

Návrh a hardwarová realizace logické jednotky pro zobrazování pracovní frekvence pro generátor $f = 2,45$ GHz pro zkoušky interference a susceptibility

Antonín Horák

ABSTRAKT

V bakalářské práci jsem se zabýval tvorbou logické jednotky pro snímání a zobrazování frekvence generátoru. Cílem bakalářské práce bylo navržení a následný pokus o realizaci logické jednotky pro zobrazování pracovní frekvence pro generátor s $f = 2,45$ GHz pro zkoušky interference a susceptibility v rámci EMC.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části - teoretickou a experimentální. V teoretické části jsem se zabýval problematikou EMC.

V praktické části jsem se zabýval problematikou číslicové techniky, návrhem a hardwarovou realizací snímací a zobrazovací jednotky generátoru.

ABSTRACT

In my thesis I deal with creation of a logical unit for reading and imaging of generator frequency. The aim of my thesis was designing and a subsequent attempt to create a logical unit for imaging generator operational frequency with $f = 2,45$ GHz for interference and susceptibility tests within the scope of EMC.

This thesis is divided into two parts; theoretical and experimental. In the theoretical part I dealt with the EMC issue.

In the practical part I concentrated on numerical technique, designing and hardware realization of the reading and imaging unit of the generator.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jánů Ivankovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval při řešení problémů v bakalářské práci.

OBSAH

OBSAH	5
ÚVOD.....	6
I. TEORETICKÁ ČÁST	7
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY EMC.....	8
1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	8
1.2 DŮVODY SAMOSTATNÉHO ROZVOJE EMC A DŮSLEDKY JEJÍHO PORUŠOVÁNÍ.....	9
1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ OBORU EMC	10
1.3.1 EMC biologických systémů	10
1.3.2 EMC technických systémů.....	12
1.4 NORMALIZACE V OBLASTI EMC	14
1.5 NORMALIZAČNÍ GRÉMIA A ORGANIZACE, DRUHY NOREM EMC	16
1.5.1 Vojenské normy EMC.....	16
1.5.2 Civilní normy EMC.....	17
1.5.3 Legislativa EMC v České republice, stručný obsah vybraných norem EMC	19
1.6 ZÁKLADNÍ POJMY EMC	27
1.7 EKONOMICKÉ HLEDISKO EMC	28
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	30
2. TEORIE ČÍSLICOVÉ TECHNIKY	31
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY	31
2.2 A/D PŘEVODNÍKY	33
2.2.1 Převodník využívající dvojnásobné analogové integrace	33
3. REALIZACE SNÍMACÍ A ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKY FREKVENCE.....	36
3.1 PŘÍPRAVNÁ ETAPA A SHROMAŽDOVÁNÍ DAT	36
3.2 TECHNICKO-REALIZAČNÍ ETAPA.....	38
3.2.1 Schéma zobrazovací a snímací jednotky frekvence generátoru.....	38
3.3 TECHNICKÁ DOKUMENTACE.....	47
3.4 KONTROLA FUNKČNOSTI SNÍMACÍ A ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKY GENERÁTORU	58
3.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY	60
ZÁVĚR:	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM TABULEK.....	67

ÚVOD

Téma bakalářské práce je zaměřeno na problematiku návrhu a realizace logické zobrazovací jednotky pro zobrazení pracovní frekvence pro generátor pro zkoušky interference a susceptibility v rámci EMC.

Práce je rozdělena na dvě části, a to na část teoretickou a část experimentální. První část práce je koncipována jako úvod do problematiky EMC. Této nové vědecké disciplíně se v posledních letech věnuje velká pozornost jak ze strany odborné veřejnosti, tak i ze strany laické veřejnosti. Dále bude v této části nastíněna problematika z oboru číslicové techniky jako jsou základní logické členy, problém minimalizace logických funkcí.

Experimentální část je rozdělena na návrh této logické zobrazovací jednotky a její hardwarovou realizaci. V další části jsem se pak zabýval její verifikací a zkouškou funkčnosti dle norem ČSN a EN.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Úvod do problematiky EMC

Elektromagnetická kompatibilita představuje systémovou a integrující disciplínu, která má významné finanční a ekonomické aspekty. Respektování EMC při vývoji, konstrukci a výrobě všech elektrotechnických a elektronických zařízení je již v současné době nezbytnou podmínkou pro jejich prodejnost na trzích. Ve všech průmyslových zemích existují normy EMC, kterým musí vyhovovat každé zařízení nebo přístroj.

Chceme-li exportovat výrobky českého průmyslu na tyto trhy, musí naše výrobky těmto normám vyhovovat. Toto hledisko se stalo životně důležité po 1. lednu 1996. Tehdy ve všech zemích EU vstoupila v platnost jednotná přísně sledovaná a sankciovaná direktiva č. 89/336/EEC, která předepisuje obecné požadavky EMC pro uvedení přístroje či zařízení na trh. Bez splnění těchto požadavků a jeho závazného prokázání je prodej, ale i jeho reklama nebo vystavení, finančně sankciován a zakázán.

Speciální oblastí EMC, jejíž aktuálnost vzrostla s rozvojem výpočetní techniky a jejím nasazením ve vojenství i v civilních oblastech, je otázka zachování a ochrany dat před zcizením či únikem. Problematika utajení dat je velmi aktuální například ve finančnictví, bankovníctví, průmyslovém výzkumu a vývoji, jaderné energetice a jinde.

1.1 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita, zkráceně EMC, se dříve nazývala elektromagnetická slučitelnost. Je to schopnost zařízení, přístroje či systému vykonávat správnou činnost i v prostředí, ve kterém působí i jiné zdroje elektromagnetických signálů (umělé nebo přírodní) a svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňují své okolí, to znamená nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení [2].

Elektromagnetická kompatibilita je fyzikální multidisciplinární obor, který zahrnuje ve svých teoretických základech celou elektroniku. Ve své praxi se ještě opírá o biologii či medicínu. Z těchto vědních disciplín využívá hlavně poznatků o vlivu elektrické energie na biologické systémy. Dále se zabývá ochranou před rušením u staveb strojů, přístrojů a ve

stavebnictví. Vzniká tak zcela nové průmyslové výrobní odvětví odrušovacích prostředků a co je nejdůležitější, navozuje řád v používání elektromagnetického prostředí.

Vznik této disciplíny se datuje do šedesátých let 20. století v USA a označuje novou integrující vědeckotechnickou disciplínu, zkoumající podmínky slučitelnosti provozu jednotlivých systémů a cesty vedoucí k její optimalizaci. Poměrně dlouhou dobu, 10 až 15 let, byla předmětem zájmů jen úzkého okruhu odborníků v elektronice, kteří pracovali ve vojenském a kosmickém průmyslu. Rychlý rozvoj elektroniky, a pak zvláště mikroprocesorové techniky v posledních desetiletích a jejímu pronikání do oblastí každodenního života, ztratila EMC svoji exklusivnost a stále více se dotýká nás všech.

Pojem **elektromagnetická kompatibilita** (z anglického „Elektromagnetic Compatibility“, ze kterého vychází i mezinárodně používaná zkratka EMC) vyjadřuje schopnost současné správné funkce, tzv. koexistenci zařízení či systémů nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí.

1.2 Důvody samostatného rozvoje EMC a důsledky jejího porušování

Zařízení nebo systémy (biologické nebo technické) musí být odolné vůči působení jiných zařízení a nesmí při své činnosti samy nepříznivě ovlivňovat normální funkci jiných zařízení či systémů. Přitom každé zařízení či systém, nebo jejich určitá část, může být vysílačem (zdrojem) i přijímačem (obětí) rušení.

EMC je širší pojem než jen prostá spolehlivost systému, se kterou byla ve svých začátcích ztotožňována.

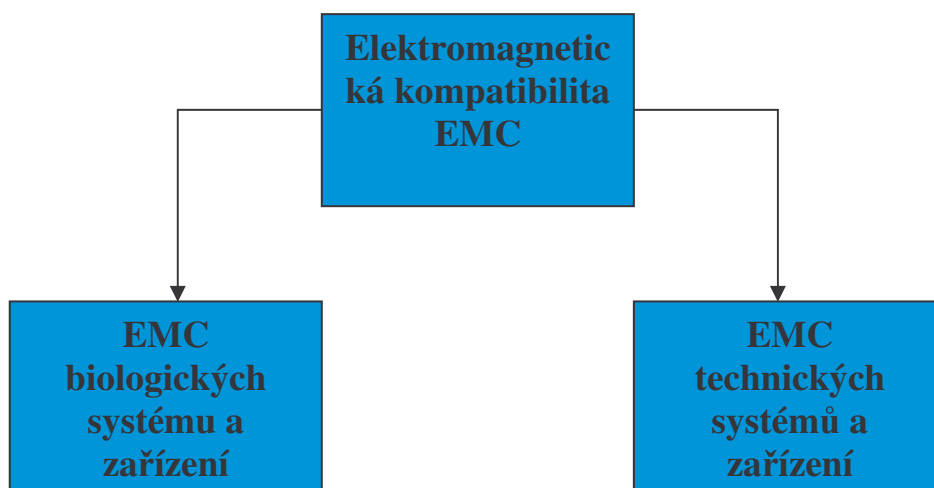
V dnešní době v důsledku neustále stoupajícího množství spotřebičů, které mají nelineární charakteristiku a jsou připojeny k napájecí síti, stoupá úroveň rušení v rozsahu kmitočtového pásma od 0 Hz až do desítek GHz.

Toto vede ke vzniku těžko řešitelných situací, protože jsou používána velmi citlivá zařízení, která mají rychlou odezvu (μs a ns) a musí pracovat v prostředí se silným rušením. Jako příklad si můžeme vzít řídicí počítač v technologickém procesu, který je spojen s výrobní linkou pomocí velkého počtu čidel, k nimž často vedou i několik set metrů dlouhé kabely, které nesou signál o velmi nízkých úrovních (mV a mA).

Tyto kabely bývají často vystaveny silným rušivým polím, které do nich mohou naindukovat napětí, které může dosáhnout desítek až stovek voltů. Tyto parazitní signály mohou být řídicím počítačem nesprávně vyhodnoceny jako informace z technologického procesu a mohou mít za následek nesprávný zásah do technologického procesu a způsobit tím havárii technologického zařízení, hospodářské škody, ale také ohrožení zdraví nebo života lidí.

1.3 Základní rozdělení oboru EMC

Obor EMC můžeme rozdělit podle různých hledisek. Celkově však lze rozdělit EMC na dvě hlavní části: viz obrázek (Obr 1)



Obr. 1. Základní rozdělení EMC

1.3.1 EMC biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá „elektromagnetickým pozadím“ našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých a užitečných elektromagnetických signálů a jejich vlivem na živé organismy. Obecné biologické účinky závisí na jeho charakteru a době působení a vlastnostech organismu. Jelikož nejsou známy žádné receptory pole, účinky se posuzují na organismech podle jeho reakcí.

Každý člověk reaguje na působení elektromagnetického pole jinak. Mají na to vliv jeho individuální schopnosti a adaptační, kompenzační a regenerační možnosti. Proto se

velmi těžko analyzují změny v organismu, které způsobuje elektromagnetické pole a je velmi obtížné dojít na základě statistických výsledků k obecně platným závěrům.

Problematikou EMC biologických systémů se zabývají některá výzkumná lékařská pracoviště, která si stanovila za cíl posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům. U mikrovlnných a vysokofrekvenčních polí jsou to hlavně tzv. *tepelné účinky*, které jsou relativně nejvíce objasněny, tj. účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním elektromagnetických polí. Příslušné hodnoty prahových výkonových hustot elektromagnetického pole na velmi vysokých frekvencích, při jejichž překročení může dojít k poškození organismu teplem, jsou uvedeny v tabulce 1.

Těchto tepelných účinků se začalo v poslední době využívat k léčbě zhoubných nádorů (např. rakovina prsu a prostaty, v Číně se tato metoda používá k léčbě nádorů na játrech a ledvinách). Způsob této léčby spočívá v nasměrování elektromagnetických vln do jednoho bodu, což způsobuje ohřev tkáně. Tkáň je postupně zahřívána až nad 60°C a nádorové buňky hynou.

Účinky elektromagnetického pole na srdečně cévní, krvetvorný a imunitní systémy, ale také na nervový systém se přisuzují tzv. „*netepelným účinkům*“, tj. aby se tyto účinky projeví, je třeba delší expozice v elektromagnetickém poli s relativně nízkou výkonovou úrovní. Zatím ale nebyly jednoznačně prokázány ani genetické či karcinogenní účinky na organismus. Tyto skutečnosti v obtížnosti posuzování EMC biologických systémů zapříčinily to, že v příslušných hygienických normách ve světě existují až řádově velké rozdíly. Např. v přípustných dávkách elektromagnetického záření.

Tab. 1. Prahové hustoty tepelných účinků elektromagnetického pole

Pásmo elektromagnetických vln [GHz]	Prahová výkonová hustota [mW/cm]
0,3 - 3	40
3 -30	10
30 - 300	7

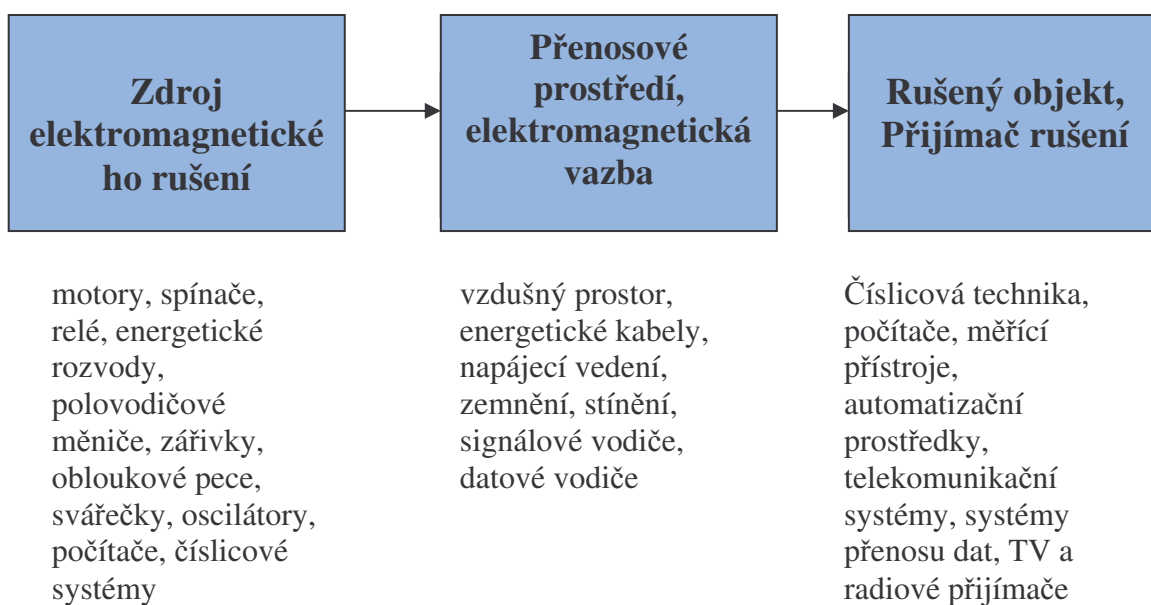
Tabulka (Tab. 1) pro certifikační přístroje je rozdělena do původních třech úrovní. V dnešní době se pro využití a řešení EMC využívá frekvence ve třetí úrovni do 42 GHz.

1.3.2 EMC technických systémů

EMC technických systémů a zařízení se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků. Jedná se hlavně o elektrotechnické a elektronické přístroje, prostředky a zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita, která se původně zabývala pouze ochranou proti rušení radiového příjmu, se v současnosti rozvinula v široký obor, který se člení do několika dílčích podoborů a oblastí. Při zkoumání jednotlivých problémů EMC je potřeba mít na paměti, že EMC je obor aplikační a zejména systémový.

Při zkoumání EMC každého zařízení či systému (biologického nebo technického) se vychází vždy z tzv. *základního řetězce EMC*, uvedeného na obrázku (Obr. 2). Řetězec zdůrazňuje zmíněný systémový charakter problematiky EMC, kdy v obecném případě vyšetřujeme všechny tři jeho složky.



Obr. 2. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

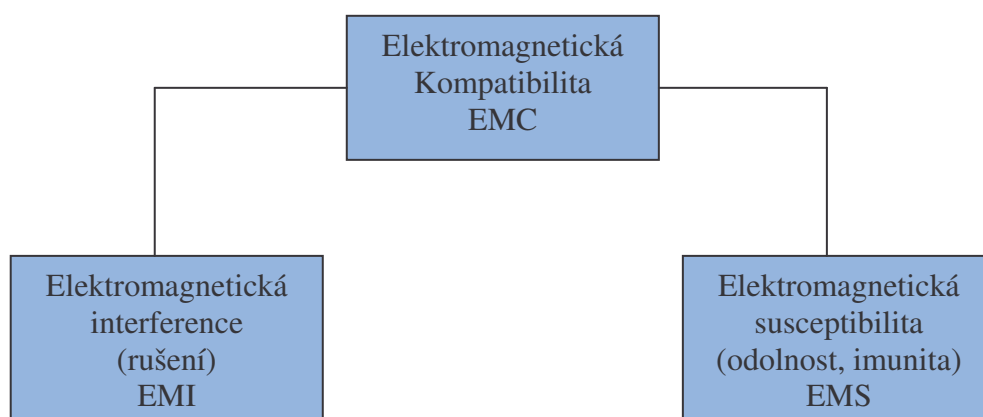
mechanismů vzniku rušení, jeho intenzity a charakteru. Do této kategorie patří jak přírodní zdroje rušivých signálů (např. slunce, elektrické procesy v atmosféře, atd.), tak i umělé zdroje rušení, to znamená zdroje vytvořené lidskou činností, k nimž patří různá technická zařízení.

Přenosové prostředí a elektromagnetická vazba se zabývá způsoby a cestami, kterými se rušivá energie ze zdroje rušení přenáší do přijímačů rušení (rušených objektů).

Rušené objekty, přijímače rušení v této oblasti se EMC zabývá klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy technologických a konstrukčních parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností.

U skutečného řetězce v EMC se nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a ani jediného přijímače rušení, ale řeší se vzájemné vztahy více systémů, které se vzájemně ovlivňují. Obvykle postupujeme tak, že jeden systém považujeme nejdříve za zdroj rušení a všechny ostatní za přijímače rušení.

Problematika EMC se člení do dvou základních skupin a je znázorněna na obrázku (Obr. 3).



Obr. 3. Základní dělení problematiky EMC.

Elektromagnetická interference EMI (angl. Electromagnetic Interference) nebo také elektromagnetické rušení je děj, kdy signál generovaný zdrojem rušení je přenášen pomocí elektromagnetické vazby do rušeného systému. EMI se tedy zabývá identifikací zdrojů rušení a jejich popisem, dále pak měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest.

Kompatibilita celého systému z hlediska EMI se dosahuje technickými opatřeními na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. EMI se tedy zabývá hlavně příčinami rušení a jejich odstraňováním.

Elektromagnetická susceptibilita nebo imunita EMS (angl. Eletromagnetic Susceptibility) neboli elektromagnetická citlivost či elektromagnetická odolnost je vlastnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se zabývá především technickými opatřeními, která zvyšují u objektu (přijímače rušení) jeho elektromagnetickou odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká odstraňování důsledku rušení bez odstraňování jejich příčin [6].

Výše uvedené oblasti v sobě zahrnují celou řadu společných kroků a nezbytných postupů. Velmi rozsáhlou a důležitou oblastí je měření elektromagnetické interference, rušivých signálů a jejich identifikace.

Mimo měření rušení se v současnosti rychle rozvíjí i oblast testování elektromagnetické odolnosti systémů pomocí tzv. simulátorů rušení (EMC simulátory). V této oblasti jde o praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení. Testování je prováděno nejen na hotových zařízeních, ale již v průběhu jejich vývoje a výroby.

Stále rozšířenější je i oblast počítačového modelování a simulace EMS i EMI, která využívá mnoho rozsáhlých softwarových produktů mnoha firem. Tento přístup se osvědčil zejména ve stádiu návrhu a vývoje daného systému či zařízení, jelikož poskytuje základní a výchozí poznatky o úrovni jeho EMC a umožňuje tak realizovat optimální technický návrh zařízení z hlediska EMC. Na všechny dosud popsané oblasti úzce navazuje oblast tvorby norem a předpisů EMC.

1.4 Normalizace v oblasti EMC

Důležitou a nedílnou součástí všech oblastí EMC je tvorba příslušných norem a předpisů. Tvorba těchto norem a předpisů byla a je motivována různými cíly. Normy a další legislativa pro EMC se liší např.:

- *důvodem svého vytvoření* – např. proto aby poskytovala modelový příklad či pravidlo, případně aby zajistila konsistenci zařízení z důvodu jednotnosti či povinné bezpečnosti provozu apod.
- *cílem svého určení* – např. pro určení či popis vlastností systému a zařízení, jeho designu, označování apod.

- *vývojem svého vzniku* – např. vzájemnou dohodou, vytvořením zákazníkem, jakožto formalizovaná procedura apod.
- *charakterem svého použití* – závazné normy, doporučené či dobrovolné normy apod.
- *důsledky či dopadem svého použití* – od prakticky nulového dopadu až po závažné důsledky svého použití, případně nedodržení. [6]

Všechna elektromagnetická zařízení produkují určitou úroveň elektromagnetických emisí a současně vykazují určitou odolnost vůči nim. Proto normy EMC předepisují základní emisní limity pro dané zařízení a na druhé straně jejich odolnost vůči rušení. Z tohoto hlediska lze normy EMC rozdělit do těchto kategorií:

Normy rušivého vyzařování
(normy pro EMI)



Mezní hodnoty rušivého vyzařování
Měřicí metody a přístroje pro měření EMI

Normy elektromagnetické odolnosti
(normy pro EMS)



Mezní (minimální) hodnoty odolnosti
Zkušební metody a přístroje pro testování EMS

Normy pro odrušovací prostředky



Vlastnosti odrušovacích prostředků
Zkoušky a přístroje pro měření odrušovacích prostředků

Nejstarší a proto nejpropracovanější a obecně nejznámější jsou normy pro specifikaci rušivého elektromagnetického vyzařování, které jsou součástí klasické ochrany a odrušení rádiového spektra a rádiových spojů. Závazné normy a předpisy pro elektromagnetickou odolnost technických zařízení jsou podstatně mladší, jejich počet je menší a stále se dopracovávají.

Na rozdíl od obou těchto norem, které jsou legislativně zakotveny státními, a proto závaznými předpisy, týkající se normy pro odrušovací prostředky jen vzájemného vztahu výrobce – zákazník a nejsou většinou legislativně zakotveny, to znamená mají jen formu doporučení.

1.5 Normalizační grémia a organizace, druhy norem EMC

Na mezinárodním úrovni je hlavní organizací pro celou oblast elektrotechniky *mezinárodní elektrotechnická komise IEC* (International Electrical Commission), v jejímž rámci se vytváří veškeré elektrotechnické normy a předpisy, tedy i normy a předpisy pro EMC. IEC, která vznikla 4.9. 1904 v St. Luis v USA, je zařazena do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného *mezinárodní organizací ISO* (International Organization of Standardization). V rámci IEC se otázkami elektromagnetické kompatibility zabývá především specializovaný *výbor pro rádiovou interferenci CISPR* (franc. Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), který vznikl na ochranu rádiového a televizního vysílání. Vyvinul se během let v jednu z nejvýznamnějších autorit v oblasti EMC. V současné době je její hlavní pozornost směřována do oblasti elektromagnetického rušení od zařízení informační techniky.

Oborově je IEC rozdělena do tzv. *technických komisí TC*, z nichž k problematice EMC přispívají hlavně -

- TC 41
- TC 77
- TC 65
- TC 57

Se vznikem jednotné Evropy se společným otevřeným trhem vzniká nutnost sjednotit a harmonizovat mnoho různých předpisů a norem. Mimo mezinárodních celosvětově uznávaných norem (IEC, CISPR) a národních norem (české normy ČSN, britské BS apod.), vznikají ve společném evropském prostoru systém jednotlivých *evropských norem EN*. Jejich vytvářením a přípravou se zabývají dvě komise Evropské unie – CEN a CENELEC.

V České republice je těmito úkoly pověřen Český normalizační institut ČNI v Praze.

1.5.1 Vojenské normy EMC

Vojenské normy používané v mnoha armádách světa představují první existující normy a předpisy pro oblast EMC, z kterých se později vyvinuli i příslušné civilní normy.

Velmi propracovaná soustava norem EMC, která vznikala především v amerických ozbrojených silách pod označením MILD-STD. Tato norma se prostřednictvím NATO rozšířila do zemí západní Evropy a byla přebrána armádami těchto zemí.

Vojenské zařízení často představují špičkové technické možnosti v dané oblasti a jsou užívány ve velmi obtížně definovaných podmínkách, a proto se jejich testování provádí za velmi specifických a náročných podmínek připomínajících realitu. Vojenské normy byly prvními a po mnoho let jedinými, které se testováním odolnosti podrobně zabývaly. Z tohoto důvodu byly také dlouhou dobu v širokém rozsahu užívány i v civilním sektoru jako normy doporučené.

Hlavní odlišností vojenských a civilních norem spočívá v tom, že pro měření a vyhodnocování elektromagnetického rušení se používají různé hodnoty. U vojenských norem se používá detekce špičkových hodnot (peak detection), zatím co u civilních norem se používá metodika CISPR, používající detekci kvazi-špičkových hodnot (quasi-peak detection). CISPR je zaměřena především na ochranu radiového příjmu a zvukového signálu před rušením. Vojenské normy mají za cíl vyhodnocení špičkových hodnot rušení a jeho vlivu na vojenské zařízení, zejména při testování účinnosti jejich stínění špičkovým detektorem. Další podstatný rozdíl mezi vojenskými a civilními normami spočívá v mezních hodnotách elektromagnetického vyzařování a v jiných měřicích kmitočtových rozsazích, které bývají většinou širší.

1.5.2 Civilní normy EMC

V rámci **Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC)** se otázkami EMC zabývá především technická komise TC 110. Na základě dohody o spolupráci přebírá tato komise od **Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC)** již existující mezinárodní normy IEC a IEC CISPR beze změn a současně předkládá IEC požadavky a návrhy na vypracování nových norem. Takto vznikající, příp. přebírané normy, lze podle jejich charakteru dělit do tří skupin:

- **Základní normy** určují základní všeobecné podmínky pro dosažení elektromagnetické kompatibility u libovolného technického produktu. Typickými základními normami jsou právě normy IEC a CISPR.

- **Kmenové normy** specifikují minimální soubor požadavků (jak pro vyzařování tak pro odolnost) a testovacích metod EMC použitelných pro všechna zařízení pracující v určitých typech elektromagnetických prostředích (obytná prostředí, průmyslová prostředí, speciální prostředí apod.) Mezi kmenové normy patří např. evropské normy EN.
- **Předmětové normy** definují detailní specifické elektromagnetické požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení. Patří sem normy IEC, CISPR i EN. Předmětové normy mohou být použity na následující skupiny výrobků s celkem asi 50 různými individuálními produkty.
 - Spotřebiče pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné elektrické nářadí a podobné elektrické přístroje s výjimkou zařízení informační techniky (ZIT)
 - Průmyslová zařízení s výjimkou ZIT
 - Zařízení informační techniky a telekomunikační zařízení
 - Televizory a podobná zařízení
 - Dopravní a přepravní zařízení
 - Účelová zařízení
 - Lékařská zařízení
 - Měřicí a testovací zařízení

Všechny výše uvedené typy norem mají podle stupně své legislativní podpory buď závazný nebo pouze doporučující charakter.

Závazné normy (Regulatory, Mandatary Standarts) mají charakter zákona. Vyrábět a prodávat výrobky, které těmto normám nevyhovují je nelegální a trestné. V Evropské unii je takovou normou především Směrnice Rady Evropské unie č.89/336/EEC z roku 1989. V ní uvedené zásady musejí být dodrženy a respektovány. V USA mají sílu zákona federální normy z Federální komunikační komise FCC (*Federal Communications Commission*).

Doporučené normy (Voluntary Standarts) jsou projevem určité dohody a mají jen doporučující charakter. Vznikají jako výsledek společné práce výrobců a normalizačních organizací. V USA jde např. o ASTM (*American Standards and Testing Materials*) v oblasti materiálu, nebo o SAE (*Society of Automotive Engineers*) v automobilovém

průmyslu. Podobně existují doporučené normy od IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), EIA (*Electronic Industries Association*) a dalších profesních zájmových organizací. Koordinačním orgánem normalizační činnosti v USA je **Americký národní normalizační institut ANSI** (*American National Standards Institute*), který často přejímá normy od těchto organizací. Takto převzaté normy pak jsou označovány jako ANSI/ASTM, ANSI/IEEE atd. V Evropě je situace v této oblasti více centralizovaná a koordinace jednotlivých normalizačních organizací se uskutečňuje prostřednictvím nadnárodních organizací, především CENELEC a jeho komisí.

Současně je třeba si uvědomit, že přestože jde „pouze“ o doporučené normy, je jejich vliv na trhu výrobků skoro stejný jako u závazných norem. Doporučené normy jsou často brány jako prodejní specifikace a jejich neplnění je bráno v úvahu při pojišťovacích nebo náhradových řízeních apod.

1.5.3 Legislativa EMC v České republice, stručný obsah vybraných norem EMC

V bývalém Československu se problematiky EMC týkalo jen několik zákonů, a to většinou pouze v souvislosti s jinými zákony pro určité oblasti především spojovací techniky. Podle těchto zákonů se postupovalo až do konce roku 1994, kdy se od 1.1.1995 staly všechny platné české (státní) normy (ČSN) nezávaznými. Problematika dodržování EMC technických zařízení tak zůstala v České republice legislativně nezajištěna.

V souvislosti s všeobecnými přípravami přistoupení České republiky k Evropské unii byl po několikaleté přípravě v ČR v lednu 1997 přijat zákon č.22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky, který nabyl účinnosti dnem 1.9.1997. Tento zákon byl novelizován a doplněn zákonem č. 71/2000 Sb. ze dne 24. 2. 2000. Na tyto zákony navázala řada vládních nařízení ve formě prováděcích vyhlášek k jeho praktickému zajištění.

Od roku 1997 probíhá v České republice intenzivní harmonizace všech národních technických norem. Tyto normy, které si podržely tradiční označení **ČSN**, vznikají přebíráním (tj. překladem) odpovídajících harmonizovaných norem IEC, CISPR, EN, příp. ETS; jsou pak označeny jako CSN IEC, CSN CISPR, CSN EN, případně CSN ETS. Za touto skupinou písmen následuje skupina čísel, která je stejná jako v příslušné výchozí mezinárodní normě. Příslušná ČSN se stává harmonizovanou, pokud splnění jejich technických požadavků zajistí naplnění zásad zákona č.22/1997 Sb. a pokud byla

zveřejněna v oficiálním Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v Praze. Zařízení, které splňuje ustanovení harmonizovaných českých norem, pak automaticky vyhovuje i příslušným evropským či mezinárodním normám a lze je tedy exportovat i na tyto trhy.

V České republice je koordinačními pracemi v oblasti všech norem pověřen **Český normalizační institut ČNI** (www.csni.cz) v Praze. Jeho **technická normalizační komise TNK 47** postupně reviduje existující české normy CSN (tj. i dřívější československé státní normy) v oblasti EMC a harmonizuje je s normami IEC, CISPR a EN. Přebíráním a překladem těchto světových a evropských norem tak vznikají harmonizované normy CSN s označením CSN IEC, CSN CISPR či CSN EN.

V souladu se základním dělením celé problematiky EMC znázorněném na obr. 2 na oblast EMI a EMS, lze i příslušné normy rozdělit na tři tématické celky:

Normy zabývající se obecnou problematikou EMC (EMC Standards)

Zde můžeme zařadit především obecné normy ČSN EN 50081 a ČSN EN 50082. Jde o kmenové normy (*Generic Standards*) vycházející ze základních norem a stanovující všeobecné požadavky EMC, které mají splňovat jakékoli elektrické spotřebiče či přístroje, určené k provozu v určitém typu prostředí. Obě normy přitom rozlišují:

- a) prostředí obytná, obchodní a prostředí lehkého průmyslu,
- b) prostředí průmyslová, příp. speciální.

ČSN EN 50081 - Elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkající se vyzařování se ve své **Části 1** týká prostorů obytných, obchodních a lehkého průmyslu, tedy míst charakterizovaných zejména tím, že jsou napájena přímo z veřejné napájecí sítě nízkého napětí. Účelem normy je stanovení mezních hodnot elektromagnetického vyzařování v kmitočtovém rozsahu 0 až 40 GHz a příslušných zkušebních metod. Tyto mezní hodnoty jsou shrnuty v Tab.1 Příslušné meze vyzařování byly stanoveny tak, aby bylo zajištěno, že běžně generovaná rušení v prostorech specifikovaných normou nepřekročí úroveň, která by narušila činnost jiných běžných elektrických a elektronických přístrojů. Tyto meze jsou přitom pouze základní a nezaručují nerušený provoz jiných vysoce citlivých přístrojů a zařízení umístěných v bezprostřední blízkosti zdrojů rušení. Např. u rozhlasových a televizních přijímačů je to vzdálenost zdroje rušení od antény

přijímače menší než 10 m. Jednotlivé mezní hodnoty a požadavky na zkoušení jsou normou specifikovány pro každý vstup zařízení, tj. pro každé rozhraní daného přístroje s vnějším elektromagnetickým prostředím. Tato všeobecná norma EMC se používá jen v těch případech, kdy pro dané zařízení neexistuje výrobová norma EMC či norma EMC pro skupinu výrobku. Norma se přitom netýká přístrojů a zařízení určených pro vysílání elektromagnetických vln pro radiokomunikační účely.

Část 2 normy ČSN EN 50081 specifikuje požadavky na rušivé emise elektrických či elektronických zařízení, které jsou provozovány v tzv. průmyslovém prostředí. Toto prostředí je normou definováno jako prostory, které se vyznačují alespoň jednou z následujících charakteristik:

- a) přítomnost průmyslových, vědeckých či lékařských přístrojů (PVL);
- b) časté spínání velkých indukčních nebo kapacitních zátěží;
- c) přítomnost velkých proudů a s nimi spojených magnetických polí velké intenzity.

Metodika zkoušek a použitelnost normy jsou shodné jako v předchozí Části 1. Normu lze použít opět jen v případě, že pro dané zařízení nejsou k dispozici kmenové normy, normy výrobku či normy skupiny výrobku. V případě, že zařízení nevyhovuje mezním hodnotám rušivých veličin definovaných normou ČSN EN 50081-2, musí být opatřeno sdělením, že v žádném případě nesmí být použito v prostorech obytných, obchodních a lehkého průmyslu.

ČSN EN 50082 - Elektromagnetická kompatibilita - všeobecná norma týkající se odolnosti v **Části 1** stanoví požadavky na elektromagnetickou odolnost zařízení pracujících v obytných či obchodních prostorech, příp. prostorech lehkého průmyslu. Tuto všeobecnou normu lze však použít jen v případě, že pro dané zařízení neexistují jednoúčelové normy výrobku nebo skupiny výrobku. Pokud takové normy existují, pak mají ve všech ohledech přednost před touto všeobecnou normou ČSN EN 50082. Podobně jako norma ČSN EN 50081, platí i norma ČSN EN 50082 v kmitočtovém pásmu 0 Hz až 300 GHz a nevztahuje se na zařízení určená k vysílání elektromagnetických vln pro radiokomunikační účely.

V části 2 normy ČSN EN 50082, tedy ČSN EN 50082-2, se navazuje ve všech obecných specifikacích na předchozí Část 1 a definuje požadavky na elektromagnetickou

odolnost zařízení určených pro průmyslové prostředí jak vnitřní, tak i vnější. Přístroje, na něž se tato část normy vztahuje, nejsou určeny pro přímé připojení do veřejné napájecí sítě, ale do rozvodných sítí napájených z transformátoru vysokého či velmi vysokého napětí určeného k napájení instalací ve výrobních a podobných průmyslových závodech. Norma zároveň uvádí, že dominantní zdroje rušení v průmyslových prostorech je možno některými opatřeními omezit tak, že se vytvoří elektromagnetické prostředí, pro něž lze použít normu ČSN EN 50082-1 stejně jako pro prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu.

Normy elektromagnetického rušení (Emission Standards)

Tato oblast EMC je zakotvena v mezinárodních normách CISPR 11 až 23, které jsou postupně přebírány do evropských harmonizovaných norem rady EN 55000. Normy CISPR z této oblasti patří k vůbec nejstarším existujícím normám EMC. Vznikly již v padesátých letech, tedy daleko dříve, než se EMC etablovala jako samostatná vědeckotechnická disciplína a byly původně koncipovány výhradně pro ochranu rádiového příjmu před rušením. Průběhem let a svou harmonizací pro evropské prostředí však nyní jejich české ekvivalenty zahrnují veškerou problematiku vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení. Uvedené normy jsou jak základní (např. CISPR 16), kmenové i předmětové (např. CISPR 22).

ČSN EN 55011 - Meze a metody měření charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských (PVL) vysokofrekvenčních zařízení odpovídá původní normě CISPR 11 a platí pro zařízení určená ke generování či využívání vysokofrekvenční energie pro průmyslové, vědecké a lékařské účely a pro elektrojiskrová zařízení. Elektrická zařízení PVL jsou touto normou rozdělena do dvou tříd:

Zařízení třídy A jsou elektrická zařízení vhodná k používání ve všech objektech kromě obytných prostorů (domácností), případně zařízení, která nejsou přímo připojena na rozvodnou síť nízkého napětí obytných budov. Mezní hodnoty rušení zařízeními třídy A jsou tzv. **meze třídy A**. Norma specifikuje, že užívání zařízení, které sice nesplňuje meze třídy A, avšak nezpůsobuje nepřijatelné zhoršení veřejných radiokomunikačních služeb, může být povoleno příslušným kompetentním státním orgánem. Výjimečně, a při provedení potřebných opatření, může tento orgán rovněž povolit instalaci a provoz zařízení třídy A i v domácnostech, příp. v provozu přímo připojeném na napájecí síť obytných budov.

Zařízení třídy B jsou zařízení vhodná k použití v obytných objektech a v objektech přímo připojených k rozvodné síti nízkého napětí napájející obytné budovy. Zařízení třídy B musí z hlediska elektromagnetického rušení vyhovovat tzv. **mezím třídy B**.

Z hlediska své vnitřní konstrukce a způsobu využití vf. pole se zařízení PVL obou tříd dělí do dvou skupin:

Skupina 1 obsahuje všechna zařízení, v nichž je vysokofrekvenční elektromagnetické pole záměrně generováno pro zajištění vnitřní funkce samotného zařízení. Příkladem zařízení skupiny 1 jsou laboratorní, lékařské a vědecké přístroje typu signální generátory, měřicí přijímače, měřiče kmitočtu, spektrální analyzátory, samostatné napájecí zdroje apod.

Skupina 2 obsahuje všechna zařízení, z nichž je generované vysokofrekvenční pole záměrně vyzařováno vně zařízení pro zajištění jeho funkce, např. pro zpracování materiálu. Do skupiny 2 patří Průmyslová zařízení s indukčním ohřevem, domácí indukční pece, zařízení s dielektrickým či mikrovlnným ohřevem, lékařské přístroje v pásmu krátkých vln a mikrovln, obloukové svářecí soupravy s vysokofrekvenčním buzením, bodové svářecí zařízení apod.

ČSN EN 55013 - Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními odpovídá normě **CISPR 13** a specifikuje mezní hodnoty rušivého napětí a rušivého elektromagnetického pole vyzařovaného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními v pásmu 9 kHz až 18 GHz. Přidruženým zařízením se přitom rozumí každé zařízení určené buď k přímému připojení k rozhlasovému či televiznímu přijímači, nebo k vytváření či reprodukci akustického či obrazového signálu (nf. zesilovače, gramofony, CD přehrávače, magnetická záznamová a reprodukční zařízení obrazu a zvuku aj.). Norma se netýká zařízení informační techniky, i kdyby byla připojena např. k televiznímu přijímači.

ČSN EN 55014 - Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji odpovídá mezinárodní normě **CISPR 14** a deklaruje svou obecnou platnost pro kmitočtový rozsah 9 kHz až 300 GHz. Příslušné mezní hodnoty rušivých napětí a vyzařovaných

elektromagnetických polí však specifikuje jen v pásmu 150 kHz až 300 MHz, a to pro následující skupiny výrobku:

- zařízení pro domácnost poháněná elektrickým motorem (pracky, chladničky, elektrické mlýnky, kuchyňské roboty, vysavače, fény, ventilátory, holicí stroje, šicí stroje, elektromechanické psací stroje, projektory apod.);
- elektrické nářadí napájené přímo ze sítě nebo přes transformátor (přenosné ruční vrtačky, elektrické pily, nože, nůžky a řezačky, elektrické brusky, přemístitelné motorové nářadí, pájecí přístroje apod.);
- lékařská zařízení poháněná elektrickým motorem (zubní vrtačky, pily, nože, kardiografy a podobná záznamová zařízení, čerpadla apod.);
- zemědělské elektrické stroje a přístroje (dojicí zařízení, sekačky trávy apod.);
- elektrická vyhřívací zařízení (elektrické sporáky, varné pánve, desky a konvice, stolní grily, ohříváče jídla, kávovary, sterilizátory, průtokové ohříváče a zásobníky vody, pečicí trouby, žehlicí stroje, spotřebiče pro elektrické vytápění místností apod.);
- hrací, prodejní a zábavní automaty (hrací skříně, hrací stroje, video automaty apod.);
- motorové elektrické hračky (vláčky, auta, roboty apod.);
- různé přístroje a elektrická zařízení, např. časové spínače, elektrické zapalovače plynu, elektrostatické čističe vzduchu, nabíječe, usměrňovače, měniče apod.

ČSN EN 55015 - Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými svítidly a podobným zařízením odpovídá normě **CISPR 15** a platí pro rušivá napětí a rušivá pole v kmitočtovém rozsahu 9 kHz až 300 GHz způsobená následujícími druhy zařízení:

- svítidla připojená na rozvodnou síť nízkého napětí nebo na baterii včetně pomocných zařízení;
- vnitřní dopravní osvětlení (v automobilech, autobusech, vlacích apod.) a venkovní pouliční osvětlení;
- zdroje ultrafialového či infračerveného záření;

ČSN EN 55022 - Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení zařízením informační techniky odpovídá normě **CISPR 22** a zabývá se postupy měření elektromagnetického rušení generovaného zařízením informační techniky v kmitočtovém

pásmu 9 kHz až 300 GHz, přičemž specifikuje meze tohoto rušení v pásmu 0,15 MHz až 1000 MHz. Za zařízení informační techniky (**ITE – Information Technology Equipment**) je dle této normy považováno libovolné zařízení

- a) jehož prvotní funkcí je vstup, ukládání, zobrazování, vyhledávání, zpracování, propojování nebo řízení datových a telekomunikačních zpráv nebo jejich kombinací a může být vybaveno jedním nebo více koncovými porty typickými pro přenos informací,
- b) Se stanoveným vstupním napětím nepřesahujícím 600 V.

Toto vymezení zahrnuje např. veškerá zařízení pro zpracování dat, kancelářské stroje, obchodní elektronická zařízení a telekomunikační zařízení. Norma se nevztahuje na žádné zařízení nebo část zařízení ITE, jehož prvotní funkcí je rádiové vysílání nebo příjem dle Radiokomunikačního řádu ITU.

Zařízení informační techniky jsou normou ČSN EN 55022 razena do třídy A ITE či B ITE podle toho, jaké požadavky na odrušení zařízení splňuje. Uvedené třídy jsou zde definovány stejně jako třídy A,B ve výše uvedené normě ČSN EN 55011. **Třída B ITE** je kategorie přístrojů určených především pro použití ve vnitřním prostředí, tj. prostředí, v němž lze předpokládat použití rozhlasových a televizních přijímačů ve vzdálenosti do 10 m od zařízení ITE. Třída B ITE tedy může zahrnovat

- zařízení bez pevného místa použití, např. přenosná zařízení ITE napájená z baterií,
- telekomunikační koncová zařízení napájená z telekomunikační sítě,
- osobní počítače a jejich pomocná přípojná zařízení.

Normy odolnosti proti rušení (Immunity Standards)

Do této skupiny patří především harmonizované české normy řady ČSN EN 61000-4, které jsou ekvivalentní výchozím mezinárodním normám rady IEC 1000-4. Uvedená řada norem specifikuje požadavky na odolnost vůči elektromagnetickému rušení a jednotlivé normy mají charakter základních norem (Basic Standards). Rada CSN EN 61000-4 pod společným názvem „**Elektromagnetická kompatibilita – zkušební a měřicí technika**“ obsahuje řadu oddílů, tj. norem podrobně popisujících jednotlivé typy zkoušek odolnosti.

ČSN EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti poskytuje celkový přehled existujících zkoušek odolnosti včetně jejich stručného popisu. Norma uvádí všeobecný návod a doporučení pro volbu vhodné zkoušky odolnosti a jejího použití s ohledem na zkoušené zařízení a podmínky jeho použití (místo použití, předpokládaná úroveň rušení v tomto místě, požadovaný stupeň odolnosti a další). Z této normy lze rovněž zjistit řadu základních technických údajů o všech zkouškách odolnosti, jejichž podrobný popis je obsahem dalších norem této řady.

ČSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti obsahuje metodiku testu a vyhodnocování chování elektronických zařízení a systému při působení elektrostatických výbojů (ESD). Úroveň elektromagnetické odolnosti ESD se dle této normy volí podle pracovního prostředí a provozních podmínek zkoušeného zařízení. Preferovanou metodou zkoušky ESD je zkouška kontaktním výbojem, zkouška vzduchovým výbojem se provádí tam, kde nelze realizovat kontaktní výboj.

ČSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti určuje metody zkoušek elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči spojitým elektromagnetickým polím vyzařovaným v kmitočtovém pásmu $80 \div 1000$ MHz. Jde tedy o zkoušky odolnosti vůči vyzařování např. ručních (přenosných) vysílačů, ale i stabilních vysílacích stanic, rozhlasových, televizních a vozidlových vysílačů, mobilních radiotelefonu i různých průmyslových zdrojů vysokofrekvenčních signálů.

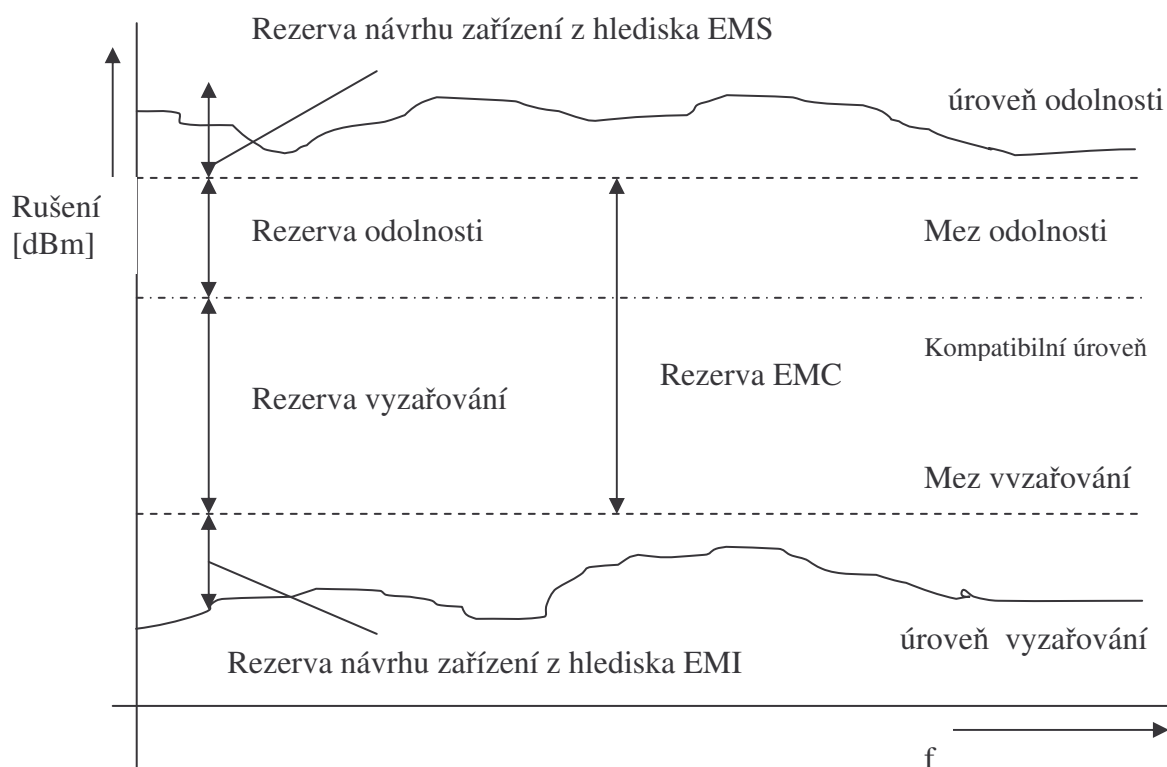
ČSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli definuje metodiku testování elektromagnetické odolnosti, parametry testovací aparatury a stupně přísnosti pro zařízení, která jsou rušena signály šířícími se po napájecích a signálových vedeních a zemnicích spojení. Cílem těchto zkoušek je stanovit anténní efekty kabelu připojených ke zkoušenému objektu. Zdrojem těchto rušivých signálů jsou úmyslné vysokofrekvenční vysílače v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz. Norma se netýká zařízení, která nemají alespoň jeden vodivý kabel (síťový přívod, signální či zemnicí vedení), který může způsobit vazbu zařízení na vf. rušivá pole. Při vlastní zkoušce odolnosti je zkušební signál amplitudově modulován sinusovou vlnou 1 kHz do hloubky 80 %. Zdrojem tohoto zkušebního signálu je vysokofrekvenční signální generátor s parametry definovanými normou. Generátor se

připojuje ke zkoušenému zařízení jedním z 11 typu vazebních obvodů specifikovaných rovněž v této normě.

ČSN EN 61000-4-11 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkoušky odolnosti specifikuje metodiku a provedení zkoušek odolnosti zařízení, která mohou být citlivá na krátkodobé poklesy a krátká přerušení napájecího síťového napětí... Norma obsahuje rovněž návod pro optimální výběr zkušebních úrovní podle průměrné doby trvání poruch a četnosti jejich výskytu v místě instalace zkoušeného zařízení.

1.6 Základní pojmy EMC

Každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. Pro každé takové zařízení definuje obecná norma ČSN-IEC 1 000-1-1 některé pojmy, jejichž základní vztah je vysvětlen na obrázku (Obr. 4).



Obr. 4. K definici úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

Úroveň vyzařování je rušení generované samotným konkrétním spotřebičem nebo zařízením měřené předepsaným způsobem. **Mezí vyzařování** rozumíme maximální přípustnou (tj. povolena normami) úroveň vyzařování daného zařízení.

Rozdílem těchto uvedených úrovní vyjadřujeme tzv. **rezervu návrhu zařízení z hlediska EMI**.

Podobně můžeme popsat **úroveň odolnosti** jako maximální úroveň rušení působícího na konkrétní zařízení, při kterém ještě nedochází ke zhoršení jeho provozu a **mez odolnosti** jako nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti daného zařízení.

V tomto případě rozdíl obou těchto úrovní udává **rezervu návrhu zařízení z hlediska jeho odolnosti EMS**.

Rezervou(rozpětím) **EMC** nazýváme rozdíl meze odolnosti a meze vyzařování. Výše uvedená norma také zavádí pojem **kompatibilní úroveň**, jakožto úroveň rušení, při které je ještě docíleno „příjemně vysoké“ pravděpodobnosti EMC zařízení.

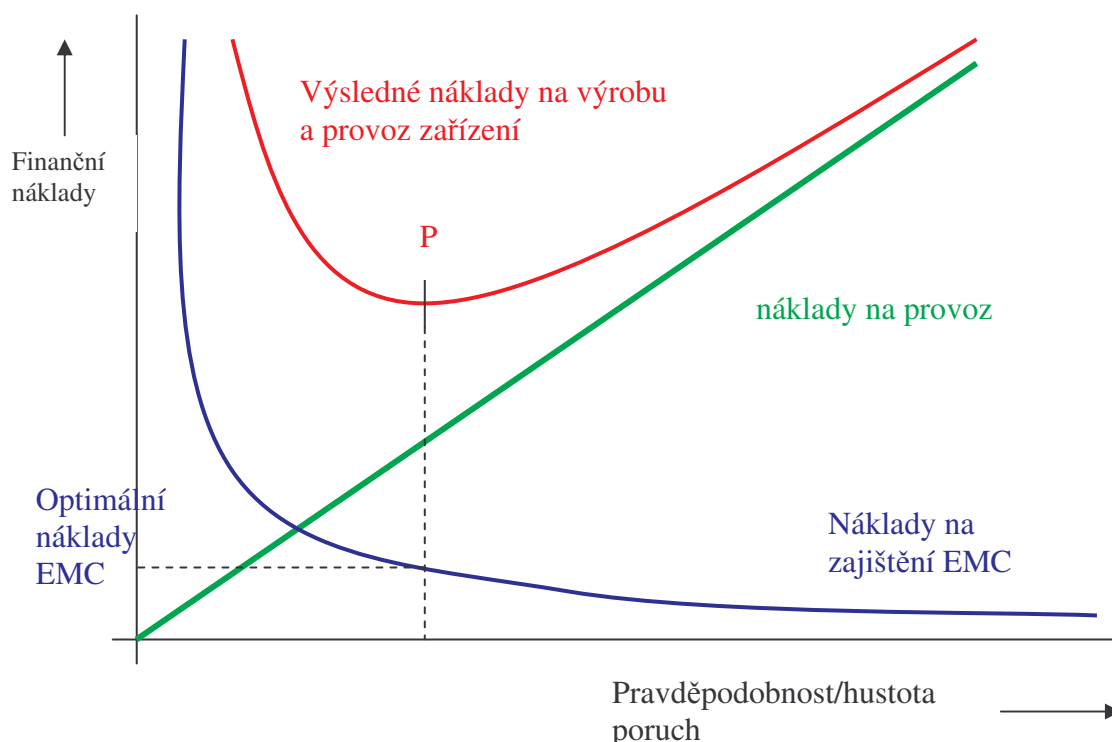
Rozdíly mezi vyzařováním a mezí odolnosti vůči této kompatibilní úrovni jsou nazývány **rezerva vyzařování a rezerva odolnosti**.

1.7 Ekonomické hledisko EMC

Aby zkoušené zařízení vyhovělo požadavkům EMC, musí být úroveň jeho vyzařování vždy nižší než maximální přípustná úroveň, tj. než mez vyzařování. Podobně úroveň odolnosti zařízení musí být vždy větší než minimální požadovaná úroveň, tj. než mez jeho odolnosti. Navíc mez odolnosti musí být vyšší než mez vyzařování, neboť jen tak dosáhneme u daného zařízení dostatečné rezervy EMC. Konkrétní velikosti rezervy návrhu zařízení z hlediska EMI a EMS nejsou nijak předepsány a jejich míra je výlučnou záležitostí výrobce daného zařízení. Jsou-li tyto rezervy zvoleny příliš velké, vede to ke zbytečnému zvýšení nákladů např. na odrušení, na parametry odrušovacích prostředků, na stínění a na další ochranu EMC. Vývoj i konečná cena daného zařízení se tím zvyšuje. Naopak, jsou-li rezervy návrhu příliš malé, vzniká velké riziko, že zařízení nevyhoví zkouškám EMC nebo provozním požadavkům a musí být dodatečně odrušováno, odstínováno apod., což je obvykle ještě pracnější a nákladnější než v prvním případě.

Situace je dokumentována na obrázku (Obr. 5), kde jsou zobrazeny typické průběhy finančních nákladů na výrobu a provoz určitého technického zařízení v závislosti

na pravděpodobnosti poruchy či hustotě poruch zařízení. Náklady na udržení standardního provozu zařízení lineárně rostou se zvyšující se hustotou jeho poruch. Naopak pravděpodobnost poruch je nepřímo úměrná velikosti investic vložených do zabezpečení EMC zařízení. Celkové náklady na výrobu a provoz daného zařízení chápáné jako součet obou těchto položek dosahují dle obrázku (Obr. 5) své minimální hodnoty v bodě **P**. Investice do zabezpečení EMC daného zařízení je tedy vhodné volit tak vysoké, aby celkové náklady na zařízení dosáhly právě své minimální hodnoty v tomto bodě. Jeho přesnou "polohu" však samozřejmě nelze exaktně "vypočítat" a lze se jen opřít o zkušenosti z vývoje, výroby a provozu konkrétních zařízení zveřejněné v literatuře. Ukazuje se, že v závislosti od velikosti a rozsáhlosti zařízení by optimální náklady na zajištění EMC měly činit asi 2 až 10 % celkových vývojových nákladů zařízení. Jsou-li otázky EMC sledovány od samého počátku vývoje zařízení, lze náklady na ně snížit dokonce pod hodnotu 1 %.



Obr. 5. Ekonomické hledisko EMC

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2. Teorie číslicové techniky

Ve všech oborech lidské činnosti se setkáváme s případy, kdy předměty nebo vlastnosti nabývají jen dvou užitečných stavů. Tyto stavy jsou často vzájemně opačné: žárovka svítí nebo nesvítí, spínač je zapnut nebo vypnut, materiál je magnetován nebo odmagnetován, proud obvodem protéká nebo neprotéká, díry v pásce nebo štítku jsou nebo nejsou vyděrovány atd.

Proto potřebujeme určitý předpis, podle kterého bychom byli schopni přiřadit k sobě odpovídající stavy vstupních proměnných a stav výstupního objektu. Takový předpis se nazývá logická funkce n proměnných. Proces rozhodování, tj. výběru odpovídajících si stavů, nazýváme logickou operací a dvoustavové hodnoty, se kterými pracujeme, logické proměnné. Hodnoty, resp. stavy, které logické proměnné nabývají, se označují zpravidla 1 a 0 (logická jednička a logická nula), případně H a L (high and low, zejména v popisech elektronických schémat s logickými obvody) nebo také T a F (true a false, zejména v počítačových programech).

V TTL (Transistor – Transistor – Logic) logice je úroveň logické jedničky definována pro hodnotu napětí v rozmezí 2 – 5 V a úroveň logické nuly je definována pro hodnotu napětí v rozmezí 0 – 0,8 V.

2.1 Základní pojmy

Mezi základní funkce, pomocí kterých dále lze realizovat i složitější funkce, které používají pouze dvou vstupních logických proměnných patří **logický součet (OR)** a **logický součin (AND)**. Kromě těchto dvou základních funkcí, které používají dvou vstupních hodnot sem patří ještě funkce, která používá jednu vstupní hodnotu a nazývá se **negace**.

Logický součet je funkce, která provede součet dvou proměnných. Aby byl výsledek operace roven jedné stačí, aby jedna z proměnných nabývala hodnoty logické jedničky a výsledek je roven logické jedničce. Jako znaménko označující tuto funkci můžeme použít stejný symbol jako u algebraického součtu nebo také symbol označující v logice NEBO $\vee$. Pravdivostní tabulka pro funkci je uvedena v tabulce (Tab. 2)

Tab. 2. Logický součet

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Logický součin je funkce, která provádí násobení dvou proměnných. Aby byl výsledek operace roven jedné je třeba, aby obě proměnné nabývaly hodnotu logické jedničky. Jako znaménko používáme symbol algebraického součinu nebo také symbol označující v logice $A \wedge$. Pravdivostní tabulka pro funkci je uvedena v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3. Logický součin

A	B	A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Negace je funkce, která přiřadí logické proměnné tu hodnotu, kterou nenabývá, tj. logické nule přiřadí logickou jedničku a naopak. Funkce je uvedena v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4. Negace

X	X
0	1
1	0

2.2 A/D převodníky

Převodníky umožňují transformaci číslicově vyjádřené informace na analogové napětí a naopak. Zaujímají v řídicím systému klíčové postavení. Značná část měřených veličin bývá obvykle zaznamenána ve formě časově spojitého průběhu analogového napětí a do číslicové formy se musí převést pomocí převodníku. Převodníky tedy umožňují propojení mezi analogovou a číslicovou částí řídicího systému. Přesnost a rychlost převodu použitých převodníků je jedním z hlavních faktorů určujících použitelnost a kvalitu celého řídicího systému.

Převodníky analogového signálu na číslicový (zkráceně převodník A/Č nebo A/D) jsou povětšinou založeny buď na principu transformace napětí na jinou fyzikální veličinu (většinou čas), která se snadněji digitalizuje nebo na komparačním principu, tj. srovnáváním převáděného analogového napětí s proměnným napětím vytvářeným např. pomocí převodníku D/A. V okamžiku, kdy rozdíl mezi srovnávanými napětími je menší než určitá mez, se převod zastaví a zobrazí se vstupní číslo D/A převodníku.

2.2.1 Převodník využívající dvojnásobné analogové integrace

Tento převodník je typickým představitelem převodníku, kde se analogový signál transformuje na časový interval, který se digitalizuje. Základním obvodem je analogový integrátor (Obr. 6). Ke vstupu integrátoru se nejprve na přesně stanovený časový interval t_1 přivede analogový signál $U_x > 0$. Poté se na vstup integrátoru připojí referenční napětí U_{ref} opačného znaménka než U_x . Komparátor určuje okamžik, kdy výstupní napětí integrátoru je rovno nule. Časový interval mezi okamžikem připojení napětí U_{ref} na vstup integrátoru a překlopení komparátoru označíme t_3 . Časové intervaly t_1 a t_3 měříme jako násobky přesného hodinového intervalu t_2 .

Vyjádříme-li časový interval t_1 pomocí hodinového intervalu

$$\tau = m \cdot \tau_2 \quad (1)$$

je napětí na výstupu integrátoru na konci intervalu t_1 rovno:

$$E_{01} = -\frac{\tau}{RC} \cdot U_x = -\frac{m\tau_2}{RC} \cdot U_x \quad (2)$$

Po připojení U_{ref} na vstup integrátoru napětí na výstupu se zmenšuje podle vztahu,

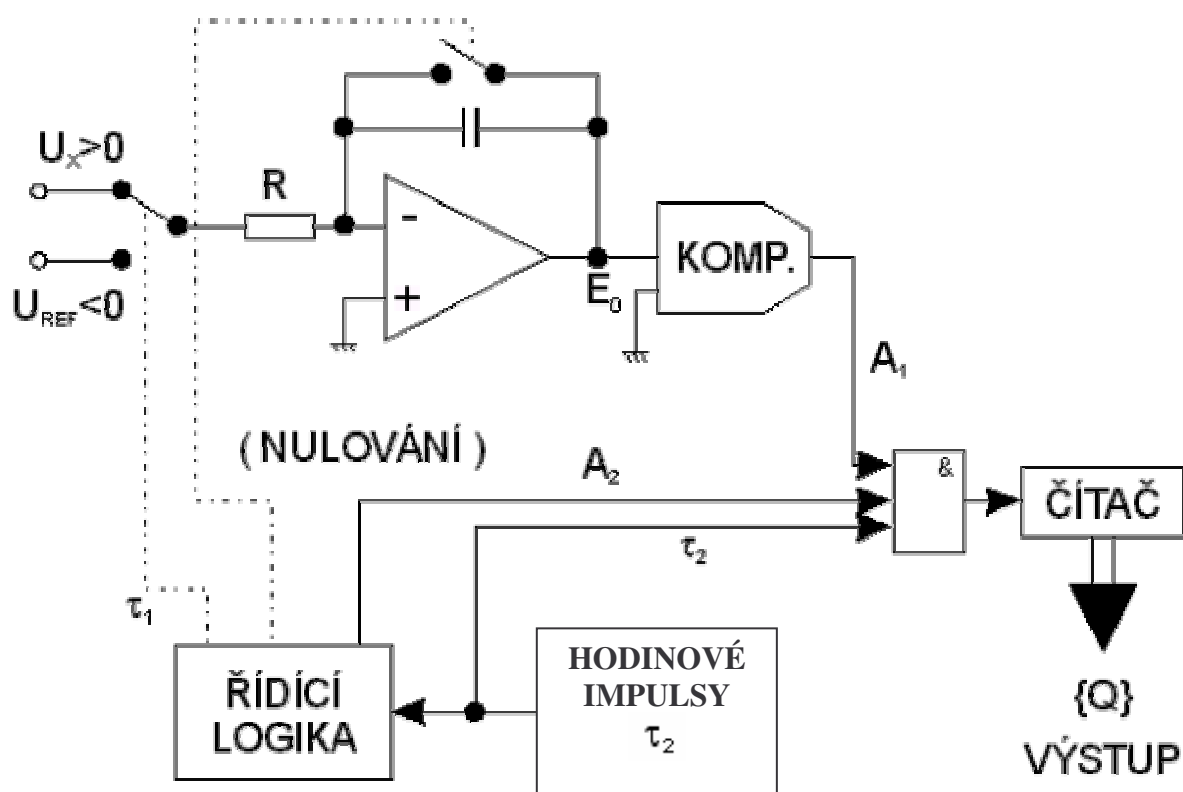
$$E_0 = -\frac{m\tau_2}{RC} \cdot U_x + \frac{U_{ref}}{RC} \cdot t \quad (3)$$

kde jsme použili vztahu $E_0 = -\frac{U_{ref} \cdot R_N}{R_0} \left(N_2 + \frac{1}{10} N_1 + \frac{1}{100} N_0 \right)$, t je čas počítaný od okamžiku připojení U_{ref} na vstup integrátoru.

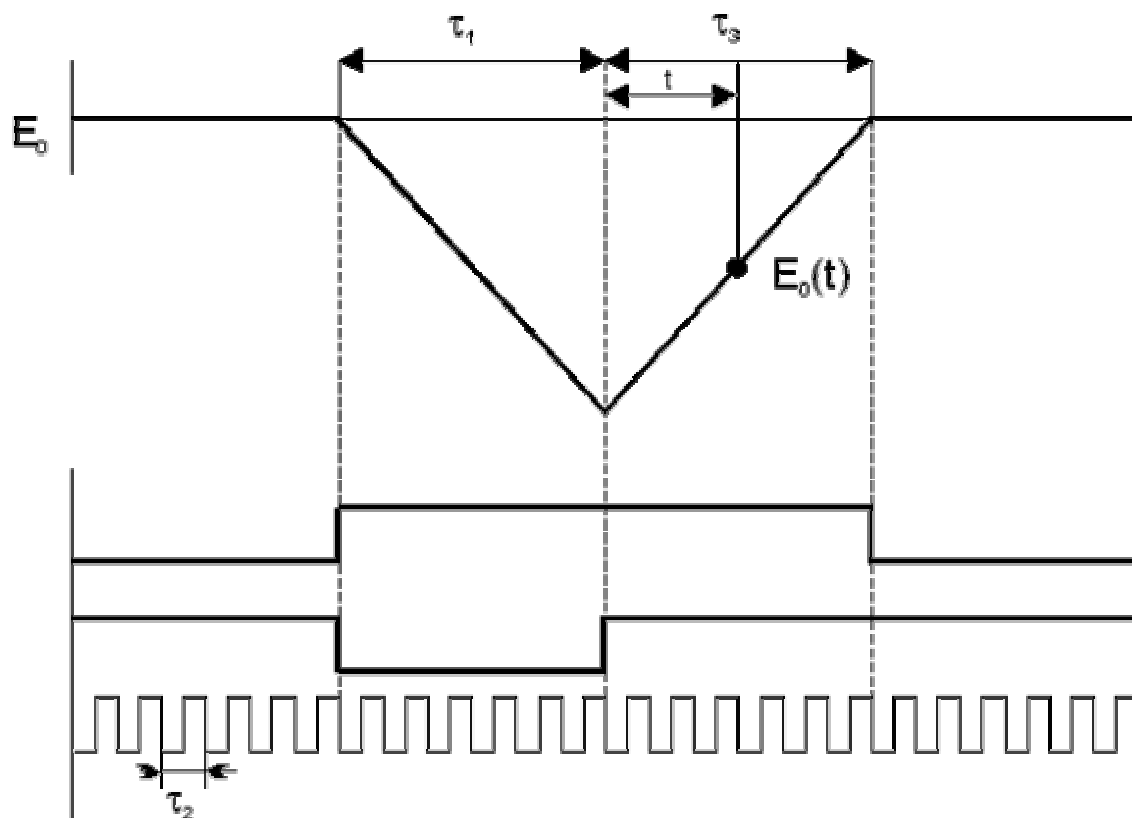
Je-li $t = \tau_3$ je $E_0 = 0$ a

$$\tau_3 = m\tau_2 \cdot \frac{U_x}{U_{ref}} \quad (4)$$

Vztah (4) ukazuje, že časový interval τ_3 je úměrný převáděnému analogovému signálu U_x . Časový interval τ_3 snadno vyjádříme v číslicové formě pomocí hodinových impulsů a čítače. Přívod hodinových impulsů na vstup čítače blokujeme pomocí řídicích signálů A_1 a A_2 , které nám vymezují časový interval τ_3 . Signál A_1 je generován komparátorem a nabývá pro $E_0 < 0$ hodnoty log 1. Pro $E_0 = 0$ se signál A_1 změní z log 1 na log 0. Řídicí signál A_2 je generován obvodem řídicí logiky. Na začátku převodu má signál A_2 hodnotu log 0. V okamžiku připojení U_{ref} na vstup integrátoru nabude hodnoty log 1. Číselný údaj čítače je tedy podle vztahu (4) úměrný převáděnému napětí U_x . Průběh napětí E_0 a řídicích signálů A_1 a A_2 je uveden na obrázku (Obr. 7). Výhodou uvedeného zapojení je, že v konstantě úměrnosti ve vztahu (4) není časová konstanta integrátoru $\tau_1 = RC$. Tato časová konstanta se může s časem, teplotou i jinými vlivy měnit, což by ovlivňovalo přesnost převodu. Obvykle se uvádí výstupní hodnota převodníku v B C D kódu. Dosahuje se přesnosti 4 1/2 až 5 1/2 platných číslic (jedna polovina znamená, že nejvíce významná číslice může nabýt hodnoty pouze 1 nebo 0). Převodníky s dvojnásobnou integrací jsou jedny z nejpřesnějších, jejich nevýhodou je však relativně dlouhá doba převodu řádu 100 msec.



Obr. 6. Blokové schéma A/D převodníku



Obr. 7. Průběh napětí a řídicích signálů

3. Realizace snímací a zobrazovací jednotky frekvence

V experimentální části bakalářské práce byla realizace uvedené jednotky podstoupena jednotlivým krokům, které můžeme rozdělit do následujících etap:

- Přípravná etapa – shromažďování dat, pořízení elektromateriálu a součástek
- Technicko-realizační etapa
 - mechanická
 - elektrická
- Tvorba technické dokumentace
- Verifikace funkčních vlastností

3.1 Přípravná etapa a shromažďování dat

Po nastudování a shromáždění potřebných informací bylo navrženo blokové schéma snímací a zobrazovací jednotky generátoru. Blokové schéma zobrazovací jednotky je uvedeno na obrázku (Obr. 8). Je zde proveden výpočet rezonančního obvodu pro snímání frekvence generátoru.



Obr. 8. Blokové schéma zobrazovací jednotky

1. Snímací obvod
2. Zesilovací člen snímaného signálu
3. Referenční člen
4. A/D převodník
5. Zobrazovací obvody

Návrh rezonačního obvodu

Nejdříve vyhledáme v katalogu hodnotu kondenzátoru. Po té pomocí Thompsonova vztahu vypočteme požadovanou indukčnost cívky.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} \quad (5)$$

Vyjádříme indukčnost L:

$$L = \frac{1}{4f_r^2 \pi^2 C} \quad (6)$$

$$L = \frac{1}{4 \cdot (2,45 \cdot 10^6)^2 \cdot \pi^2 \cdot 22 \cdot 10^{-9}}$$

Spočtená indukčnost L:

$$L = 0,192 \text{ uH}$$

Pro výpočet počtu závitů použijeme vztah pro výpočet indukčnosti jednovrstvé cívky bez jádra vinuté závit vedle závitu. Pro tento výpočet lze použít upravený Nagaokův vztah.

$$L = k \cdot \frac{D^2}{b} \cdot N^2 \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

k – prostorové rozložení magnetického pole

D – průměr cívky

b – délka cívky

N – počet závitů

Výpočet provádíme odhadem počtu závitů, kterých bude pro danou cívku potřeba. Pokud počet závitů odhadneme špatně a nevyjde nám požadovaná indukčnost, tak změníme počet závitů a provedeme opětovný výpočet. Výpočty provádíme do té doby, dokud nedosáhneme požadované indukčnosti.

Pro mnou požadovanou hodnotu indukčnosti je potřeba navinout cívku o 7 závitů a průměru 5mm, která bude mít indukčnost $L = 0,197 \text{ uH}$. Což je téměř požadovaná indukčnost.

3.2 Technicko-realizační etapa

V druhé části byl proveden návrh schématu logické zobrazovací jednotky s návrhem plošného spoje.

3.2.1 Schéma zobrazovací a snímací jednotky frekvence generátoru

Při návrhu schématu zobrazovací a snímací jednotky frekvence bylo vycházeno ze schématu digitálního voltmetru. Z tohoto digitálního voltmetru bylo použito zapojení A/D převodníku společně s dekodérem a budičem sedmisegmentového displeje.

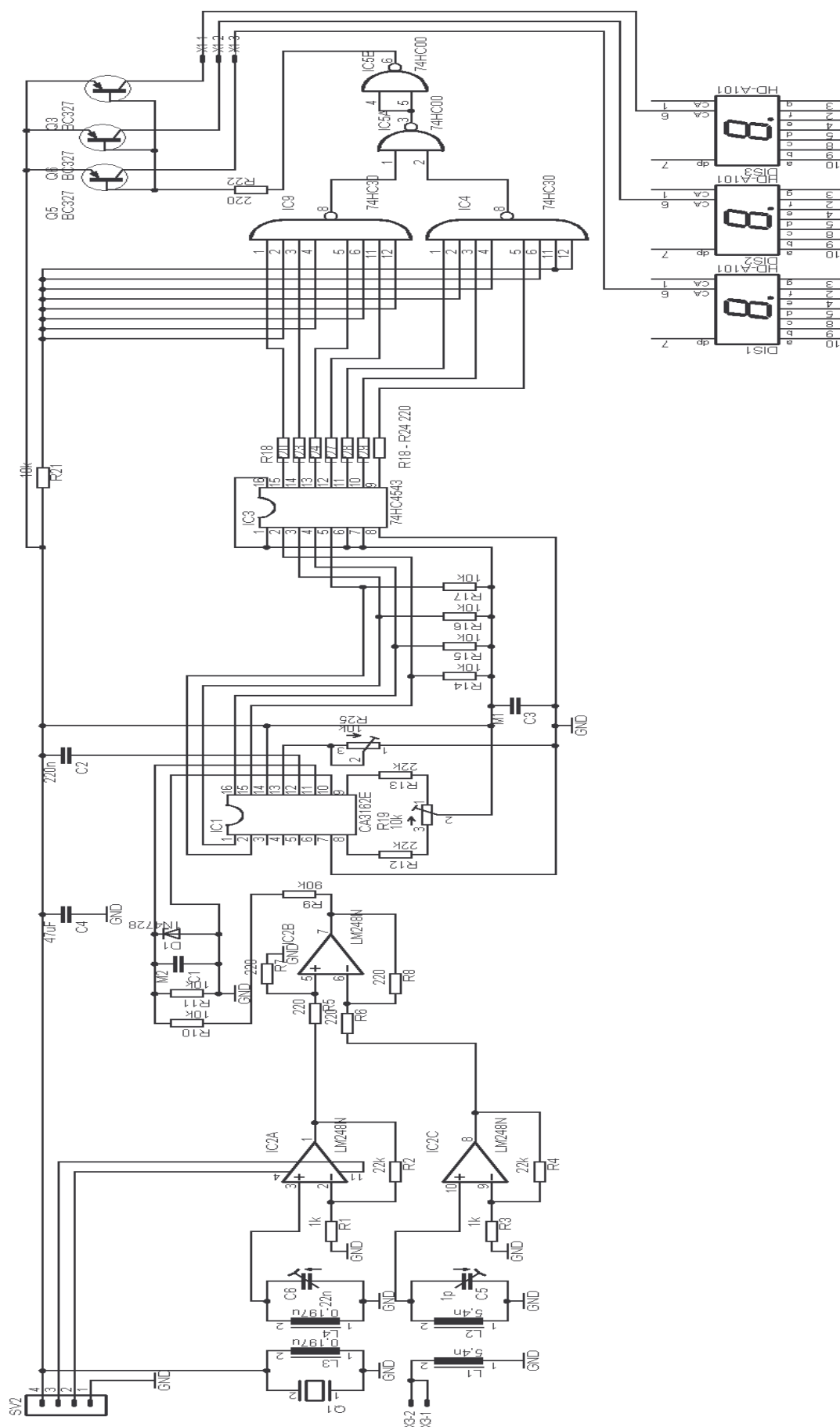
Další částí je snímací část obvodu, ve které bylo použito operačního zesilovače. Nejprve byl operační zesilovač použit jako neinvertující zesilovač pro zesílení vstupního signálu. Zesílení tohoto neinvertujícího zesilovače je 23. Dále bylo použito operačního zesilovače jako rozdílového zesilovače, který porovnává dvě napětí a na jeho výstupu odečteme rozdíl těchto napětí. Tyto napětí jsou získávány s rezonančních obvodů, které snímají frekvence.

Schéma bylo kresleno v programu EAGLE. Schéma je uvedeno na obrázku (Obr. 9).

Deska plošných spojů je navržena pomocí programu EAGLE, jsou na ni osazeny všechny součástky, kromě sedmisegmentových displejů. Kliše pro výrobu plošného spoje je uvedeno na obrázku (Obr.10). Vzhledem k tomu, že se jedná o oboustranný plošný spoj, je na obrázku (Obr. 11) uvedena spodní část plošného spoje a na obrázku (Obr. 12) vrchní část plošného spoje, propojení obou stran plošného spoje je zajištěno prokovkami. Rozmístění součástek je uvedeno na obrázku (Obr. 13).

Součástky použité k osazení plošného spoje byly vyhledány v katalogu. Zde jsou uvedeny třídy přesnosti použitých součástek.

- Rezistory	$\pm 1\%$
- Otočné rezistory	$\pm 5\%$
- Keramické kondenzátory	$\pm 5\%$
- Foliové kondenzátory	$\pm 10\%$



Obr. 9. Schéma snímací a zobrazovací jednotky

Schéma snímací a zobrazovací jednotky lze rozdělit do pěti hlavních částí podle blokového schématu uvedeného na obrázku (Obr. 8).

Prvním částí zobrazovací jednotky generátoru je snímací obvod. Snímací obvod je složen ze dvou rezonančních obvodů. První rezonanční obvod slouží ke snímání frekvence generátoru z magnetotronu.

Magnetotron vysílá na frekvenci 2,45 GHz. Stabilizace frekvence je zajištěna vstupními obvody magnetotronu. Součástí magnetotronu je frekvenční syntezátor, který se vyznačuje vysokou stabilitou a přesností frekvence generovaného signálu. Důležitou částí frekvenčního syntezátoru je krystalový oscilátor, využívající piezoelektrických vlastností výbrusu křemenného krystalu X.

Přístroje, používající frekvenční syntezátory, využívají dvou typů syntéz. Přímou číslicovou syntézu (Direct Digital Synthesi – DDS) nebo nepřímou číslicovou syntézu (Phase-Locked Loop – PLL).

Ke snímání frekvence slouží anténa, která je umístěna před magnetotronem generátoru. Požadavek na anténu je širokopásmovost, kalibrace a zisk. Širokopásmovou anténou rozumíme anténu, kterou lze bez přelaďování použít v rozsáhlém kmitočtovém pásmu. Anténa v generátoru pracuje ve vlnovém módu E_{11} .

Signál z antény je přiveden na cívku L1, která indukční vazbou převádí signál z antény na cívku L2. Tato cívka je součástí rezonančního obvodu, který je naladěn na snímanou frekvenci 2,45 GHz. Obvod je složen z cívky L2 o indukčnosti $L = 5,4 \text{ nH}$ a kondenzátoru C5 o kapacitě $C = 1 \text{ pF}$.

Druhou částí snímacího obvodu je referenční rezonanční obvod. Tento obvod je složen z krystalu Q1 o frekvenci 2,457 MHz. Krystal slouží tak jako anténa v předešlé části jako zdroj signálu. Signál z krystalu přivádíme na cívku L3, která pomocí indukční vazby převede signál na cívku L4. Cívka je součástí rezonančního obvodu, který je naladěn na rezonanční frekvenci 2,457 MHz. Obvod je složen z cívky L4 o indukčnosti $L = 0,197 \text{ uH}$ a kondenzátoru C6 o kapacitě $C = 22 \text{ nF}$. Frekvence krystalu byla volena s ohledem na pracovní frekvenci generátoru. Protože se nevyrábí krystaly frekvence 2,45 GHz, byl pro referenční obvod vybrán krystal se stejným násobkem frekvence, ale s nižší frekvencí. Frekvence u zvoleného krystalu je tisíckrát menší než frekvence generátoru.

Signál z obou rezonančních obvodů je přiveden na operační zesilovač LM248N, kde je zesílen. Zesilovač je zapojen v neinvertujícím zapojení. Zesílení neinvertujícího zesilovače je $A_N = 23$. Zesílení bylo vypočteno dle vztahu:

$$A_N = \frac{u_v}{u_p} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (8)$$

u_v – výstupní napětí

u_p – vstupní napětí na neinvertující sorce

Rezistory R_1 a R_2 byly zvoleny tak, aby bylo dosaženo požadovaného zesílení. Rezistory R_1 a R_3 mají odpor 1 k Ω . Rezistory R_2 a R_4 mají odpor 22 k Ω .

Po zesílení signálu neinvertujícím zesilovačem je signál přiveden na rozdílový zesilovač. Zde je signál z referenčního rezonačního obvodu srovnán se signálem naměřeným na výstupu generátoru. Na výstupu rozdílového zesilovače naměříme rozdíl těchto dvou napětí. Toto napětí odpovídá měřené frekvenci generátoru.

Výstupní napětí rozdílového zesilovače, které naměříme na jeho výstupu, si můžeme ověřit podle vztahu:

$$u_v = \frac{R_7}{R_5} \cdot (u_1 - u_2) \quad (9)$$

Třetí částí snímací a zobrazovací jednotky generátoru je A/D převodník, pracující metodou dvojí integrace. Převodník je složen z analogové a digitální části. Analogová část je složena ze vstupního převodníku napětí/proud, komparátoru, zdroje referenčního napětí a proudu. Digitální část je složena z oscilátoru, děličky, kontrolní a řídicí logiky, čítače, multiplexeru a výstupních obvodů. Úkolem převodníku je převést napětí v analogové formě z rozdílového zesilovače do digitální formy. Převod je prováděn dvěma kroky.

V prvním kroku se nabíjí integrační kondenzátor C2 proudem, který přichází z výstupu převodníku napětí/proud. Tento převodník převádí vstupní měřené napětí na proud. Velikost proudu je přímo úměrná převáděnému napětí. Generátor hodinových pulsů s pomocnými obvody zaručuje, že doba nabíjení kondenzátoru je stále stejně dlouhá. To znamená, že nabití kondenzátoru odpovídá skutečné velikosti vstupního napětí.

V druhém kroku dochází k vybíjení kondenzátoru. Vybíjecí proud kondenzátoru je stálý, takže doba vybíjení je různě dlouhá a závisí na nabití kondenzátoru z předcházejícího kroku. Tím závisí i na velikosti vstupního napětí. Dolní hranici vybití kondenzátoru hlídá komparátor, který pomocí řídicí logiky zastaví čítač. Úkolem čítače je čítat impulsy, přicházející od generátoru hodinových impulsů. Načítaný počet impulsů je úměrný velikosti nabití kondenzátoru. Čím více bude kondenzátor před začátkem vybíjení nabit, tím déle bude trvat jeho vybíjení a tím více načítá čítač hodinových pulsů. Komparátor vyhodnocuje stav nabití a vybití kondenzátoru a ovládá začátek a konec práce čítače. Hodinové impulsy načítané čítačem jsou přes multiplexer přivedeny na vstup dekodéru.

Ke správné funkci A/D převodníku je potřeba nastavovacích prvků. Prvním nastavovacím prvkem je otočný rezistor R19, který lze nastavit v rozsahu hodnot odporu 0 – 10kΩ. Otočným rezistorem R19 se mění symetrie proudových zdrojů a nastavení nuly. Otočný rezistor R19 se zapojuje u převodníku mezi vývody 8 a 9 společně s pevnými rezistory R12 a R13, jejichž odpor je 22kΩ. Celková hodnota rezistorů a otočného rezistoru bývá 50kΩ. Druhý otočný rezistor R25, který má rozmezí nastavitelných hodnot odporu 0 – 10kΩ, je zapojen na vývod 13 A/D převodníku. Otočným rezistorem R25 se nastavuje citlivost A/D převodníku. Nastavením otočného rezistoru R25 ovlivňuje vybíjecí proud kondenzátoru C2 a tím i délku čítání hodinových impulsů čítačem.

Vzhledem k tomu, že A/D převodník CA3162E nemá dostatečné potlačení rušivé síťové frekvence 50Hz, je na jeho vstup zařazena dolní propust v podobě RC článku. Kapacita kondenzátoru C1 by měla být řádově stovky nanofaradů až jednotky mikrofaraďů. V mém případě byl použit kondenzátor 2uF. Hodnota rezistoru R11 RC článku je 10kΩ.

Zenerova dioda zapojená z pinu 11 proti zemi chrání vstup A/D převodníku, před nedovoleným napětím, které nesmí překročit hodnotu 15V. Hodnotu zenerovy diody můžeme volit v rozsahu od 3 do 10 volt. Mnou zvolená dioda D1 má hodnotu 10V. Výše zmiňovaný integrační kondenzátor C2 se zapojuje mezi pin 12 A/D převodníku a kladné napájecí napětí. Kapacita kondenzátoru C2 je 220nF.

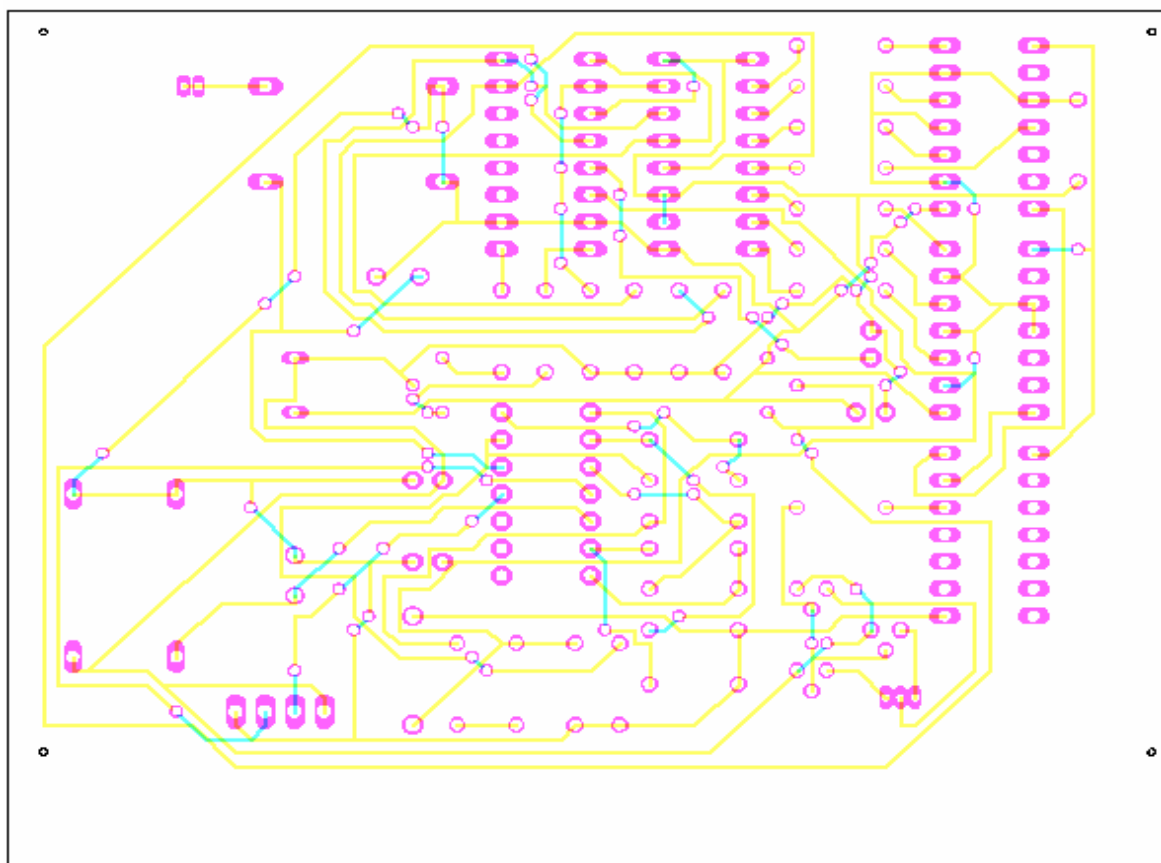
Signál v BCD kódu z A/D převodníku je přiveden na dekodér 74HC4543, který může zároveň sloužit jako budič sedmisegmentového displeje. Jeho úkolem je převést dekadické číslo nula až devět, které na jeho vstupy přichází v BCD tvaru ze čtyř výstupů A/D převodníku CA3162E. Klidová hodnota na výstupu dekodéru je logická jednička. Dekodér spíná tedy své výstupy na zem a generuje na výstupu logickou nulu. V nejjednodušším případě spíná na zem dva výstupy a nejvíce všech sedm výstupů. Rezistory R14 – R17 na vstupech dekodéru, připojené ke kladnému pólu, zajišťují definovanou vstupní úroveň H. Tuto úroveň dekodér drží i bez připojených rezistorů, ale tato úroveň je nejistá. Zapojením rezistorů zabráníme možným hazardním stavům na vstupech dekodéru. Rezistory R14 – R17 jsou voleny v rozsahu hodnot 4,7 kΩ – 10 kΩ. Mnou zvolená hodnota rezistorů je 10 kΩ.

Posledním blokem snímací a zobrazovací jednotky generátoru je část, která zajišťuje konečné zpracování signálu a zobrazení pracovní frekvence generátoru. V tomto bloku jsou použita dvě osmivstupá TTL (Transistor-Transistor-Logic) hradla 74HC30, která vyhodnocují hodnotu napětí. Vyhodnocování je realizováno, tak že na jeden vstup hradla je přivedena hodnota logické jedničky nebo logické nuly a na druhý vstup hodnota

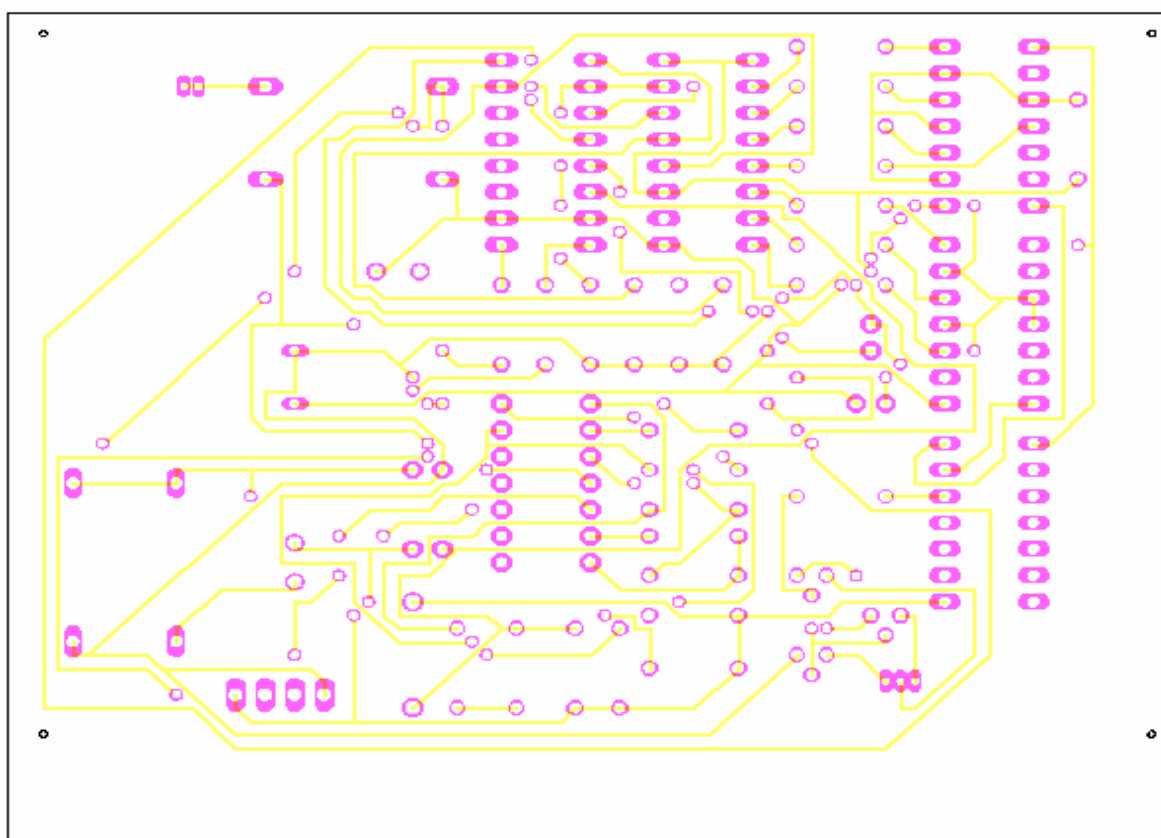
z dekodéru. Výstup z dekodéru 74HC4543 má stále stejnou kombinaci logických nul a jedniček. A kombinací logických nul a jedniček na druhý vstup hradla zajistíme na výstupu osmivstupého hradla 74HC30 logické jedničky.

Spínání semdisegmentových displejů je zajištěno pomocí PNP tranzistorů BC 327. Tranzistory Q3, Q5 a Q6 jsou spínány z dvouvstupého hradla 74HC00. Toto hradlo vyhodnocuje výstupy osmivstupých hradel 74HC30. Je-li na obou výstupech osmivstupých hradel 74HC30 logická jednička, tak dochází k sepnutí tranzistorů BC327 a displejů. K dvouvstupému hradlu 74HC00 je přidán invertor, protože podle pravdivostní tabulky funkce NAND zjistíme, že dvě logické jedničky na vstupu generují nulu na výstupu, a proto by nedošlo k sepnutí tranzistorů BC 327. Invertor je realizován pomocí dvouvstupého hradla 74HC00, kdy na oba vstupy hradla je přiveden signál z výstupu předcházejícího stupně a je provedena inverze podle pravdivostní tabulky funkce NAND.

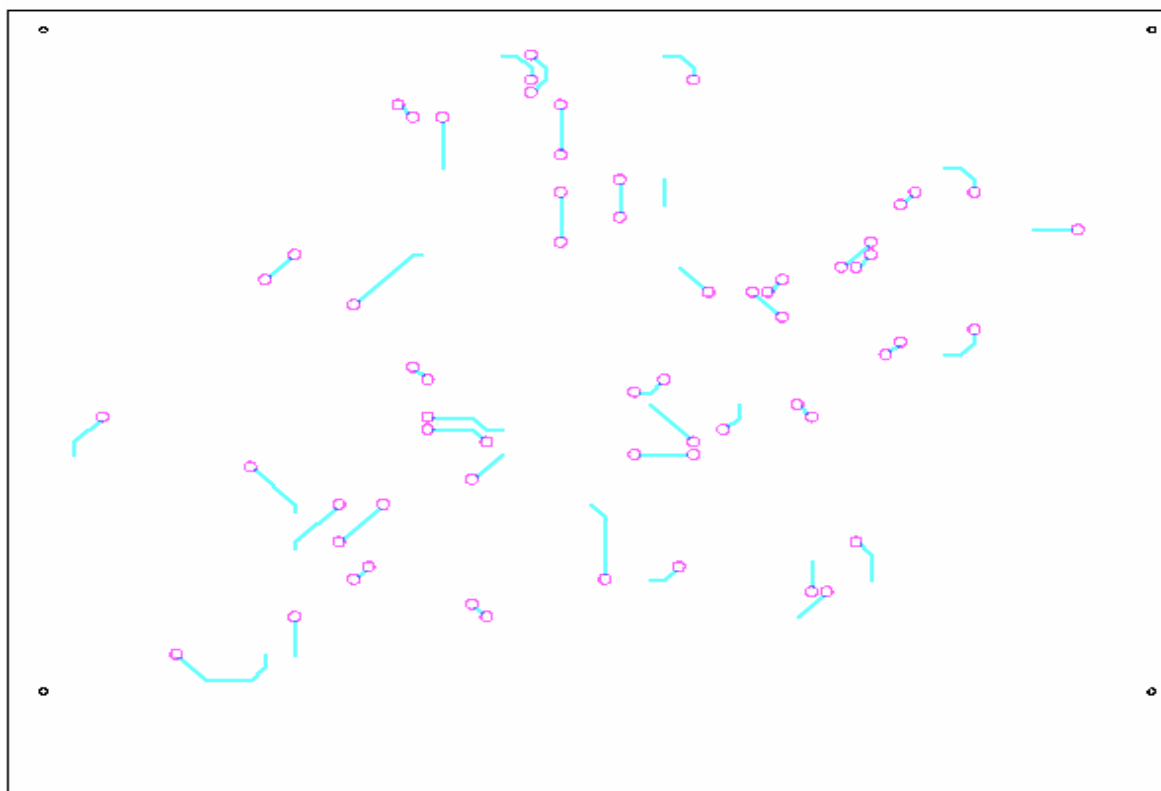
Poslední částí zobrazovacího obvodu jsou sedmisegmentové displeje. Na trh dodávají výrobci několik typů sedmisegmentových displejů. Pro snímací a zobrazovací jednotku generátoru bylo použito sedmisegmentových displejů se společnou anodou. Výhodou tohoto displeje je, že se spínají všechny segmenty najednou po přivedení napětí na společnou anodu. Takto zapojený sedmisegmentový displej vyhovuje požadavkům navržené snímací a zobrazovací jednotky generátoru, která má na svém výstupu tři spínací tranzistory displejů. Pokud by byl použit displej s několika anodami, bylo by zapotřebí k sepnutí všech segmentů více tranzistorů nebo by se musely jednotlivé anody displejů spojit, aby bylo dosaženo společné anody displeje.



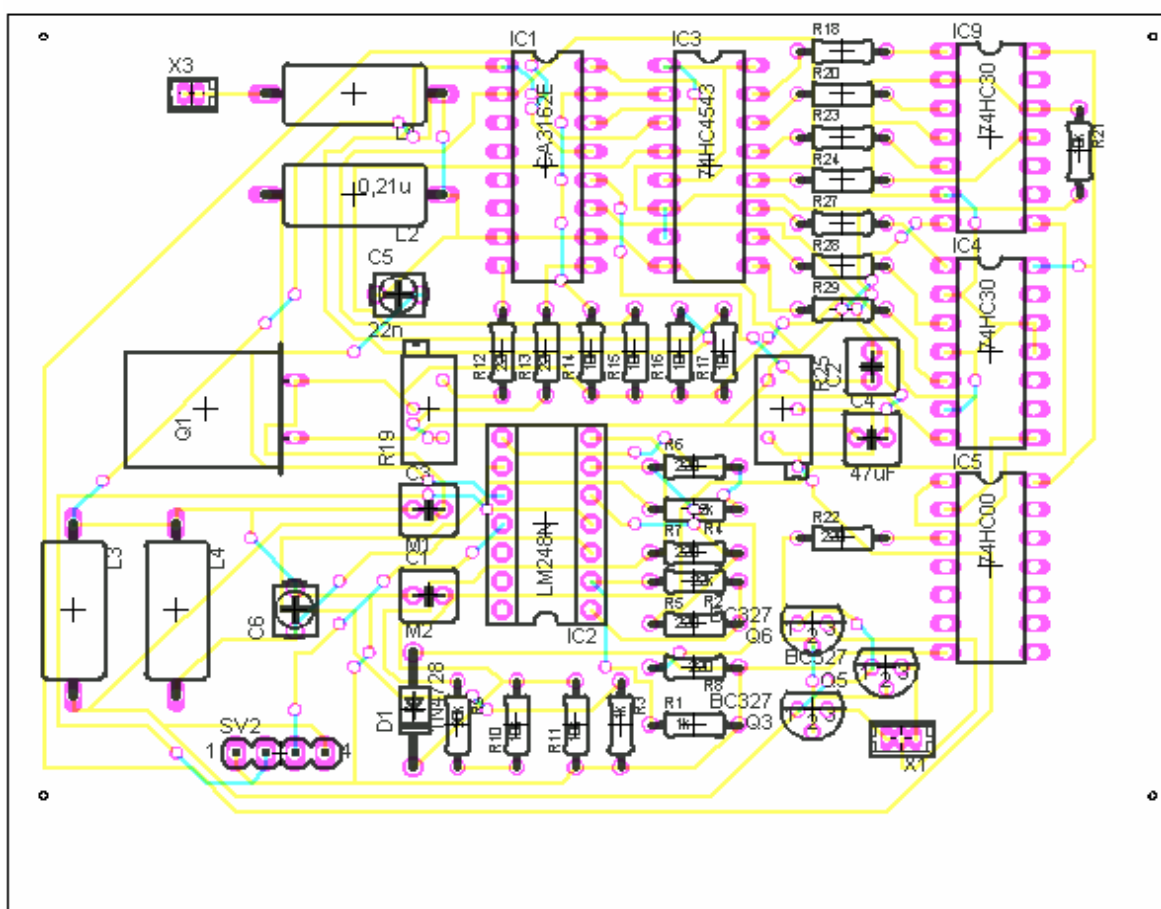
Obr. 10. Deska plošných spojů



Obr. 11. Deska plošných spojů – pohled zespodu



Obr. 12. Deska plošných spojů – z vrchu



Obr. 13. Deska plošných spojů rozmístění součástek

K výrobě plošného spoje bylo použito světlocitlivé oboustranné měděné desky (kuprextit) o rozměrech 100x82 mm.

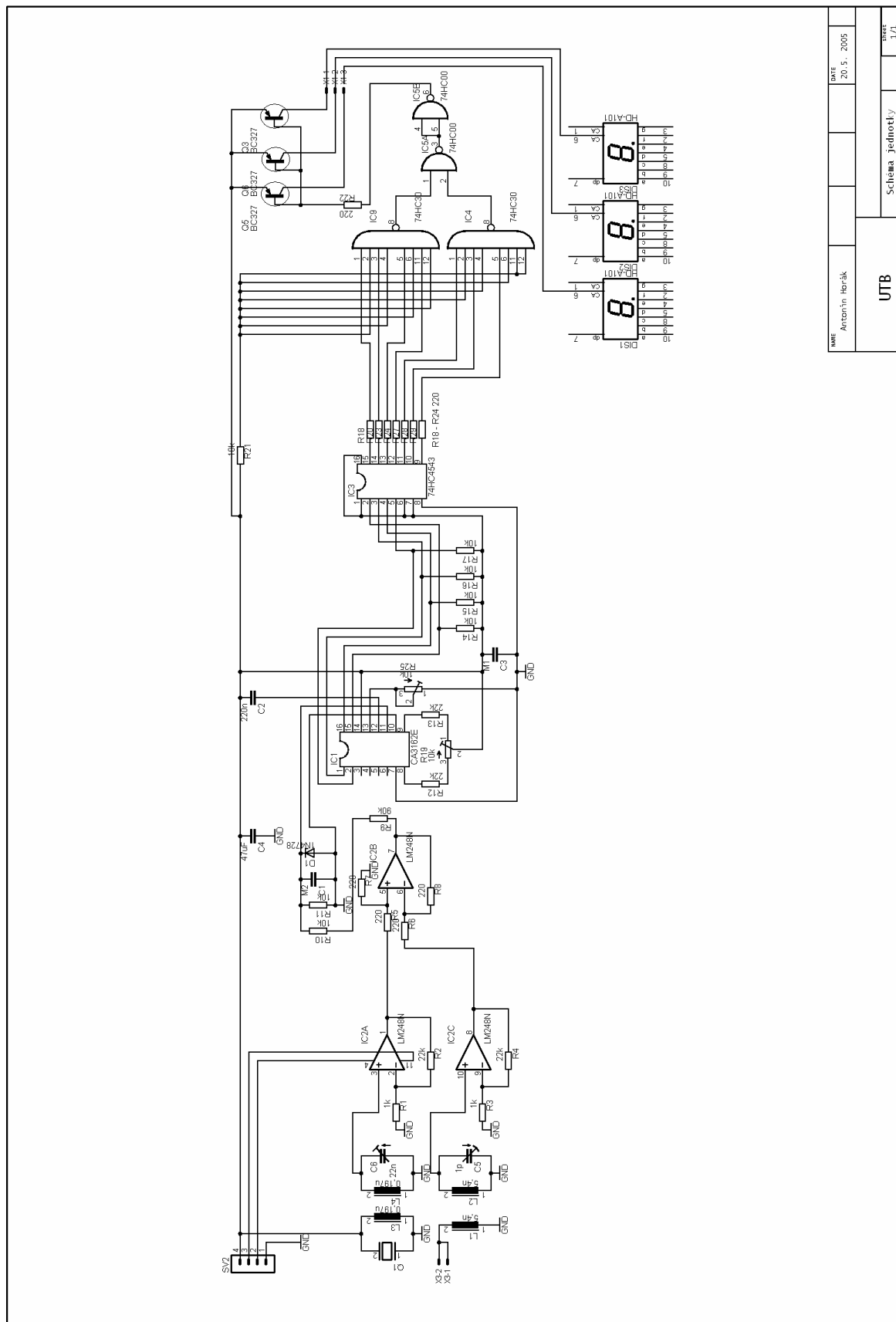
Navržený plošný spoj byl vytištěn na folii a byl přiložen k světlocitlivé desce. Po přiložení byl tento plošný spoj osvětlen. Osvětlením proběhla chemická reakce k přenesení plošného spoje z folie na kuprextit. Po osvětlení byl plošný spoj vyleptán leptacím roztokem. Vyleptaný plošný spoj byl vizuálně zkontrolován. Uvedená kontrola byla provedena srovnáním klišé pro výrobu plošného spoje s vyleptaným plošným spojem, aby byly odhaleny případné chyby, které mohly být způsobeny například nesprávným osvětlením plošného spoje.

Dalším krokem bylo navrtání děr do plošného spoje. K vyvrtání bylo použito vrtáku průměru 0,8mm k osazení součástek. K vyvrtání prokovek bylo použito vrtáku průměru 0,6mm.

Osazení plošného spoje bylo prováděno postupně po jednotlivých etapách. Nejdříve byly napájeny prokovky, které byly realizovány pomocí tenkého drátu a byly zapájeny cínem. Změřením odporu bylo zkontrolováno správné zapájení prokovek

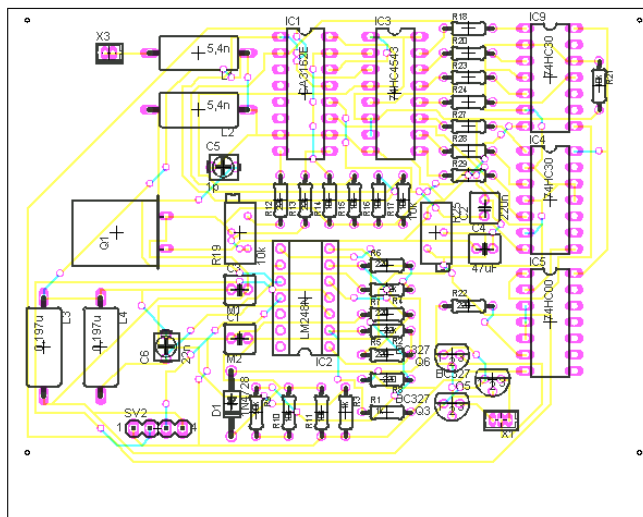
Dále bylo postupováno osazováním plošného spoje podle blokového schématu snímací a zobrazovací jednotky generátoru - viz obrázek (Obr. 8). Po osazení a zapájení každé části bylo provedeno ověření funkčnosti jednotlivého bloku, aby bylo dosaženo funkčnosti celé snímací a zobrazovací jednotky generátoru.

3.3 Technická dokumentace



NAME	Antonín Horák	DATE	20.5.2005
UTB		Schéma jednotky	
		Strana 1/1	

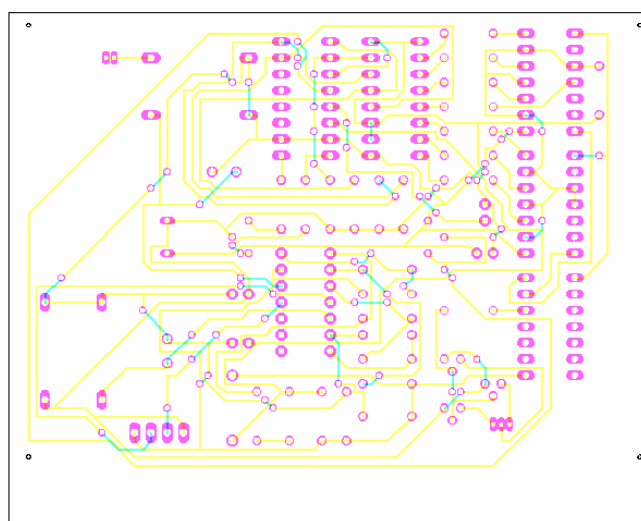
Obr. 14. Schéma snímací a zobrazovací jednotky - výkres



M 1:1

NAME	Antonín Horák				DATE	20.5. 2005
UTB		Plošný spoj				sheet
						1/1

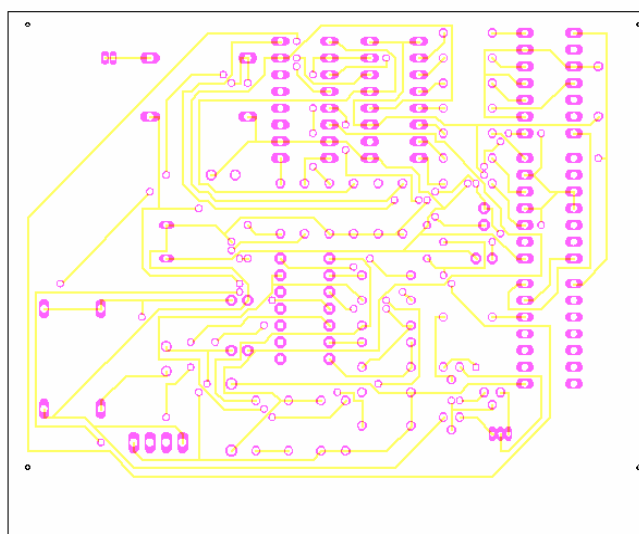
Obr. 16. Deska plošných spojů rozmístění součástek - výkres



M 1:1

NAME	Antonín Horák			DATE	20.5. 2005	
UTB						
		Klíšé			sheet	1/1

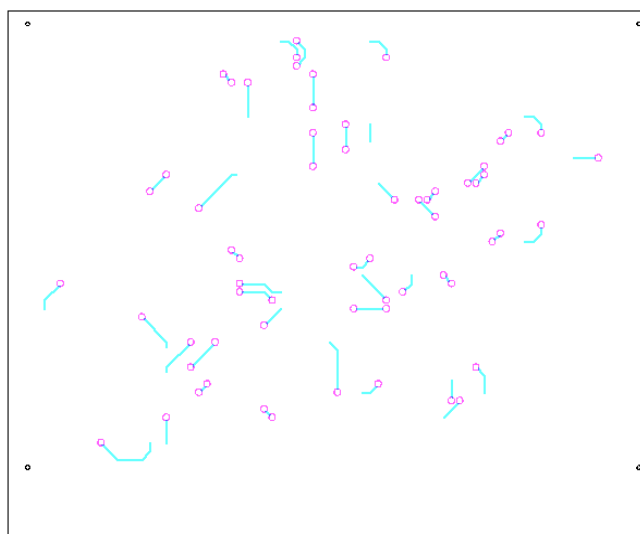
Obr. 17. Deska plošných spojů - výkres



M 1:1

NAME	Antonín Horák			DATE	20.5. 2005	
UTB		Klíšé spodní strana				Sheet 1/1

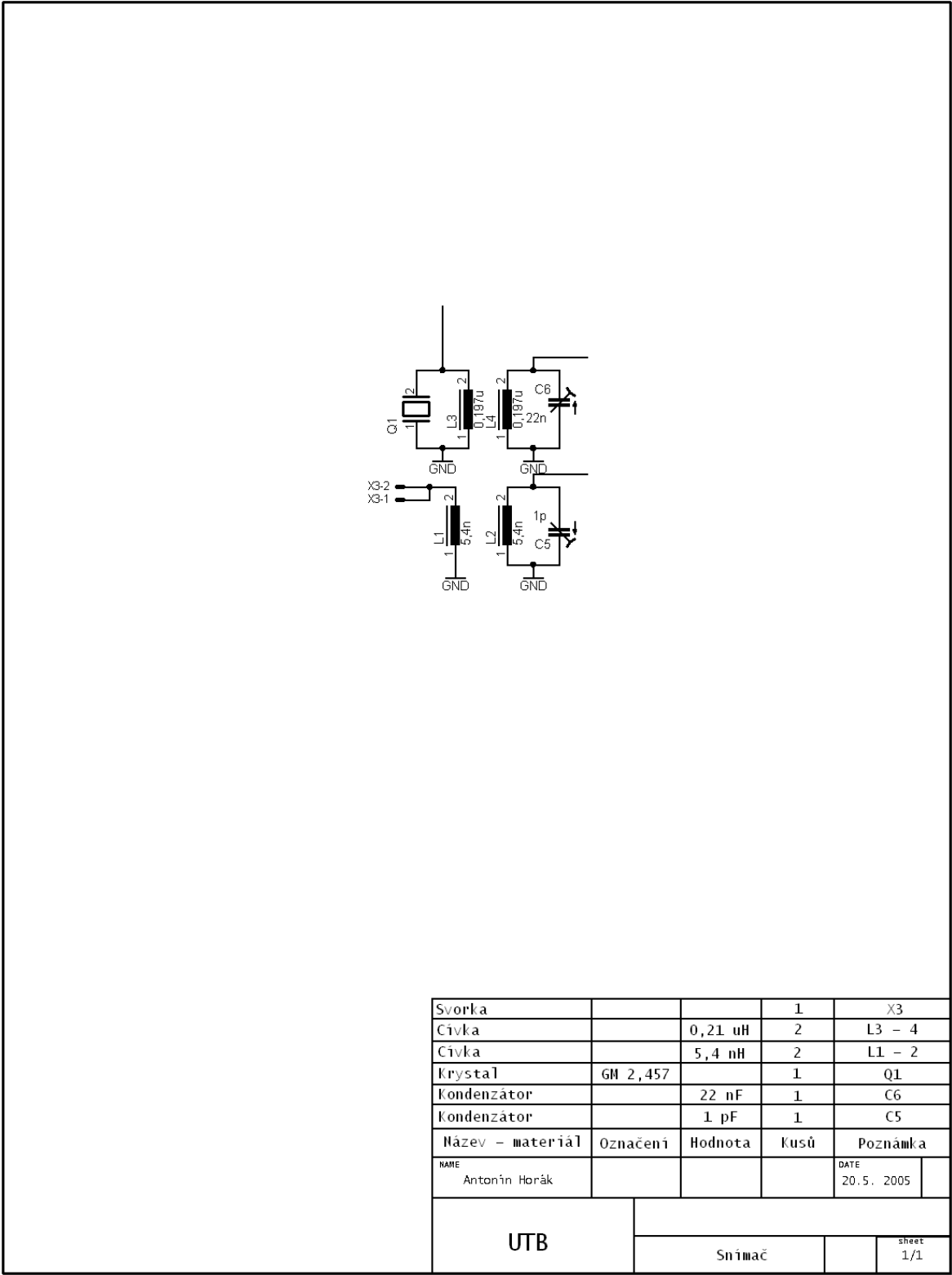
Obr. 18. Deska plošných spojů pohled ze spodu - výkres



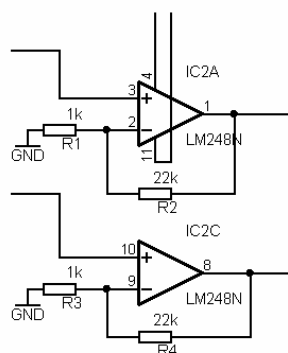
M 1:1

NAME	Antonín Horák				DATE	20.5. 2005	
UTB							
		Klíšé vrchní strana					sheet 1/1

Obr. 19. Deska plošných spojů pohled z vrchu - výkres

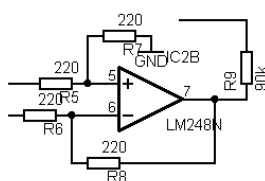


Obr. 20. Snímač - výkres



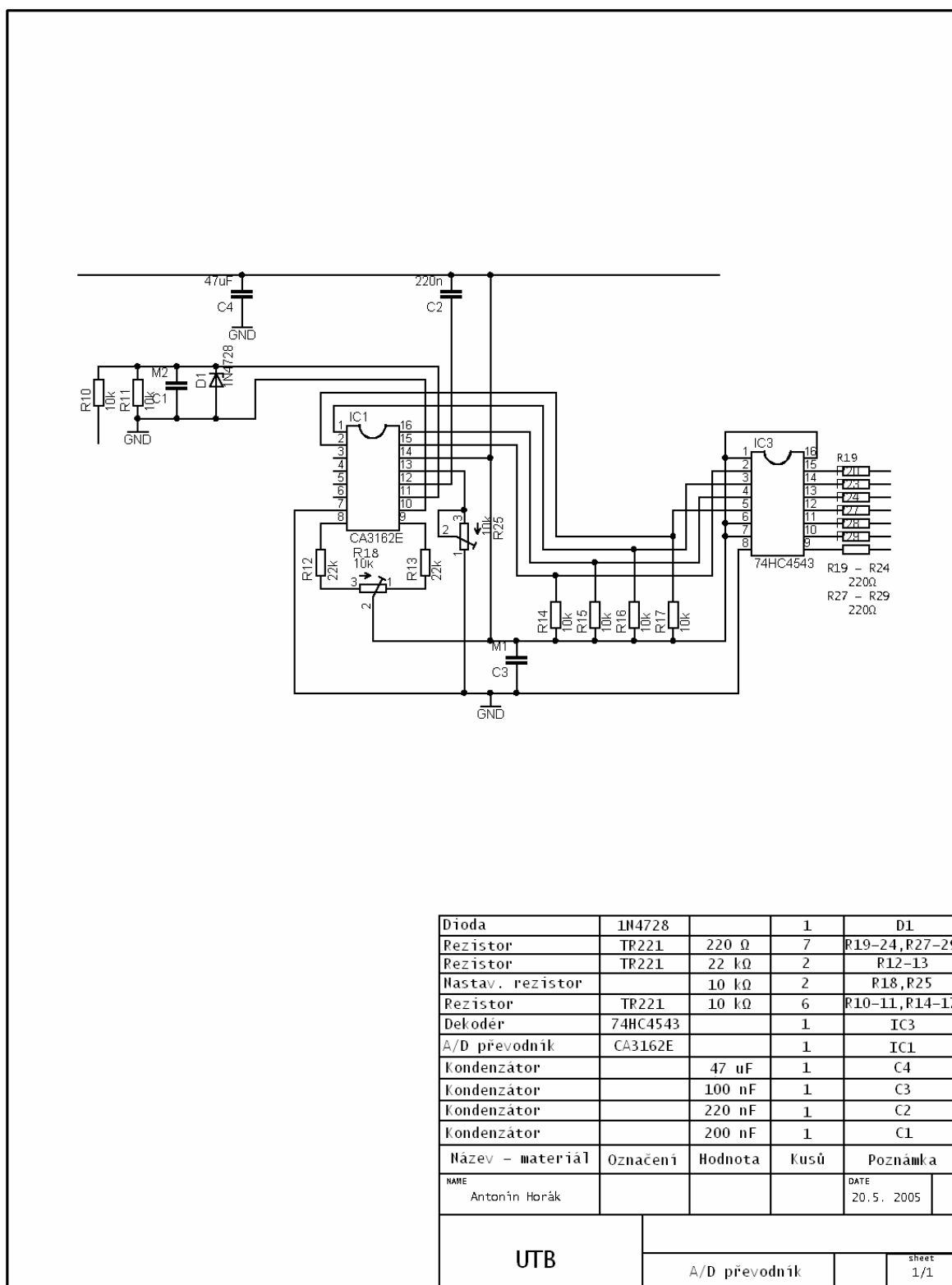
Operační zesilovač	LM248N		2	IC2A, IC2C
Rezistor	TR221	1 kΩ	2	R1, R3
Rezistor	TR221	22 kΩ	2	R2, R4
Název - materiál	Označení	Hodnota	Kusů	Poznámka
NAME Antonín Horák				DATE 20.5. 2005
UTB				
		Zesilovač		sheet 1/1

Obr. 21. Zesilovací člen - výkres

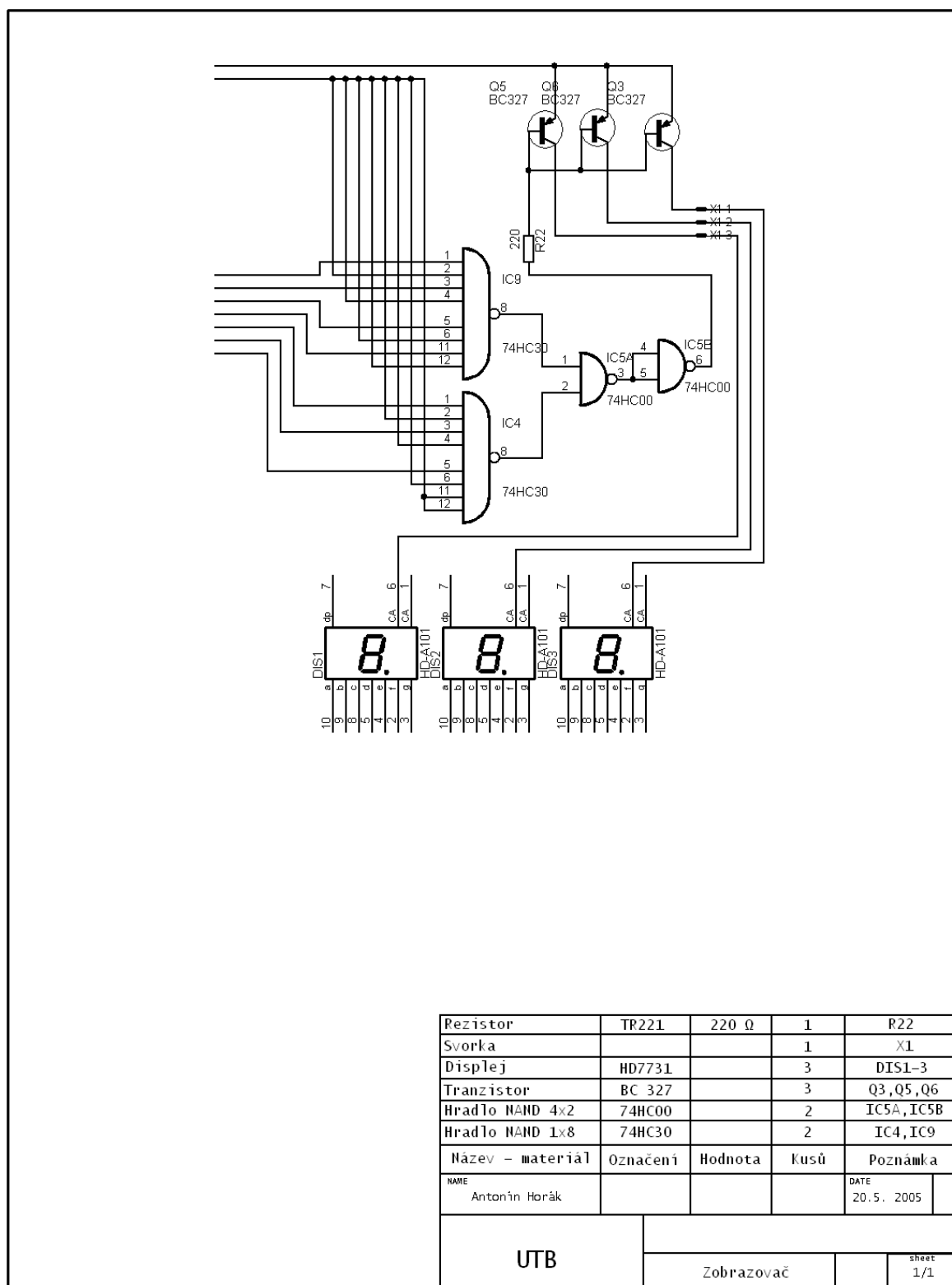


Rezistor	TR221	90 kΩ	1	R9
Rezistor	TR221	220 Ω	4	R5 – R8
Operační zesilovač	LM248N		1	IC2B
Název – materiál	Označení	Hodnota	Kusů	Poznámka
NAME Antonín Horák				DATE 20.5. 2005
UTB				
		Rozdílový zesilovač		sheet 1/1

Obr. 22. Rozdílový zesilovač - výkres



Obr. 23. A/D převodník - výkres



Obr. 24. Zobrazovací část - výkres

3.4 Kontrola funkčnosti snímací a zobrazovací jednotky generátoru

Kontrola funkčnosti snímací a zobrazovací jednotky generátoru byla prováděna postupně dle bloků na obrázku (Obr. 8).

První kontrolovanou částí byl zesilovací člen společně s referenčním členem. Důvodem společného oživení obou bloků je použití operačního zesilovače LM248N, který v jednom pouzdře obsahuje čtyři operační zesilovače.

Dříve než připojíme napájecí napětí k operačnímu zesilovači, vizuálně zkontrolujeme, zda je správně zapájen v desce plošných spojů a nejsou-li spojeny cínem některé vodivé cesty nebo vývody operačního zesilovače.

Po vizuální kontrole připojíme k operačnímu zesilovači měřicí přístroj, nazývaný ampérmetr, do série s napájecím napětím $\pm 15\text{V}$. Změříme klidový proud operačního zesilovače, který by měl mít hodnotu $3\text{mA} \pm 0,5\text{mA}$. Pokud proud bude větší nebo naopak menší, je třeba hledat chybu. Začneme kontrolou plošného spoje a jeho osazením.

Pokud je odebíraný klidový proud v pořádku, můžeme provést kontrolu funkčnosti neinvertujících zesilovačů a rozdílového zesilovače. Na vstupy neinvertujících zesilovačů připojíme napětí $0,5\text{V}$. Pomocí měřicího přístroje voltmetru na výstupu jednotlivých neinvertujících zesilovačů změříme výstupní napětí. Toto napětí by mělo být 23krát větší než napětí na vstupu zesilovače a jeho hodnota by měla být $11,5\text{V}$.

Pro ověření funkčnosti rozdílového zesilovače připojíme na jeho vstupy dvě rozdílná napětí. Napětí na neinvertující svorce bude mít hodnotu 10V a napětí na invertující svorce bude mít hodnotu 5V . Na výstupu rozdílového zesilovače naměříme měřicím přístrojem nazývaným voltmetr rozdíl těchto napětí, který je 5V .

Druhou oživovanou částí snímací a zobrazovací jednotky generátoru je A/D převodník. Před připojením napájecího napětí opět provedeme vizuální kontrolu správnosti osazení plošného spoje. Následně připojíme k A/D převodníku napájecí napětí 5V společně v sérii zařazeným měřicím přístrojem nazývaným ampérmetr. Změříme klidový proud a měli bychom na ampérmetru naměřit hodnotu klidového proudu $4\text{mA} \pm 0,5\text{mA}$. Pokud bude proud větší nebo menší, je třeba hledat chybu. Začneme kontrolou plošného spoje.

Na výstupu dekodéru se objeví binární kód, který by měl být blízký binárnímu kódu nuly. Tento kód odpovídá aktivovaným segmentům na displeji při zobrazení čísla nula. Pomocí otočného rezistoru R19 s rozsahem hodnot odporu $0 - 10\text{k}\Omega$, doladíme výstup z dekodéru, aby na jeho výstupu byl binární kód odpovídající nule, který by se zobrazil na displeji. Pokud by nám rozsah otočného rezistoru R19 nestačil, zvýšíme

hodnotu odporu rezistorů R11 a R12. Binární kód nuly na výstupu dekodéru by se neměla měnit ani v případě zkratovaného vstupu A/D převodníku.

Po nastavení nuly přivedeme na vstup A/D převodníku napětí 5V a paralelně připojíme přesný voltmetr v toleranci $\pm 0,5\%$. Pomocí otočného rezistoru R25 s rozsahem hodnot 0 – 10k Ω , nastavíme na výstupu dekodéru binární kód odpovídající hodnotě zobrazené na voltmetru. S otočným rezistorem R25 pracujeme opatrně, abychom běžcem nezkratovali celou dráhu otočného rezistoru.

Zamontujeme snímací a zobrazovací jednotku do generátoru a provedeme aktivaci poslední části jednotky, kterou je sepnutí sedmisegmentových displejů.

Pro oživení poslední části potřebujeme znát binární kód napětí, které odpovídá frekvenci generátoru. Podle tohoto kódu nastavíme osmivstupá hradla tak, aby na jejich výstupu byla generována logická jednička a došlo k sepnutí tranzistorů Q3, Q5 a Q6.

Po provedené kontrole funkčnosti a verifikaci hodnot je uvedená jednotka aktivována a tím dojde k zobrazení pracovní frekvence generátoru.

Celý přístroj je napájen ze sítě 230V, 50Hz AC přes síťový kabel H05 VV-F 3x1,5mm² podle ČSN 34 74 10-5. Zapojení snímací a zobrazovací jednotky je provedeno pomocí vodičů H07 V-R jádro lanové 1,5 mm². Vodiče byly opatřeny propojovacími konektory, které usnadňovaly práci při zapojování jednotky do generátoru. Kde nebylo možné tohoto postupu využít, přišlo na řadu klasické pájení.

Bylo dodrženo barevné značení vodičů podle ČSN 33 01 65. Pro lepší vnitřní přehlednost a celkový estetický vzhled byly vodiče rozděleny a zasvazkovány pomocí plastových spon.

Upevnění snímací a zobrazovací jednotky generátoru do přístroje bylo provedeno pomocí šestihranných distančních sloupků o výšce 5mm. K přichycení distančních sloupků k tělu přístroje byly použity šestihranné matice M3 ČSN 02 14 01. Uchycení plošného spoje bylo provedeno pomocí šroubů se zářezem v hlavě A M3x10 ČSN 02 1151.65.

Po upevnění snímací a zobrazovací jednotky do generátoru bylo provedeno zakrytí jednotky krytem, vyrobeným z tenkého hlubokotažného plechu válcovaného za studena podle ČSN 42 6312 z oceli s značením 11 301 21. Uchycení krytu k úložné skříni generátoru jsem provedl šestihrannými maticemi M3 ČSN 02 14 01 a šrouby se zářezem v hlavě A M3x10 ČSN 02 1151.65.

Kryt na snímací a zobrazovací jednotce generátoru slouží k jejímu odstínění. Odstínění bylo prováděno z důvodu dodržení podmínek norem EMI a EMS. Požadavek nad odstínění jednotky byl větší z hlediska funkčnosti normy EMS. Důvodem je

skutečnost, že je jednotka umístěna v generátoru, kde je silné magnetické pole, které by mohlo ovlivnit její funkčnost a mohlo by dojít k nesprávnému fungování jednotky.

Vyzařování jednotky s pohledu normy EMI je zanedbatelné vzhledem k prostředí, ve kterém je jednotka umístěna. Její interference je asi stokrát menší než rušivé prostředí, ve kterém bude pracovat. Její vyzařování bylo odstíněno použitým krytem.

Uzemnění jednotky a jejího krytu bylo dosaženo vodivým spojením obou částí ze spodní částí úložné skříně generátoru. Kryt jsem uzemnil přišroubováním ke spodní části generátoru. Uzemnění jednotky bylo provedeno pomocí zemního vodiče připevněného na kostru generátoru.

3.5 Naměřené hodnoty

Tab. 5. Naměřené hodnoty

Parametr	Hodnota	Jednotka
Klidový proud jednotky *	6	mA
Napětí na referenčním rezonačním obvodu	4	mV
Napětí na snímacím rezonančním obvodu	7	mV
Napětí na výstupu operačního zesilovače IC2A	92	mV
Napětí na výstupu operačního zesilovače IC2C	161	mV
Napětí na výstupu rozdílového zesilovače IC2B	69	mV
Proud odebíraný jednotkou po sepnutí sedmisegmentových displejů *	100	mA

* Hodnoty měřené pro napájení 5 V.

Měření pro oblasti norem EMI a EMS byly provedeny na měřícím systému ESCS 30 (vybavený dle IEC/IEEE), systém měření IEC a softwarem ESIB u firmy H – Tronic se sídlem v Malenovicích.

ZÁVĚR:

Z důvodu obsáhlosti potřebných tématických celků a studií na škole, která není elektrotechnického charakteru, je celá bakalářská práce koncipována v teoretické části informativně, ale v praktické části přehledově s realizačním závěrem.

V rámci bakalářské práce byla prostudována problematika elektromagnetické kompatibility zkráceně EMC, její vývoj a důsledky spojené s jejím používáním. Bylo provedeno seznámení s jejím historickým vývojem, jejím základním rozdělením na EMC biologických systémů a EMC technických systémů.

V oblasti EMC biologických systémů byl prostudován vliv elektromagnetického vyzařování na živé organizmy a jejich přizpůsobení se vlivům elektromagnetického záření a využití těchto poznatků o elektromagnetických vlnách v lékařství k léčení zhoubných nádorů bez nutnosti chirurgického zákroku.

V oblasti EMC technických systémů bylo provedeno rozdělení technických systémů na přijímače rušení a vysílače rušení. Samotná problematika EMC byla pak rozdělena do dvou oblastí a to na Elektromagnetickou interferenci (rušení), zkráceně EMI, a na Elektromagnetickou susceptibilitu (odolnost, imunita), zkráceně EMS. Byl popsán základní řetězec elektromagnetické kompatibility, který je složen ze tří částí. První částí je zdroj elektromagnetického rušení (motory, spínače relé...), druhou částí je přenosové prostředí neboli elektromagnetická vazba (vzdušný prostor, napájecí vedení...) a poslední částí je rušený objekt neboli přijímač rušení (rozhlasové přijímače, měřicí přístroje...).

Dále bylo provedeno seznámení se základními normami v oblasti EMC a jejich rozdělení na civilní a vojenské normy. A v neposlední řadě jsem seznámil s ekonomickým a finančním hlediskem EMC a s náklady na výrobu a provoz zařízení, které vyhovují normám EMC.

V praktické části jsem uvedl problematiku logických funkcí negace, logického součtu (OR) a logického součinu (AND). Dále jsem seznámil s funkcí A/D převodníku. Speciálně bylo provedeno seznámení se s A/D převodníkem s dvojitou integrací, který byl dále využit při návrhu a výrobě snímací a zobrazovací jednotky generátoru.

V další části jsem provedl návrh snímací a zobrazovací jednotky generátoru. Návrh schématu a plošného spoje jednotky byl prováděn v programu pro kreslení elektrických schémat EAGLE.

Výroba plošného spoje byla rozdělena do 4 etap. V první etapě bylo provedeno vyleptání a vyvrtání plošného spoje. V druhé etapě byly zapájeny prokovky a proměřena

jejich správná funkčnost. Třetí etapou bylo osazení plošného spoje součástkami. V poslední etapě byla provedena kontrola funkčnosti snímací a zobrazovací jednotky .

Vzhledem k tomu, že moje práce navazovala na diplomovou práci, která ještě nebyla dokončena, není jednotka v generátoru zamontována a uvedena v činnost. Její zamontování a uvedení do provozu bude možné až po dokončení zmiňované diplomové práce, avšak logická zobrazovací jednotka je funkční a byla v praxi vyzkoušená.

Součástí bakalářské práce je prezentační program vytvořený v programu PowerPoint, který slouží pro pozdější obhajobu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Norma ČSN CISPR 16 – 1, 1996
- [2] Hewlett Packard, firemní materiály, Sborník semináře EMC, Praha 1996, 1997
- [3] Rhode & Schwarz, firemní materiály, Seminář EMC Praha 1996, Katalog 1996
- [4] Vaculíková P., Vaculík E.: Elektromagnetická kompatibilita, Grada Publishing, Praha 1998
- [5] Anritsu.: Personál EMI Measurmant systém – Technical note 1991
- [6] doc. Ing. Svačina CSc.: Elektromagnetická kompatibilita, základní pojmy a principy, FEI VUT Brno 1995
- [7] Václav Malina : Poznáváme elektroniku III., Kopp nakladatelství, České Budějovice 1998
- [8] Ing. Mařátko J.: Elektronika, Nakladatelství technické literatury, Praha 1987
- [9] <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole a zkratky	Význam	Jednotky
A/D	analogově-digitální	-
AND	logický součin	-
ANSI	Americký národní normalizační institut	-
ASTM	American Standards and Testing Materials	-
CEN a CENELEC	komise Evropské unie k technické přípravě EN	-
CISPR	výbor pro rádiovou interferenci	-
ČNI	Český normalizační institut	-
ČSN	České státní normy	-
DDS	Přímá číslicová syntéza	-
EIA	Electronic Industries Association	-
EMC	elektromagnetická kompatibilita	-
EMI	elektromagnetická interference	-
EMS	elektromagnetická susceptibilita (imunita)	-
EN	evropské normy	-
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise	-
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise	-
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	-
ISO	International organization of standartion	-
ITE	Information Technology Equipment	-
NATO	Severoatlantická aliance	-
OR	logický součet	-
PLL	Nepřímá číslicová syntéza	-
SAE	Society of Automotive Engineers	-
TC	technická komise	-
TTL	Tranzistor – Tranzistor – Logic	-
ZIT	zařízení informační techniky	-
C	kondenzátor	F
f_r	rezonanční frekvence	Hz
L	cívka	H
R	rezistor	Ω
U_{ref}	referenční napětí	V
U_x	měřené napětí	V

Symboly a zkratky**Význam****Jednotky** τ

čas

s

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Základní rozdělení EMC	10
Obr. 2. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí	12
Obr. 3. Základní dělení problematiky EMC.	13
Obr. 4. K definici úrovní a mezí vyzařování a odolnosti.....	27
Obr. 5. Ekonomické hledisko EMC.....	29
Obr. 6. Blokové schéma A/D převodníku.....	35
Obr. 7. Průběh napětí a řídicích signálů.....	35
Obr. 8. Blokové schéma zobrazovací jednotky	36
Obr. 9. Schéma snímací a zobrazovací jednotky	39
Obr. 10. Deska plošných spojů	44
Obr. 11. Deska plošných spojů – pohled zespodu	44
Obr. 12. Deska plošných spojů – z vrchu	45
Obr. 13. Deska plošných spojů rozmístění součástek.....	45
Obr. 14. Schéma snímací a zobrazovací jednotky - výkres	47
Obr. 15. Kusovník.....	48
Obr. 16. Deska plošných spojů rozmístění součástek - výkres.....	49
Obr. 17. Deska plošných spojů - výkres	50
Obr. 18. Deska plošných spojů pohled ze spodu - výkres	51
Obr. 19. Deska plošných spojů pohled z vrchu - výkres	52
Obr. 20. Snímač - výkres	53
Obr. 21. Zesilovací člen - výkres.....	54
Obr. 22. Rozdílový zesilovač - výkres.....	55
Obr. 23. A/D převodník - výkres	56
Obr. 24. Zobrazovací část - výkres	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Prahové hustoty tepelných účinků elektromagnetického pole	11
Tab. 2. Logický součet.....	32
Tab. 3. Logický součin	32
Tab. 4. Negace	32
Tab. 5. Naměřené hodnoty.....	60