární útok – Nuclear attack

Elektromagnetismus – Electromagnetism

Komunikace – Communication

Dav – Crowd

Část VI

Přílohy

Seznam příloh:

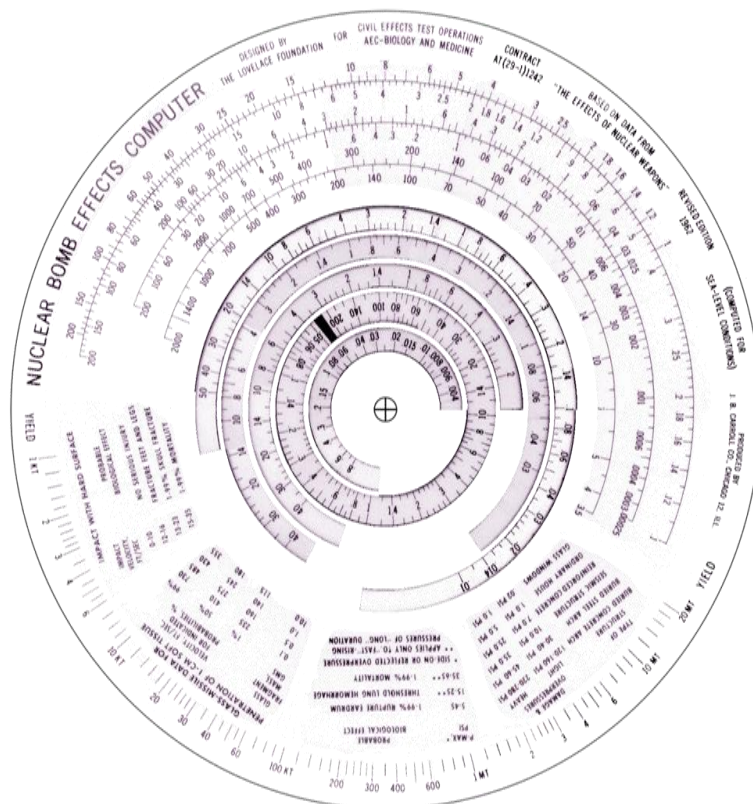
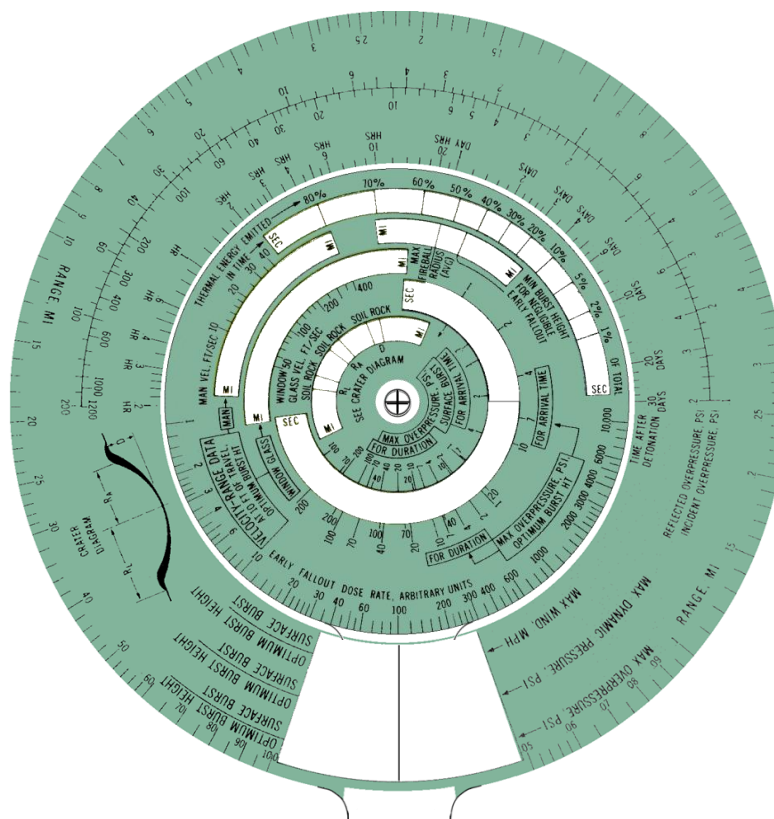
1. Laboratorní měření Závislosti PN přechodu na vnějších podmínkách
2. Laboratorní měření Závislost feromagnetik na vnějších podmínkách
3. Ukázka výpočtového kotouče účinků nukleárních útoků
4. Ukázka mapy SSSR s účinky nukleárních útoků
5. Prezentace neradiačních účinků nukleárních útoků (viz příložené CD)
6. MS PowerPoint – grafická prezentace diplomové práce (viz příložené CD)

SW modely:

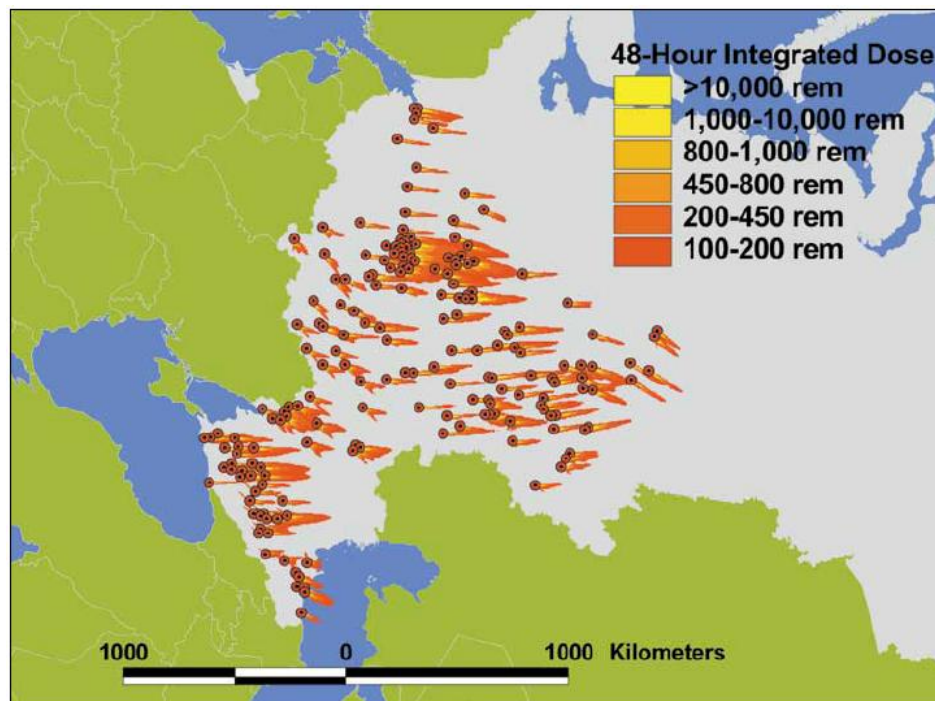
Viz příložené CD – výsledky modelů jsou zobrazeny a použity v samotné práci.

1. MS Excel – model závislosti Comptonova posuvu na úhlu rozptylu
2. MS Excel – model průběhu generalizované EMP vlny
3. MS Excel – komunikační model

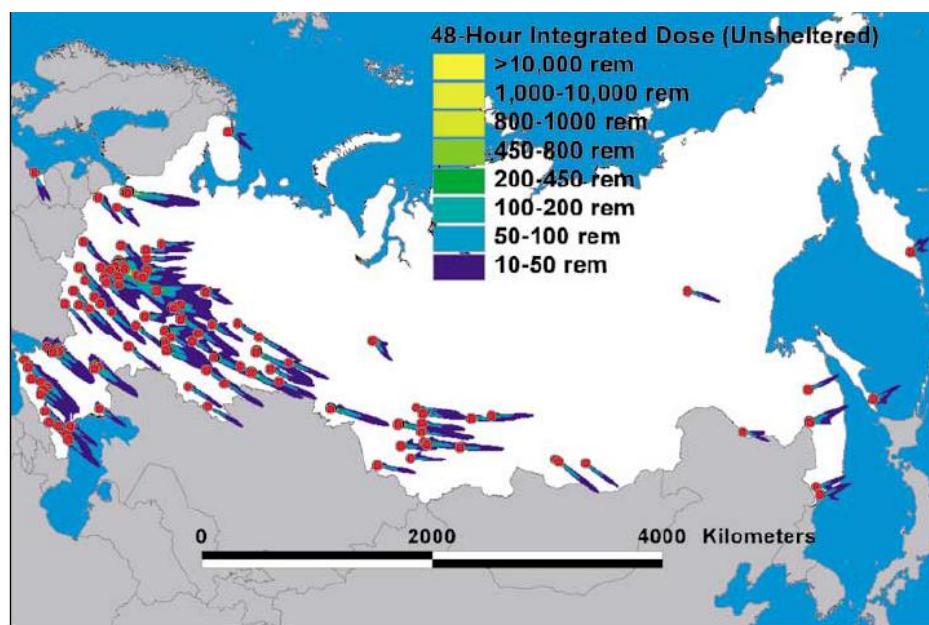
Ukázka výpočtového kotouče nukleárních útoků



Grafické znázornění účinků nukleárního útoku – SSSR



Fallout Patterns for the Trident Scenario with Ground Bursts



Fallout Patterns for the Minuteman III Scenario with Ground Bursts

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta



**Závislosti PN přechodu na vnějších podmínkách –
stanovením Boltzmannovy konstanty**

Bc. Miroslav Široký, DiS.

05.04.2007

Laboratoře: SPŠ a VOŠ Písek, Karla Čapka 402, 397 11 Písek

ČVUT FEL Praha, Technická 2, 166 27 Praha 6 - Dejvice

Název:**Závislosti PN přechodu na vnějších podmínkách****1. Hypotéza:**

Elektrotechnické součástky využívané v ICT jsou výrazně závislé na vnějších vlivech.

2. Zadání měření:

Stanovením Boltzmannovy konstanty pomocí voltampérové charakteristiky PN přechodu při různých teplotách určete specifickou vlastnost polovodiče, že jeho elektrickou vodivost lze výrazně ovlivnit vnějšími podmínkami (např. teplotou).

3. Teoretický rozbor:

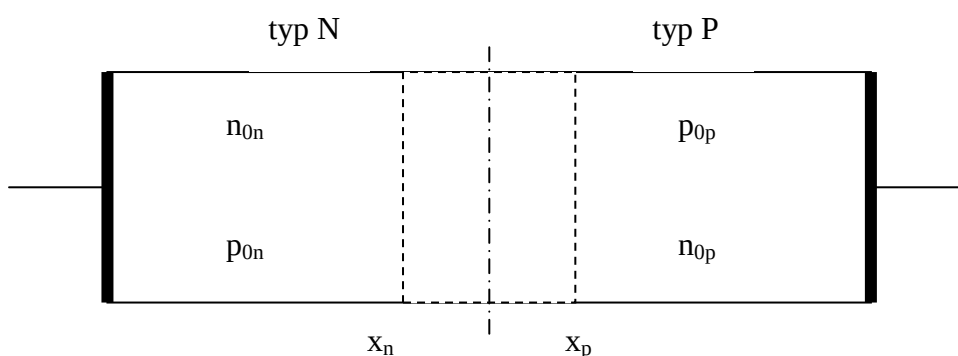
Pro měření využijeme bipolární tranzistor s polovodiči s nevlastní vodivostí typu P i N. Vlastnosti samotného polovodiče a koncentrace volných nosičů náboje je popsáno v samotné práci.

Při styku polovodičů typu P s polovodičem typu N, které díky příměsím mají rozdílné *Fermiho hladiny* E_F , dochází k difúzi elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P. Difúze probíhá dokud se nevyrovnají Fermiho hladiny obou typů polovodičů, tj. navodí se ustálený stav. Difúze elektronů z polovodiče typu N (má vyšší hodnoty Fermiho hladiny) zapříčiní vznik povrchové vrstvy nevykompenzovaného náboje iontů, v polovodiči typu N kladných a v polovodiči typu P záporných iontů. Tímto na rozhraní obou polovodičů vznikne prostorový náboj, který vytvoří elektrické pole (potenciálovou bariéru) E_K , které zabráni difundování dalších elektronů. Vzniklá přechodová oblast má podstatně menší koncentraci volných nosičů náboje, a proto i podstatně větší elektrický odpor, než zbytek polovodiče. Jakmile na PN přechod přiložíme vnější elektrické napětí, můžeme očekávat,

že se prakticky celé soustředí na tuto přechodovou oblast. V případě, že má polaritu shodnou s polaritou pole E_K , elektrony a díry jsou ještě silněji vytlačovány od středu PN přechodu k okrajům. Šířka oblasti zvětšeného odporu se tak ještě zvětší a elektrický odpor roste, takže PN přechodem může téct jen nepatrný proud minoritních nosičů. (Tzv. nepropustný neboli závěrný směr.)

Vnější pole s opačnou polaritou zeslabuje pole E_K a po dosažení určité kritické hodnoty ho plně kompenzuje. Volné nosič náboje vyplní opět prostor PN přechodu, takže jeho odpor klesne na úroveň ostatních oblastí polovodiče. Při takové polaritě PN přechod propouští elektrický proud (propustný směr).

Pro výše zmíněný popis lze využít, za zjednodušujících podmínek, i matematického popisu. Označme koncentrace majoritních a minoritních nosičů náboje dle obrázku č. 1 – Značení koncentrací nosičů náboje v PN přechodu.



Obr. číslo 1: Značení koncentrací nosičů náboje v PN přechodu.

Poměr koncentrací v daném místě x můžeme pomocí Maxwellovy-Boltzmannovy rozdělovací funkce vyjádřit

$$\frac{n_{0n}}{n_{0p}} = \frac{p_{0p}}{p_{0n}} = \exp\left(\frac{e\varphi}{kT}\right) \quad \text{Rovnice 1}$$

kde $\varphi = \varphi_n - \varphi_p$ je potenciál N- oblasti vzhledem k P-oblasti (potenciálová bariéra). Podle rovnice 1 je v bodě $x=x_p$, který leží na hranici PN přechodu v oblasti polovodiče typu P, koncentrace elektronů vyjádřena

$$n_{0p}(x_p) = n_{0n} \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right) \quad \text{Rovnice 2}$$

V případě, že má levá strana PN přechodu vzhledem k bodu $x=x_p$ potenciál φ , tedy tento bod vzhledem k levé straně má pak potenciál $-\varphi$, je v něm koncentrace volných nosičů náboje – elektronů $\exp(-e\varphi/kT)$ -krát větší než koncentrace elektronů vlevo od PN přechodu. Proto, když vnějším zdrojem změníme potenciál levé strany PN přechodu z hodnoty φ na hodnotu $\varphi-U$, kde U je napětí vnějšího zdroje, změní se v bodě x_p koncentrace elektronů z hodnoty $n_{0p}(x_p)$ na hodnotu $n_p(x_p)$, kterou určuje rovnice

$$n_p(x_p) = n_{0n} \exp\left[-\frac{e(\varphi-U)}{kT}\right] \quad \text{Rovnice 3}$$

který po vyloučení potenciálu φ pomocí rovnice 1 má tvar

$$n_p(x_p) = n_{0n} \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \quad \text{Rovnice 4}$$

V dostatečné vzdálenosti od PN přechodu se však už koncentrace elektronů vlivem vnějšího napětí nemění, proto platí podmínka

$$n_p(\infty) = n_{0p} \quad \text{Rovnice 5}$$

Při hledání proudu, jenž teče PN přechodem vyjdeme z následujících zjednodušujících předpokladů, které jsou v praxi velmi dobře splněny:

1. Uvnitř PN přechodu nosiče náboje vzájemně nerekombinují, proto celkovou hustotu proudu přes PN přechod můžeme vyjádřit rovnicí

$$j = j_n(x_p) + j_p(x_n) \quad \text{Rovnice 6}$$

2. V oblasti $x < x_n$ a $x > x_p$ je už elektrické pole poměrně slabé, protože vzhledem na podstatně větší odpor PN přechodu se celé vnější napětí soustředí v něm. Gradienty koncentrací nosičů náboje jsou však v těchto oblastech značné, proto můžeme ohmické složky proudů vzhledem k difúzním zanedbat.

3. Polarita pole E_K je taková, že pokud $U < \phi$, znemožňuje přechod nosičů náboje přes PN přechod, proto prakticky celý proud přes přechod je tvořen elektrony z oblasti polovodiče typu P a dírami z oblasti typu N.

Za těchto předpokladů lze rozložení koncentrace (např. elektronů) v oblasti typu P pomocí Fickova zákona pro proud difundujících částic a vztahů pro střední dobu života volného nosiče náboje definovat rovnicí:

$$\frac{d^2n}{dx^2} - \frac{1}{L_n^2}(n - n_0) = 0 \quad \text{Rovnice 7}$$

kde veličina $L_n = (u_n k T t_n / e)^{1/2}$, ve které t_n značí dobu života elektronu (středí dobu za kterou zrekombinuje), značí tzv. *difúzní vzdálenost*. Řešením rovnice 7 s ohledem na hraniční podmínky rovnic 4 a 5 je

$$n = n_{0p} - n_{0p} \left[1 - \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \right] \exp\left(\frac{x_p - x}{L_n}\right) \quad \text{Rovnice 8}$$

podle které je pro hustotu elektronového proudu v bodě $x=x_p$

$$j_n(x_p) = u_n k T \frac{dn}{dx} = \frac{u_n k T p_{0p}}{L_n} \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad \text{Rovnice 9}$$

Analogický výraz lze odvodit i pro děrovou hustotu proudu v místě $x=x_n$, takže celkový proud přes PN přechod je určen vztahem

$$j = \left(\frac{u_n k T n_{0p}}{L_n} + \frac{u_p k T n_{0n}}{L_p} \right) \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad \text{Rovnice 10}$$

kde veličina $L_p = (u_p k T t_p / e)^{1/2}$, ve které t_p značí dobu života díry. Výraz v první závorce určuje závěrný proud j_0 .

Integrací rovnice 10 přes plochu protékanou proudem dostaneme výraz pro celkový proud

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad \text{Rovnice 11}$$

který lze dále zjednodušit, pakliže vezmeme v úvahu, že I_0 představuje velmi malou hodnotu:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \right] \quad \text{Rovnice 12}$$

4. Popis postupu měření:

K měření Boltzmannovy konstanty použijeme vztahu pro voltampérovou charakteristiku PN přechodu dle rovnice 12. Zlogaritmováním dané rovnice dostaneme:

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{e}{kT} U = \ln I_0 + sU$$

Tato rovnice představuje rovnici přímky v případě, že přirozený logaritmus proudu $\ln I$ chápeme jako funkční hodnotu lineární funkce $eU/kT + \ln I_0$, $\ln I_0$ představuje konstantu a $s = e/kT$ směrnici této přímky.

Známe-li směrnici s přímky a teplotu, ke které se vztahuje, pak můžeme určit vlastní Boltzmannovu konstantu $k = e/TS$. K tomu, abychom mohli stanovit směrnici přímky, je nutné změřit voltampérovou charakteristiku PN přechodu při dané teplotě T .

Voltampérovou charakteristiku je možné změřit za použití tranzistoru v zapojení se společnou bází. Při malém úbytku napětí na použitém ampérmetru je napětí mezi kolektorem a bází přibližně $U_{CB} = 0$. Pro zbytkový proud přibližně $I_{CB0} = 0$ a pro kolektorový proud I_c lze psát

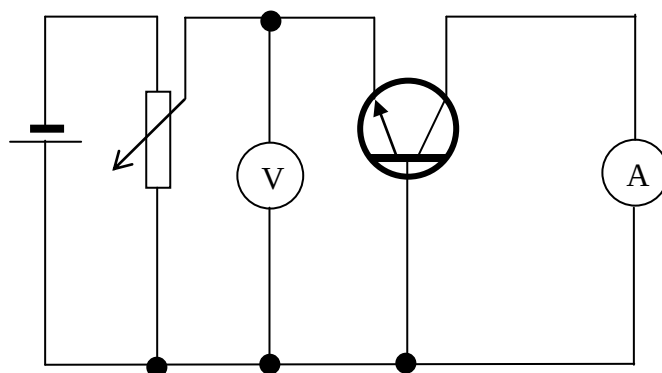
$$I_c = \frac{\beta_0}{\beta_0 + 1} I_E$$

kde β_0 je zesilovací činitel a I_E je emitorový proud. V případě, že je splněna podmínka $\beta_0 \gg 1$, pak I_c je přibližně roven I_E . Emitorový proud tedy prochází měřeným PN přechodem báze-emitor, avšak z oblasti báze pokračuje dále do kolektoru, kde je měřen. Ampérmetr tak není zapojen do série s měřeným přechodem a neovlivňuje napětí naměřené na přechodu.

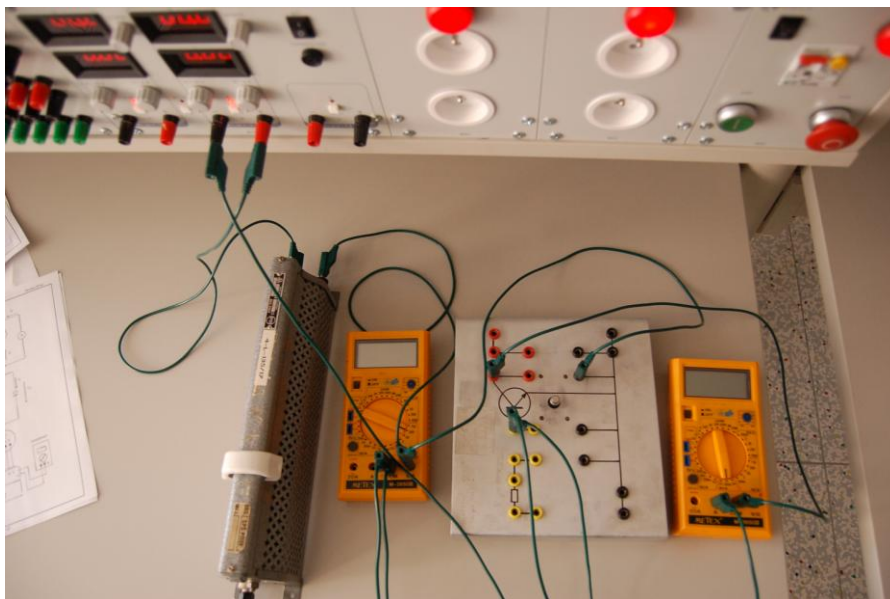
5. Postup měření:

1. Zapojení bipolárního tranzistoru dle schématu zapojení
2. Pro případ teplotní závislosti vložení do teplotní lázně v Dawerově nádobě (a. studená voda b. vlažná c. cca 60°C)
3. Na napájecím zdroji nastavení hodnot „hrubého“ napětí na 30 V a „mezí“ proud na 0,2 A
4. Odečtení teploty lázně pomocí teploměru
5. Změření VA charakteristiky v propustném směru (0,05 až 24,00) mA
6. Odečtení teploty a výpočet průměrné teploty z bodu č. 3
7. Naměřené hodnoty zpracovat pomocí metody nejmenších čtverců a z nalezené směrnice s přímkou určit hodnotu Boltzmannovy konstanty k a hodnotu naměřeného proudu I_0 .
8. Opakovat měření pro teploty b. a c.
9. Stanovení aritmetického průměru ze získaných Boltzmannových konstant a porovnání s tabulkovou hodnotou $(1,380\,54 \pm 0,000\,18) \cdot 10^{-23} \text{JK}^{-1}$
10. Pomocí rovnice 12 a naměřených veličin zanést do grafu průběhy voltampérových charakteristik měřeného PN přechodu pro různé teploty

6. Schéma měřícího zapojení:



7. Náhled zapojení měření:



8. Seznam použitých přístrojů:

Laboratorní stůl	2004/68	zdroj DC 30V / max. 2A		
ampérmetr	METEX M-3650B	digitální multimetr	MY-64	5-L-469
voltmetr	METEX M-3650B	digitální multimetr	MY-64	5-L-519
tranzistor	bipolární			
teploměr	rtuťový			
teplotní lázeň	Dewerova nádoba			

9. Tabulky a výpočty:

Č.M.	I[mA]	U[V] při teplotě		
		24°C	32°C	44°C
1	0,05	0,40	0,37	0,34
2	0,09	0,42	0,40	0,36
3	0,30	0,45	0,42	0,39
4	0,50	0,46	0,44	0,41
5	0,75	0,47	0,45	0,42
6	1,00	0,48	0,46	0,43
7	1,50	0,49	0,47	0,44
8	2,00	0,50	0,47	0,45
9	2,50	0,50	0,48	0,45
10	3,00	0,51	0,49	0,46
11	4,00	0,52	0,49	0,47
12	5,00	0,52	0,50	0,47
13	7,50	0,53	0,51	0,48
14	10,00	0,54	0,52	0,49
15	13,00	0,55	0,52	0,50
16	15,00	0,55	0,53	0,51
17	18,00	0,56	0,54	0,51
18	20,00	0,56	0,54	0,51
19	22,50	0,57	0,54	0,52
20	25,00	0,57	0,54	0,52

Vztahy a příklad výpočtu:

rovnice přímky

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{e}{kT} U = \ln I_0 + sU$$

$$y = k'x + y_0 \quad \Rightarrow \quad y = \ln I \quad x = U$$

výraz $k=e/Ts$ – pro výpočet Boltzmannovy konstanty

Stanovení funkční závislosti metodou nejmenších čtverců:

Princip za předpokladu, že naměřená závislost je lineární

(funkce ve tvaru zadané přímky $y=ax+b$)

$$\sum_{i=1}^n [I_i - ax_i - b]^2 = q = \min$$

Pro zjištění hodnot parametrů s minimálním součtem odchylek je parciální derivace parametrů položena rovna nule.

$$\frac{\partial q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i [y_i - ax_i - b] = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [y_i - ax_i - b] = 0$$

Hodnoty odhadů regresních parametrů soustavy:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Přesnost určení regresních parametrů závisí na jejich výběrových směrodatných odchylkách. Ty lze vypočítat ze vztahů:

$$s_a = \frac{a}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$s_b = s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - b \sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}$$

Celková rovnice směrnice pro výpočet:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{M}$$

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

pro $t=24^\circ\text{C}$ je průměrná hodnota $\bar{x} = 0,507$

$$k = \frac{e}{297,16 \cdot 37,38} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{297,16 \cdot 37,38} = \underline{\underline{1,441 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}}}$$

pro $t=32^\circ\text{C}$ je průměrná hodnota $\bar{x} = 0,484$

$$k = \frac{e}{305,16 \cdot 36,69} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{305,16 \cdot 36,69} = \underline{\underline{1,431 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}}}$$

pro $t=44^\circ\text{C}$ je průměrná hodnota $\bar{x} = 0,457$

$$k = \frac{e}{317,16 \cdot 34,91} = \frac{1,602 \cdot 10^{-19}}{317,16 \cdot 34,91} = \underline{\underline{1,447 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}}}$$

Výsledná hodnota změřené Boltzmannovy konstanty je

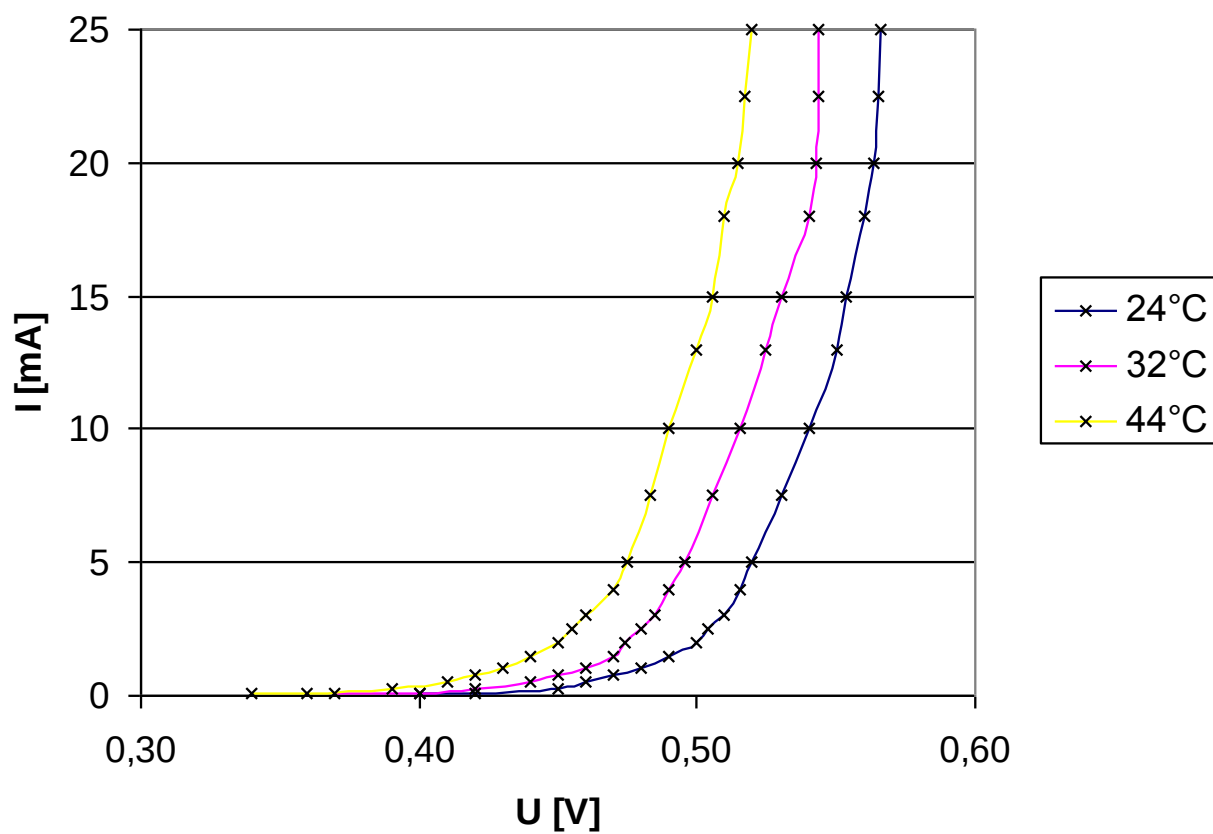
$$k = \underline{\underline{(4397 \pm 0,0114) \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}}}$$

Tabulková hodnota Boltzmannovy konstanty je

$$k = \underline{\underline{(3805 \pm 0,0002) \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}}}$$

10. Grafy:

VA charakteristika PN přechodu



11. Závěr měření:

Byla změřena Boltzmannova konstanta pomocí voltampérové charakteristiky bipolárního výkonového tranzistoru za různých tepelných podmínek s výsledkem

$$4397 \pm 0,0114 \cdot 10^{-23} JK^{-1}.$$

Oproti tabulkové hodnotě se výsledek liší v toleranci přibližně o 3,5 %. To dokazuje správnost měření. Odchyłka mohla vzniknout nepřesností nastavení vstupního napětí a změnou teploty během měření. Pro účely práce je však tato přesnost více než dostačující.

Hlavním cílem měření bylo dokázat, že polovodičové součástky jsou velice závislé na okolních podmínkách. Vzhledem k technickým podmínkám nebyla měřená oblast nastavena na mezní podmínky (např. zničení součástky), ale na běžnou pracovní oblast. Přesto je z grafu i naměřených hodnot zřejmé, že i při dodržení přesnosti měření, je závislost pracovního bodu na teplotě u polovodičových součástek značná. Například chceme-li odebírat ze součástky 2,5 mA je při změně o 20°C rozdíl vstupního napětí již více než 10%. V grafu lze vidět, že pro vyšší teploty je pro otevření přechodu menší napětí (dle předpokladů, které vycházejí z teoretické části o vlastnostech polovodičů). Navíc se mění i základní vlastnost součástky, jako je například závěrný proud PN přechodu – z hodnot vyplývá, že pro vyšší teplotu je třeba menší závěrný proud než pro teplotu nižší.

12. Diskuse měření:

Toto jednoduché měření s dostatečnou přesností dokázalo, že vlastnosti polovodičové součástky skutečně závisí na vnějších vlivech. TBD hypotézy.

Zohledníme-li, že měření bylo provedeno na výkonovém bipolárním tranzistoru, je z teorie zřejmé, že dopady na unipolární tranzistor, optoelektronické součástky či integrované obvody by byl ještě zřetelnější. Bohužel z technických a ekonomických důvodů není možné a snad ani nutné provádět měření na těchto elektrotechnických součástkách. Pro praktické a použitelné závěry by bylo třeba použít konkrétní ICT a vystavit ji působení vnějších vlivů při mezních situacích. Např. krizový mobilní telefon vystavený krátkodobě teplotám přes 150°C, elektrostatickému výboji, radioaktivnímu záření či elektromagnetickému poli vyšší intenzity. Tyto měření by měla být provedena státní zkušebnou, která by pak měla garantovat jejich použitelnost v různých situacích.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta



**Závislost feromagnetik na vnějších podmínkách –
zobrazení hysterezní smyčky na osciloskopu**

Bc. Miroslav Široký, DiS.

05.04.2007

Laboratoře: SPŠ a VOŠ Písek, Karla Čapka 402, 397 11 Písek

Název:**Závislosti feromagnetik na vnějších podmínkách****1. Hypotéza:**

Magnetické vlastnosti elektrotechnických materiálů jsou závislé na vnějších vlivech.

2. Zadání měření:

Zobrazením hysterezní smyčky různých materiálů a jednoho materiálu při různých teplotách určete specifickou vlastnost feromagnetického materiálu, že jeho permeabilitu lze výrazně ovlivnit vnějšími podmínkami (např. teplotou).

3. Teoretický rozbor:

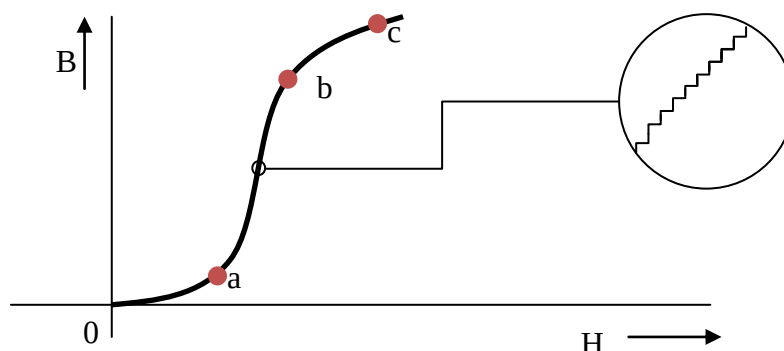
Pro měření využijeme tzv. Epsteinův přístroj – pracuje na principu transformátoru, tj. na feromagnetickém jádru jsou namotány dvě galvanicky oddělené vinutí s různým počtem závitů. Změnou velikosti procházejícího proudu je indukován magnetický tok v jádru, který na základě Lenzova zákona indukuje proud v sekundárním vinutí.

Rozdělení materiálů z hlediska chování v magnetickém poli je popsáno přímo v diplomové práci. Jádro Epsteinova přístroje tvoří feromagnetický materiál – krystalická látka se zvláštním uspořádáním krystalové mřížky. Malé oblasti těchto látek se samovolně uspořádávají a vytváří tzv. magnetické domény (rozměrem cca 0,1 mm). Není-li látka v magnetickém poli jsou její domény vzájemně neuspořádané a látka je na venek magneticky neutrální. Působí-li však na látku vnější magnetické pole, domény se uspořádají v jeho směru a účinky magnetických domén se sumují. Podle magnetické tvrdosti je toto „zmagnetování“ dočasné (magneticky měkké materiály) nebo trvalé (magneticky tvrdé materiály).

Kromě vnějšího magnetického pole má na orientaci domén také velký vliv okolní teplota. Například u magnetooptických záznamových disků je přímo tato teplota jedním ze základních principů činnosti (při kritické – Curieově teplotě – cca 240°C pro např. slitiny fermia, železa a kobaltu). Způsob zápisu probíhá tak, že se magnetická hlava přepne do stavu logické nuly, laser se nastaví na vyšší výkon, ohřeje blok datových bitů na teplotu Curieho bodu a magnetická hlava zapíše logické nuly. Následuje druhá fáze – v dotyčném bloku se ohřejí místa budoucích logických jedniček a magnetická hlava zapíše logické jedničky. Ohřáté lokace se velmi rychle ochlazují a magnetické domény pak zůstávají doslova zmrazeny v tenké feromagnetické vrstvě.

Na změnu prostorové orientace domén je potřeba dodat materiálu dostatek energie. Na jejich uspořádání magnetické a na jejich opětnou demagnetizaci například energii tepelnou či magnetickou opačného směru. Energie, která se spotřebuje na přemagnetování materiálu má v elektrotechnice význam ztrát. Pro potřeby tohoto měření však demonstruje závislost chování materiálu při různých okolních podmínkách. Ve vztahu elektrických veličin pak hysterezní smyčka vyjadřuje závislost velikosti magnetické indukce **B** na intenzitě magnetického pole **H** ve feromagnetické látce.

První zmagnetování feromagnetického materiálu je popsáno závislostí **B** na **H** tzv. křivkou prvotní magnetizace.



Tato křivka vychází z počátku a nechá se principiálně rozdělit na tři části. Část 0a je dána vratným pohybem doménových stěn a plyne z ní velikost počáteční permeability μ_i :

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H}$$

Při dalším zvyšování intenzity magnetického pole dochází k nevratnému pohybu tzv. Blochových stěn, při kterém jsou překonávány bariéry, které jejich pohybu brání (např. cizí částice, nehomogenity struktury, hranice zrn apod.). Část křivka **ab** tak není hladká, ale

skládá se z nevratných posuvů probíhajících při konstantním $\mathbf{H}$ a z vratných posuvů realizovaných při rostoucím $\mathbf{H}$. Při tom zanikají domény s nevhodnou orientací vůči vnějšímu poli. Za bodem $\mathbf{b}$ se indukce zvětšuje pouze natáčením vektoru magnetizace domény, k magnetickému nasycení (tzv. saturaci) dojde v bodě $\mathbf{c}$.

Demagnetování materiálu magnetickým polem opačné polaritý začíná tvorbou zárodků domén opačné orientace a pohybem stěn těchto domén. Na změnu orientace a na energii, která se vlivem tření stěn domén změní na teplo, je třeba vynaložit energii, která odpovídá výše zmíněným ztrátám.

4. Popis postupu měření:

K měření hysterezní smyčky využijeme Epsteinův přístroj se vzorkem feromagnetického materiálu. Zobrazení samotné hysterezní smyčky na obrazovce osciloskopu je možné pouze převedeme-li magnetické veličiny na veličiny elektrické.

Lze vyjít ze vztahů:

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = N_1 I_M = H l_S$$

$$H = \frac{N_1 I_M}{l_S}$$

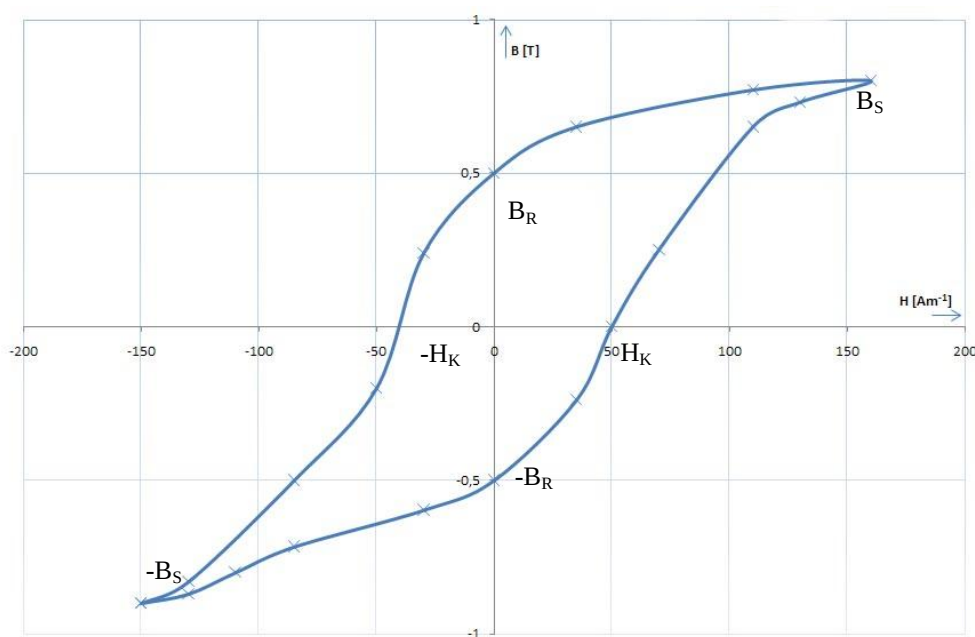
$$l_S = \pi d_S$$

$$\int_{t_1}^{t_2} u_i dt = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi_C = \Delta\Phi_C \quad \Rightarrow \quad \Delta B = \frac{\Delta\Phi_C}{S_{Fe} N_2} = \frac{1}{S_{Fe} N_2} \int_{t_1}^{t_2} u_i dt = \frac{k_{int} \Delta U_2}{S_{Fe} N_2}$$

Kde N_1 a N_2 představuje počet závitů primárního a sekundárního vnutí Epsteinova přístroje, l_S délku stěny siločáry a S_{Fe} plochu průřezu vzorku. Z rovnic je patrné, že magnetická indukce je úměrná integrálu výstupního napětí. Proto je na výstup připojen pasivní integrační článek (RC člen s $\tau \gg 1/f$) jehož výstupní napětí je tak úměrné magnetické indukci $\mathbf{B}$. Intenzitě magnetického pole $\mathbf{H}$ odpovídá vstupní proud. Ten můžeme získat jednoduše z Ohmova zákona na známém rezistoru $\mathbf{R}_S$ zapojeném do série s primárním vnutím. Tento odpor může také sloužit k simulaci změny odporu vnutí např. změnou teploty.

Měříme-li hysterezní smyčku soustředíme pozornost hlavně na její inflexní body $\mathbf{B_R}$, $\mathbf{B_S}$ a $\mathbf{H_K}$. $\mathbf{B_R}$ – remanentní indukce – hodnota magnetické indukce, která zůstává v materiálu při nulové intenzitě magnetického pole. $\mathbf{B_S}$ – saturace – hodnota magnetické indukce, při které již zvyšování intenzity magnetického pole nemá vliv na její růst (všechny domény jsou již natočeny). $\mathbf{H_K}$ někdy také označována $\mathbf{H_C}$ – koercitivita – hodnota intenzity magnetického pole, při které je dosaženo nulové magnetické indukce.

Jelikož je hysterezní smyčka středově souměrná jsou tyto body také ve třetím kvadrantu s opačnou orientací. Tvar hysterezní smyčky vyjadřuje graf:



Obecně je tvar hysterezní smyčky dán chemickým složením a strukturou materiálu.

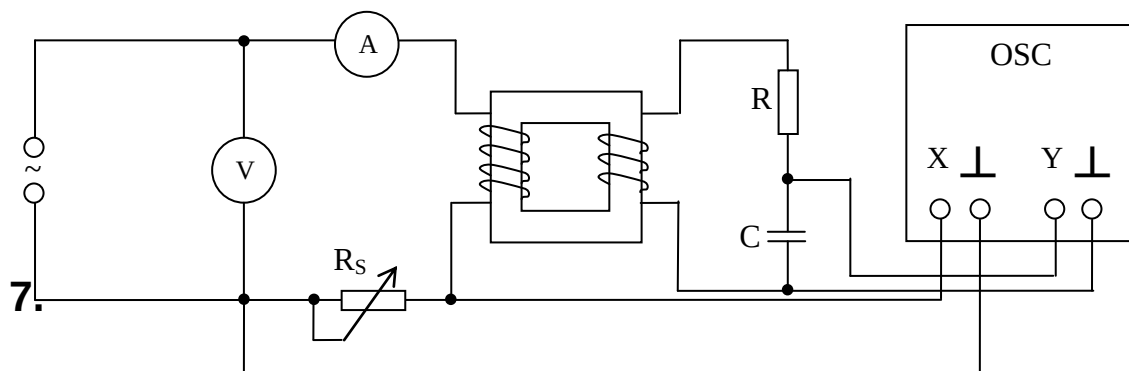
V praktických aplikacích se přidávají různé vlivy, například:

- teplota, s jejím růstem klesají hodnoty $\mathbf{B_R}$, $\mathbf{B_S}$ a $\mathbf{H_K}$
- deformace v tahu, hysterezní smyčku zplošťuje, deformace v tlaku zeštíhluje
- rostoucí frekvence přemagnetování snižuje $\mathbf{B_S}$ a zvyšuje $\mathbf{B_R}$
- vzduchová mezera v magnetickém obvodu smyčku zplošťuje

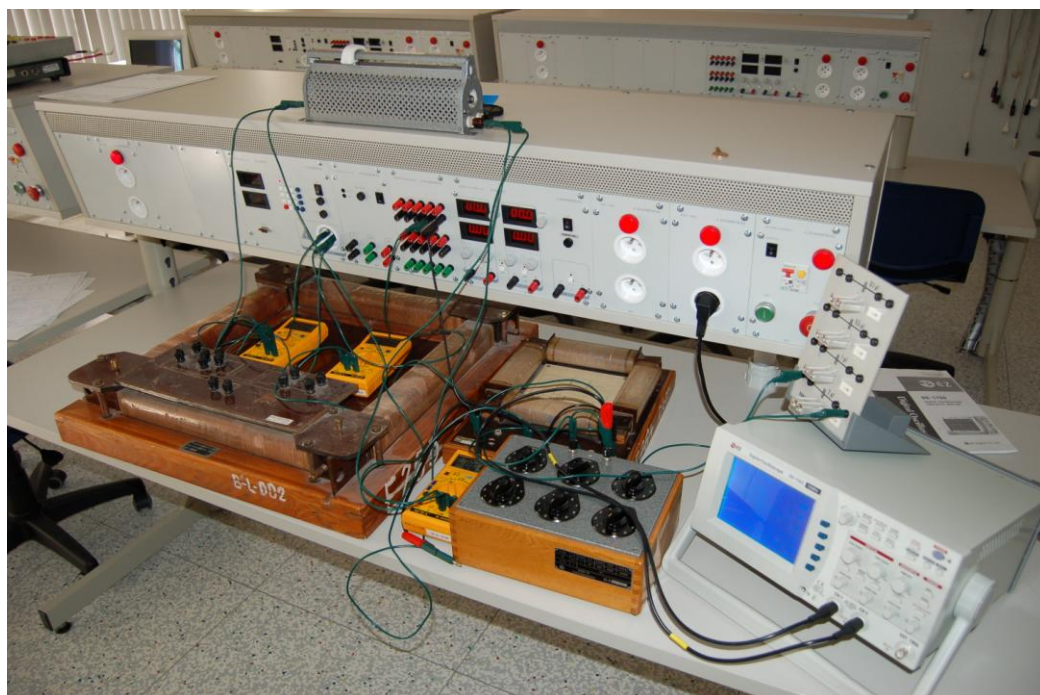
5. Postup měření:

1. Zapojení malého Epsteinova přístroje dle schématu zapojení
2. Nastavení hodnoty rezistoru R_S
3. Nastavení osciloskopu
4. Odečtení změřené hysterezní smyčky pro různé teploty (hodnoty R_S)
5. Získání a přepočet kritických hodnot
6. Zapojení jiného vzorku
7. Odečtení změřené hysterezní smyčky velký Epsteinův přístroj

6. Schéma měřícího zapojení:



7. Náhled zapojení měření:



Měření na velkém Epsteinově přístroji



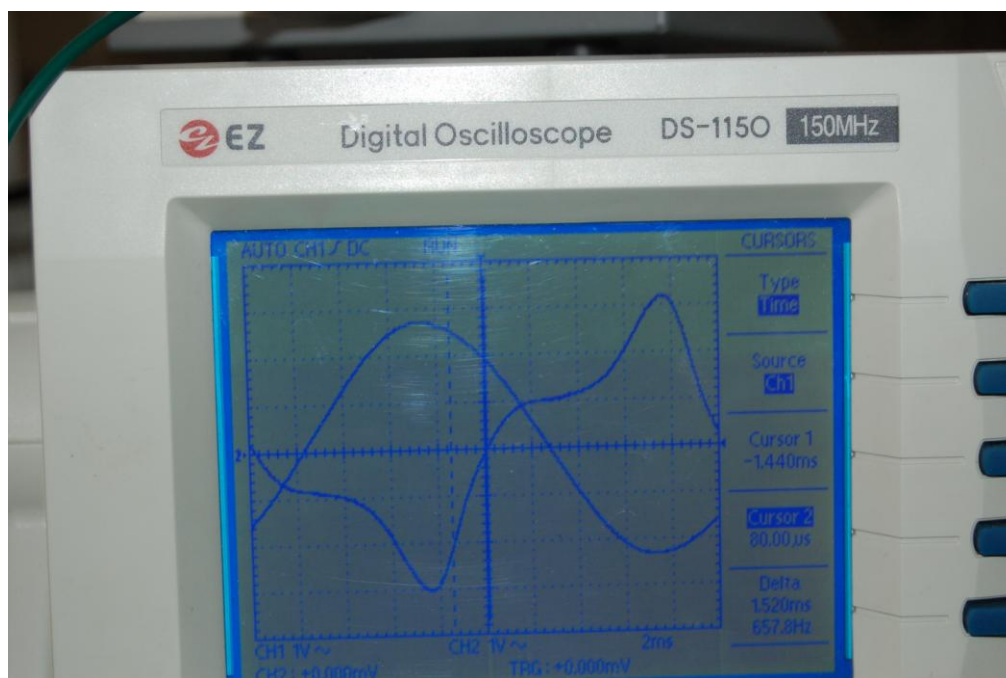
Měření na malém Epsteinově přístroji

8. Seznam použitých přístrojů:

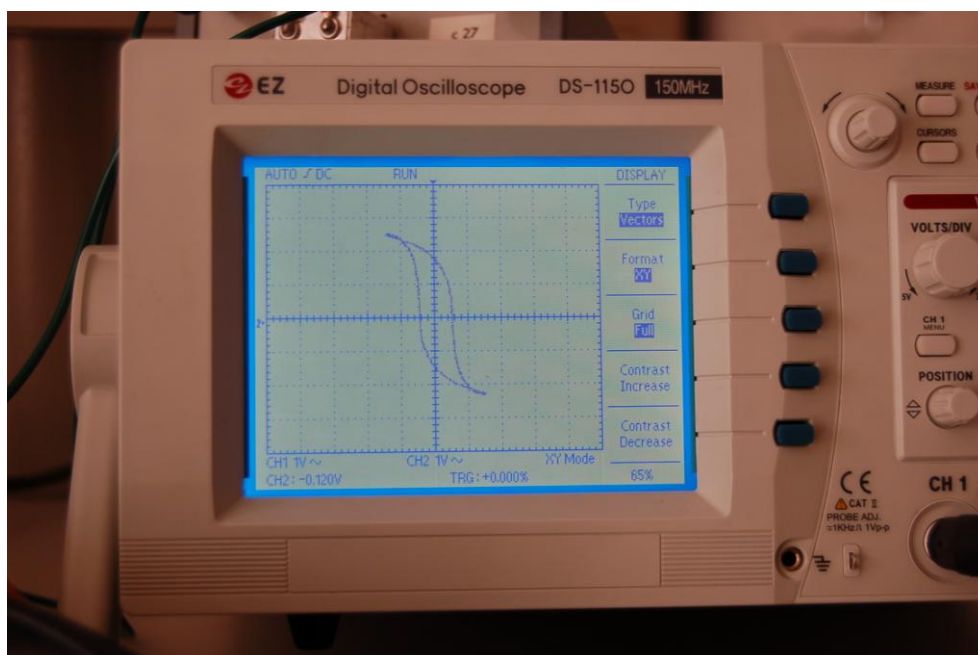
Laboratorní stůl	2004/68	zdroj AC 24V / max. 2A	
OSC	Osciloskop	EZ Digital DS-1150	I-L-057
Ampérmetr	METEX M-3650B	digitální multimetr	5-L-469
Voltmetr	METEX M-3650B	digitální multimetr	5-L-519
Ohmmetr	METEX M-3650B	digitální multimetr	5-L518
R	56k Ω	odporová dekáda	max. 1M Ω $\pm 0,1$ %
R _S	(5, 10, 15) Ω	potenciometr	max. 16 Ω 4A
C	C=2 μ F	kapacitní panel	Panel19-C27
Epsteinův přístroj	malý 700/2100 závitů	vzorek 1 kg	4-L-462
Epsteinův přístroj	velký	vzorek 10 kg	4-L-463

9. Naměřené hodnoty:

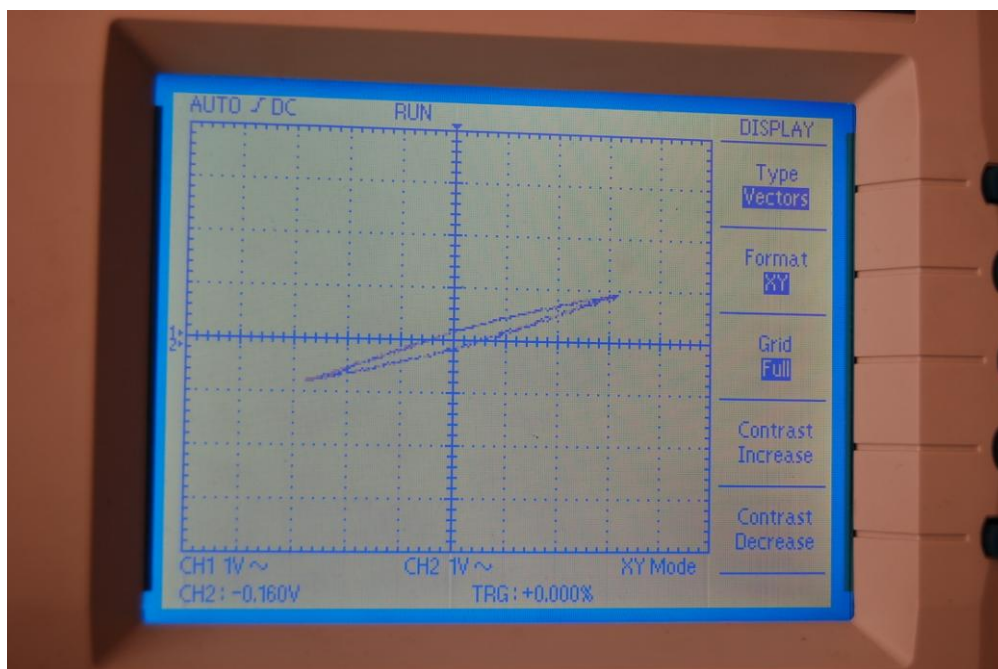
Průběhy jednotlivých časových os (X, Y) malý Epsteinův přístroj:



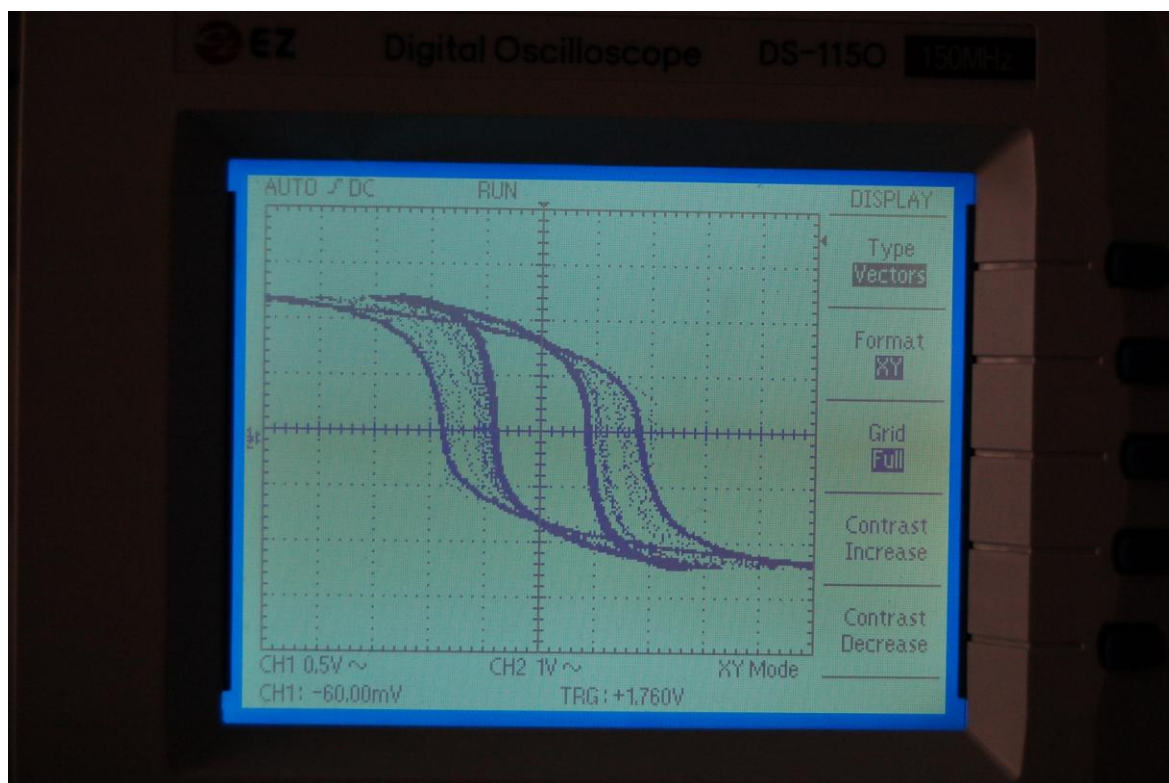
Hysterezní smyčka – malý Epsteinův přístroj



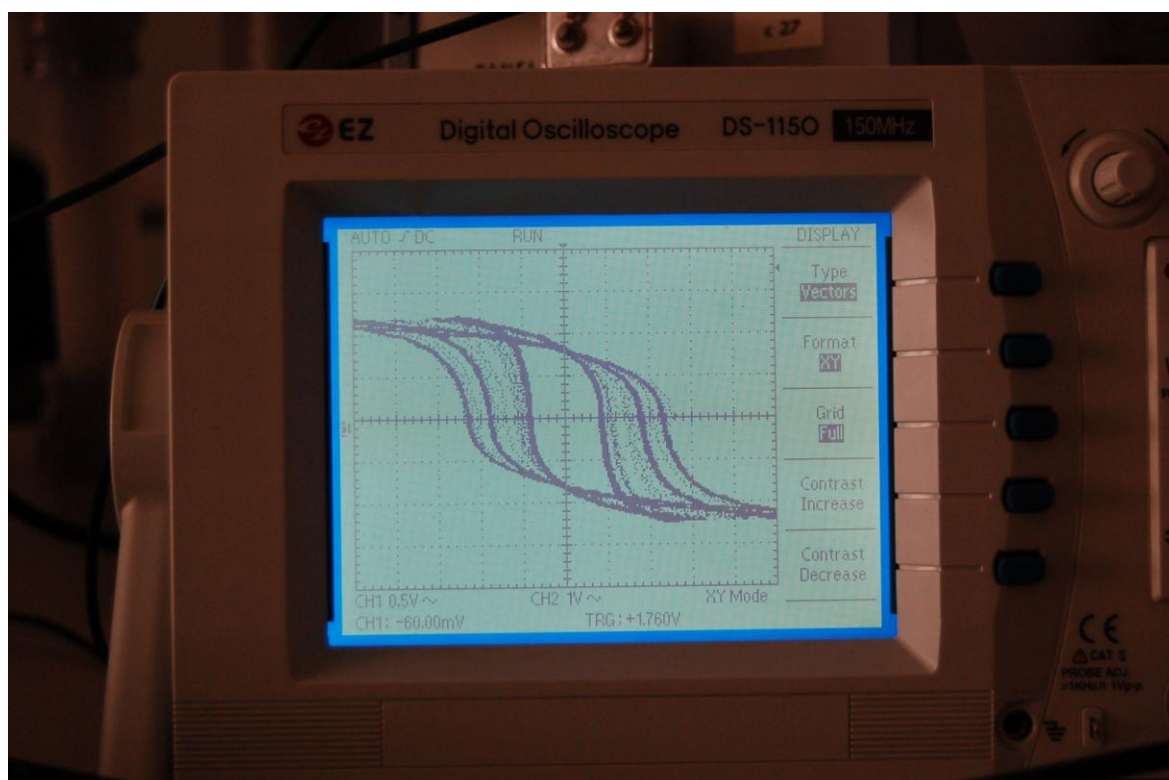
Hysterezní smyčka – velký Epsteinův přístroj



Hysterezní smyčka – malý Epsteinův přístroj, detail, 2 průběhy pro různé hodnoty R_s



Hysterezní smyčka – malý Epsteinův přístroj, 3 průběhy pro různé hodnoty R_s (teploty)



10. Závěr měření:

Byla změřena hysterezní smyčka pro různé materiály a pro různé sériové odpory (odpovídající teplotním změnám v okolí). U malého Epsteinova přístroje je naměřená hysterezní smyčka zrcadlově převrácena. To bylo způsobeno špatným označením svorek a tím vzniklým prohozením polaritu u primárního vstupu, který sloužil jako časová základna osciloskopu. Je-li však křivka převrácena kolem osy y jsou všechny poměry i naměřené hodnoty platné. Materiál malého Epsteinova přístroje je podle tvaru hysterezní smyčky železo či ocel, velký Epsteinův přístroj je pravděpodobně ze slitiny $\text{Fe}_4\text{O Ni}$. Železo s niklem tvoří soustavu dokonale rozpustnou v tekuté i tuhé fázi a jejich atomy se mohou libovolně nahrazovat v uzlových polohách krystalové mřížky.

Hlavním cílem měření bylo dokázat, že feromagnetické látky jsou velice závislé na okolních podmínkách. Vzhledem k technickým podmínkám nebyla měřená oblast nastavena na mezní podmínky (např. překročení Curierovy teploty a přechod materiálu do parametrů paramagnetických látek), ale na běžnou pracovní oblast. Přesto je z naměřených hysterezních smyček zřejmé, že je závislost pracovních rozsahů na teplotě je u těchto materiálů značná. V náhledu dvou a tří hysterezních smyček pro různé hodnoty R_s na jedné obrazovce lze vidět, že pro vyšší teploty je tvar i mezní hodnoty mimo původní rozsah.

11. Diskuse měření:

Toto měření s dostatečnou přesností dokázalo, že vlastnosti feromagnetických materiálů skutečně závisí na vnějších vlivech. TBD hypotézy.

Zohledníme-li, že měření bylo provedeno na laboratorním vzorku je zřejmé, že ve skutečné praxi by dopad okolních podmínek byl ještě markantnější. Hlavní využití feromagnetických materiálů je pro jádra elektromagnetů, cívek a transformátorů. Již minimální změna okolní teploty změní zcela vlastnost magnetické vlastnosti materiálu a tím např. převodní napětí, což může vést ke zničení napájených zařízení.

Vezmeme-li navíc v úvahu celkem nízkou hodnotu mezní teploty je citlivost k okolnímu prostředí u zařízení pracujících na principu přeměny elektrické energie na magnetickou a naopak zřejmá. Pro praktické a použitelné závěry by bylo třeba použít konkrétní zařízení (např. transformátor v rozhlasovém přijímači, nabíječku na mobilní telefon, tlumivky spínaných zdrojů či transformátorovou stanici) a proměřit jeho vlastnosti při různých podmínkách. Tyto měření by měla být provedena státní zkušebnou, která by pak měla garantovat jejich použitelnost v různých situacích.