



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra telekomunikační techniky**

## **Testování RFID identifikačních karet**

### **RFID card testing**

Diplomová práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Studijní obor: Sítě elektronických komunikací

Vedoucí práce: Ing. Bc. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

**Ladislav Langweil**

---

**Praha 2015**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Langweil Ladislav**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Síť elektronických komunikací

Název tématu: **Testování RFID identifikačních karet**

Pokyny pro vypracování:

Prostudujte normativní dokumenty související s testováním RFID karet s vazbou na blízko, zejména pro pásmo 13,56 MHz. Na základě těchto dokumentů sestavte metodiku pro testování karet a vyhodnocování testů. Preferujte zejména elektrické parametry na fyzické vrstvě. Experimentálně ověřte sestavenou metodiku.

Seznam odborné literatury:

- [1] Finkenzeller, K: RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification (2 ed.). John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2003.
- [2] <http://www.generalmanual.com/Pocket-PC/Motorola-MC9090-G-RFID-Handheld-Mobile-Computer.htm>
- [3] <http://www.arsenal-testhouse.com/>

Vedoucí: Ing. Lukáš Vojtěch, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

prof. Ing. Boris Šimák, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 19. 11. 2014

## **Čestné prohlášení**

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

V Praze dne 11. 5. 2015

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce Ing. Bc. Lukášovi Vojtěchovi Ph.D., konzultantovi Ing. Bc. Markovi Nerudovi, Ph.D., své přítelkyni, rodině a přátelům za metodickou pomoc, cenné rady a podporu při zpracování diplomové práce.

## **Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá metodikou testování RFID karet, zejména karet s vazbou na blízko. Při sestavování metodiky bylo využito normativních dokumentů ČSN ISO/IEC 10373-6 Karty s vazbou na blízko, ČSN ISO/IEC 14443-1 Fyzikální charakteristiky, ČSN ISO/IEC 14443-2 Radiofrekvenční výkonové rozhraní a signálové rozhraní a ČSN ISO/IEC 10373-7 Karty s vazbou na dálku. Cílem práce je sestavenou metodiku testování identifikačních karet ověřit realizováním popsaných zkoušek. Dle pokynů vedoucího práce byly sestaveny měřicí aparatury, vybrány přístroje a realizovány zkoušky ověřující jejich funkčnost a správné nastavení pro další práci. Zmíněné testy a měření byly prováděny v laboratořích Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

## **Klíčová slova:**

Identifikační karty  
ISO (mezinárodní organizace pro normalizaci)  
Karty s vazbou na blízko  
Karty s vazbou na dálku  
Magnetické pole  
Metodika pro testování  
Modulační index  
RFID (radiofrekvenční identifikace)

## **Abstract:**

This thesis deals with the testing methodology of RFID cards, especially proximity cards. For creation of methodology were used normative documents ISO/IEC 10373-6 Proximity cards, ISO/IEC 14443-1 Physical characteristic, ISO/IEC 14443-2 Radio frequency power and signal interface and ISO/IEC 10373-7 Vicinity cards. The purpose of the thesis is to prove methodology for ID card testing by performing test procedures described. Measuring equipment was verified and tested according to guidance of thesis leader. These tests and measurements were carried out in the laboratories of the Faculty of Electrical Engineering CTU in Prague.

## **Index Terms:**

Identification cards  
ISO (International Organization for Standardization)  
Proximity cards  
Vicinity cards  
Magnetic field  
Methodology for testing  
Modulation index  
RFID (Radio Frequency Identification)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Normativní dokumenty</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Standardní položky zkušebních metod</b>	<b>11</b>
3.1	Prostředí	11
3.2	Aklimatizace	11
3.3	Standardní tolerance	11
3.4	Parazitní indukčnost	11
3.5	Celková nejistota měření	11
<b>4</b>	<b>Zkušební přístroje a zkušební obvody</b>	<b>12</b>
4.1	Přístroje pro testování karet s vazbou na blízko	12
4.1.1	Kalibrační cívka	12
4.1.2	Zkušební sestava PCD	13
4.1.2.1	Anténa PCD	14
4.1.2.2	Snímací cívky	14
4.1.3	Referenční karty PICC	15
4.1.4	Číslicový vzorkovací osciloskop	16
4.1.5	Sestava pro testování EMD	16
4.1.5.1	Test základního šumu	16
4.2	Přístroje pro testování karet s vazbou na dálku	17
4.2.1	Kalibrační cívka	17
4.2.2	Zkušební soustava VCD	17
4.2.2.1	Anténa VCD	17
4.2.2.2	Snímací cívky	18
4.2.3	Referenční karty VICC	18
4.2.4	Číslicový vzorkovací osciloskop	18
<b>5</b>	<b>Funkční zkoušky</b>	<b>19</b>
5.1	Karty s vazbou na blízko	19
5.1.1	PCD	19
5.1.1.1	Střídavé magnetické pole (ISO/IEC 14443-1)	19
5.1.1.2	Intenzita pole PCD (ISO/IEC 14443-2)	20
5.1.1.3	Modulační index a časový průběh (ISO/IEC 14443-2)	20
5.1.1.4	Příjem zátěžové modulace (ISO/IEC 14443-2)	21

5.1.1.5	Test odolnosti PCD proti EMD .....	21
5.1.1.6	Test obnovy PCD po působení EMD .....	22
5.1.1.7	Testování úrovně EMD z PICC a intervalu nízkého EMD .....	23
5.1.2	PICC .....	24
5.1.2.1	Střídavé magnetické pole (ISO/IEC 14443-1).....	24
5.1.2.2	Zkouška statickou elektřinou (ISO/IEC 14443-1).....	24
5.1.2.3	Přenos PICC (ISO/IEC 14443-2) .....	26
5.1.2.4	Příjem PICC (ISO/IEC 14443-2).....	27
5.1.2.5	Rezonanční kmitočet PICC (informativní).....	28
5.1.2.6	Maximální zatěžovací efekt PICC (ISO/IEC 14443-2).....	29
5.2	Karty s vazbou na dálku .....	30
5.2.1	VCD.....	30
5.2.1.1	Intenzita pole VCD a přenos výkonu .....	30
5.2.1.2	Modulační index a časový průběh.....	30
5.2.1.3	Příjem zátěžové modulace .....	31
5.2.2	VICC.....	31
5.2.2.1	Přenos VICC.....	31
5.2.2.2	Zkouška statickou elektřinou.....	31
<b>6</b>	<b>Vyhodnocení zkoušek a měření.....</b>	<b>32</b>
6.1	Střídavé magnetické pole PCD.....	32
6.2	Intenzita pole PCD .....	32
6.3	Modulační index a časový průběh PCD .....	32
6.4	Příjem zátěžové modulace PCD .....	32
6.5	Test odolnosti PCD proti EMD .....	32
6.6	Test obnovy PCD po působení EMD .....	32
6.7	Testování úrovně EMD z PICC a intervalu nízkého EMD .....	33
6.8	Střídavé magnetické pole PICC.....	33
6.9	Zkouška statickou elektřinou PICC.....	33
6.10	Přenos PICC .....	33
6.11	Příjem PICC.....	33
6.12	Rezonanční kmitočet PICC .....	33
6.13	Maximální zatěžovací efekt PICC.....	33
6.14	Intenzita pole VCD a přenos výkonu .....	33
6.15	Modulační index a časový průběh VCD .....	34

6.16	Příjem zátěžové modulace VCD .....	34
6.17	Přenos VICC.....	34
6.18	Zkouška statickou elektřinou VICC .....	34
<b>7</b>	<b>Realizované měření.....</b>	<b>35</b>
7.1	Přípravné práce .....	35
7.1.1	Ladění antény PCD (VCD) .....	35
7.1.2	Ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC .....	36
7.1.3	Ladění rezonančního kmitočtu referenční VICC.....	38
7.2	Zkoušky dle ČSN ISO/IEC 10373-6 – Karty s vazbou na blízko .....	40
7.2.1	Střídavé magnetické pole (dle ČSN ISO/IEC 14443-1).....	40
7.2.2	Intenzita magnetického pole (dle ČSN ISO/IEC 14443-2) .....	41
7.2.3	Maximální zatěžovací efekt PICC .....	42
7.2.4	Modulační index .....	43
7.2.5	Příjem zátěžové modulace .....	45
7.3	Zkoušky dle ČSN ISO/IEC 10373-7 – Karty s vazbou na dálku .....	50
7.3.1	Intenzita pole VCD a přenos výkonu .....	50
7.3.2	Modulační index .....	52
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Zkratky .....</b>	<b>56</b>
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Seznam tabulek a grafů.....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>60</b>
<b>Příloha A – Výběr norem dle klíčových slov .....</b>		<b>62</b>
A.1	Seznam norem obsahující klíčové slovo „Identifikační karty“ .....	62
A.2	Seznam norem obsahující klíčové slovo „RFID“ .....	63
<b>Příloha B – Schémata měřících přípravků a použité součástky.....</b>		<b>64</b>
B.1	Testovací sestava PCD (VCD).....	64
B.2	Referenční PICC .....	65
B.3	Referenční VICC .....	67
B.4	Obvodová reference pro ladění testovacích antén .....	68
B.5	Obvod pro přizpůsobení impedance antény PCD (VCD).....	69



# 1 Úvod

Identifikace pomocí radiofrekvenční identifikace (RFID) je jedním z mnoha možných celosvětově používaných identifikačních systémů. Pomocí RFID transpondérů, neboli tagů, které musejí být ve většině případů implementovány, lze označit a následně identifikovat osoby (buď umístěním čipu pod pokožku, nebo pomocí plastové karty či jinou metodou – například náramkem), zvířata (pro identifikaci při ztrátě, popřípadě odcizení) nebo věci (inventurní systém).

Dalšími možnostmi identifikace je například použití čárových kódů, či kódů QR (DMC), které lze buď nalepit, nebo laserem vypálit.

Technologie RFID je v dnešní době implementována ve většině modernějších docházkových systémů, velmi populární jsou i bezkontaktní finanční transakce prostřednictvím platebních karet a systém biometrických cestovních pasů a občanských průkazů. V automobilovém průmyslu bylo využíváno pro centrální zamykání dveří, v novějších vozech je instalováno přímo do ovládání chodu motoru nebo zamykání dveří po opuštění blízkého prostoru automobilu.

V následujícím textu jsou postupně popsány podmínky pro testování identifikačních karet na rádiové frekvenci. Testy je nutno provádět v laboratořích, které jsou schopné zajistit před a během testování požadovanou teplotu a vlhkost okolního vzduchu v pracovním prostředí. Tyto požadavky směřují spíše ke zkouškám fyzikálních charakteristik, jež v textu nejsou nijak výrazně rozebírány, nicméně s metodikou souvisejí. Fyzikální charakteristiky jsou předmětem jiné části normy [1], zde je brán zřetel především na testy odolnosti vůči elektrickým a elektromagnetickým jevům, modulacím a přenosu výkonu.

V textu jsou rozlišovány identifikační karty s vazbou na blízko s příslušnými testy uvedených v normě ČSN ISO/IEC 10373-6 [2] a karty s vazbou na dálku s testy definovanými normou ČSN ISO/IEC 10373-7 [6]. Pro oba typy karet jsou zpracovány kapitoly řešící správné nastavení měřících přístrojů a aparatur s ověřením řadou funkčních zkoušek a jsou rozděleny z důvodu rozdílných parametrů pro oba typy karet, aby nemohlo během zkoušek dojít k poškození vzorků nebo laboratorního vybavení.

Pro snadné a rychlé vyhodnocování získaných poznatků během měření je součástí i metodika pro vyhodnocení zkoušek. S odkazem na odstavec v textu, kde se nachází ve většině případů účel zkoušky, použité přístroje a pomůcky, pracovní postup a závěr z měření, stačí pouze zaznamenat hodnoty, či požadované průběhy.

Pro ověření je práce doplněna o realizované testy, kde je zmíněn podrobný postup jak připravit pracoviště, nastavení měřidel a detailní postup měření. Případně je doplněna obrazovým materiálem pro názornost.

Závěrem je shrnuta práce s normativními dokumenty. V některých případech zpracování normativních dokumentů došlo k nejasnostem, pravděpodobně kvůli překladům základních norem do českého jazyka. To je řešeno návrhem dalšího postupu s ukázkami na části, kterých se problém týkal. Dále jsou shrnuty poznatky z proběhlých měření a možnosti dalšího postupu.

## 2 Normativní dokumenty

Stěžejními podklady pro zpracování této práce jsou normy uvedené v seznamu použité literatury. Jednalo se především o normy ČSN ISO/IEC 10373 – Identifikační karty, Část 6: Karty s vazbou na blízko [2-5] a Část 7: Karty s vazbou na dálku [6]. Součástí byly i postupně vydávané změny prováděné v základních normách.

Normy byly vydány Úřadem pro technickou normalizaci a jsou většinou překladem mezinárodních norem ISO/IEC. Identifikační karty, respektive jejich fyzikální charakteristiky jsou popsány v ISO/IEC 7810. Zde jsou probírány typy bezkontaktních karet s integrovaným obvodem (RFID čipem a anténou, umístěnou po obvodu karty).

Zkoušky karet s vazbou na blízko, zmíněné v ČSN ISO/IEC 10373-6, jsou popsány normou ČSN ISO/IEC 14443-1: Fyzikální charakteristiky [7]. Zabývají se geometrickými vlastnostmi a chováním ve střídavém magnetickém poli, vzorky se značí jako PICC. ČSN ISO/IEC 14443-2: Radiofrekvenční výkonové rozhraní a signálové rozhraní se zabývá přenosem výkonu, rušením a modulacemi pro typy karet A a B [8].

Zkoušky uvedené v ČSN ISO/IEC 10373-7 jsou blíže popsány (zejména fyzikální charakteristiky a podobně, viz karty s vazbou na blízko) normami ČSN ISO/IEC 15693-1 [11] a ISO/IEC 15693-2 [12].

Identifikační karty jsou v praxi velmi rozšířené téma, dělené dle místa aplikace. Například bezkontaktní karty pro identifikaci osob, nebo moderní finanční transakce, karty s kontakty a magnetickými proužky, čipy určené pro sledování zásilek a podobně. Každá karta z těchto typů má své specifikace určené normativními dokumenty. Vše ale není předmětem této práce, proto je hlavní úsilí věnováno normám řady ČSN ISO/IEC 10373, ČSN ISO/IEC 14443 a ČSN ISO/IEC 15693. V Příloze A jsou vyjmenovány normy, které souvisejí s rozebíranou tematikou, vyhledávané na internetových stránkách Úřadu pro technickou dokumentaci (viz [15]) dle klíčových slov zvolených tak, aby byly co nejbližší technologii RFID.

### **3 Standardní položky zkušebních metod**

Jelikož primárním požadavkem zadání této práce je zabývat se fyzickou vrstvou identifikačních karet, doporučuje se měřené vzorky a aparatury podrobit aklimatizaci v prostředí, kde následné testy budou probíhat. Ačkoli v normativních dokumentech není u většiny funkčních zkoušek vyžadována, je tímto předcházeno sporům ohledně správnosti naměřených hodnot, kde může teplota součástek, umístěných na testovacích a ladících přípravcích, hrát významnou roli. I díky jednotným klimatickým podmínkám v testovaném prostředí je zamezeno naměření různých výsledků při použití stejných přístrojů. Do funkční zkoušky bývá u karet s vazbou na blízko i karet s vazbou na dálku zařazena zkouška statickou elektřinou. Pro tuto zkoušku je nezbytné provést aklimatizaci 24 hodin. V případě transportu vzorků z chladného prostředí do prostředí laboratoře o vyšší teplotě by mohlo dojít k orosení a v takovém případě by zkoušky statickou elektřinou neměly vůbec probíhat. Jednak by mohlo být ověření kompatibility s normou neprůkazné a jednak je zakázáno vystavovat karty s kontakty ESD, respektive zóny na kartě obsahující kontakty.

#### **3.1 *Prostředí***

V případě že nejsou určeny jiné podmínky, musí se testovat v prostředí s teplotou  $23\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ , tj.  $73\text{ °F} \pm 5\text{ °F}$  a relativní vlhkostí 40 až 60 %.

#### **3.2 *Aklimatizace***

Aklimatizace se provádí před zkouškou, a to uložením do testovacího prostředí (teplota, vlhkost viz 3.1) na dobu alespoň 24 hodin před zahájením testu. V normě ČSN ISO/IEC 10373-6 a ČSN ISO/IEC 10373-7 není aklimatizace vyžadována.

#### **3.3 *Standardní tolerance***

Ve standardních případech se použije tolerance  $\pm 5\%$  hodnoty veličiny specifikující charakteristiky testovacího zařízení a postupy metod testování.

#### **3.4 *Parazitní indukčnost***

Indukčnost rezistorů a kondenzátorů by měla být zanedbatelná.

#### **3.5 *Celková nejistota měření***

Na základě níže uvedených testů musí mít každá veličina zmíněná v protokolu o zkoušce uvedenou celkovou nejistotu měření (viz ISO/IEC Guide 98-3:2008).

## 4 Zkušební přístroje a zkušební obvody

Tato kapitola popisuje nezbytné přístroje a jejich sestavení pro zkoušky ověřující funkční požadavky. Většina těchto přístrojů jsou osazené desky s plošnými spoji, obsahující připojovací kontakty, elektrické součástky a přepínače pro zvolení pracovního režimu v prováděném testu. Převážně je definováno, jaké má mít zařízení rozměrové parametry, elektrické parametry a pro jaké účely se používá. Konkrétně jsou zde uvedeny přístroje pro testování karet s vazbou na blízko i karet s vazbou na dálku, nicméně ve většině je shoda.

I přes toto jsou pro přehled a univerzálnost práce přístroje rozděleny do podkapitol, aby při zkouškách karet s vazbou na dálku nevzniklo nedopatření. Při testech, například karet s vazbou na dálku, není potřeba porovnávat a vyhledávat difference, které mají přístroje pro testy karet s vazbou na blízko, ale lze rychle zvolit patřičnou podkapitolu a přístroje efektivně vybrat. Dále by mohlo dojít ke špatnému pochopení terminologie (například pro karty s vazbou na blízko PCD, pro karty s vazbou na dálku VCD, atp.).

Normativní dokumenty karet s vazbou na blízko jsou navíc doplněné o testy EMD [4]. Tato zkratka má původ v elektrotechnice ve zkratce EMI (electromagnetic interference), což znamená klasické elektromagnetické rušení. Zde se však užívá zkratky EMD (electromagnetic disturbance), která označuje elektromagnetické rušení, vyvolané kartou PICC. Pro toto je opět definována aparatura a přístroje.

### 4.1 Přístroje pro testování karet s vazbou na blízko

#### 4.1.1 Kalibrační cívka

Kalibrační cívka je obsažena v kartě z izolačního materiálu s plošnými spoji, která je rozměrově vymezena v ISO/IEC 7810:2003. Tloušťka karty musí být menší, než je uvedeno v této normě. Každá kalibrační cívka je plošný vodič soustředný s obrysem karty. Má vždy pouze jeden závit.

Jsou definovány dva typy kalibračních cívek z důvodu měření intenzity magnetického pole ve dvou možných sestavách PCD. Volba sestavy 1 nebo 2 závisí na požadavcích konkrétního testu. Rozměrové tolerance cívek činí  $\pm 2\%$ .

Pro kalibrační cívku 1 platí:

- rozměr 72 mm x 42 mm s poloměrem zaoblení rohů 5 mm
- kalibrační faktor obvodu naprázdno  $0,318 V_{ef}$  pro  $1 (A/m)_{ef}$ ,  
resp.  $900 mV_{\text{špička-špička}}$  pro  $1 (A/m)_{ef}$ .
- při frekvenci 13,56 MHz odpovídá indukčnost přibližně 250 nH a přibližná rezistance činí  $0,4 \Omega$ .

Pro kalibrační cívku 2 platí:

- rozměr 46 mm x 24 mm s poloměrem zaoblení rohů 2 mm
- kalibrační faktor obvodu naprázdno  $0,118 V_{ef}$  pro 1 (A/m)<sub>ef</sub>,  
resp.  $333 mV_{\text{špička-špička}}$  pro 1 (A/m)<sub>ef</sub>.
- při frekvenci 13,56 MHz odpovídá indukčnost přibližně 140 nH a přibližná rezistance činí  $0,3 \Omega$ .

Cívka je připojena na ploškách 1,5 mm x 1,5 mm, šířka vodivé cesty je  $500 \mu m \pm 20 \%$ .

Na základě typu kalibrační cívky musí být ve zkušební sestavě PCD zvolena vhodná anténa PCD a snímací cívky. S typem 1 musí být použita anténa o průměru 150 mm a snímací cívky 100 mm x 70 mm s poloměrem zaoblení rohů 10 mm. S typem 2 anténa s průměrem 100 mm a snímací cívky 60 mm x 47 mm s poloměrem zaoblení rohů 10 mm.

#### 4.1.2 Zkušební sestava PCD

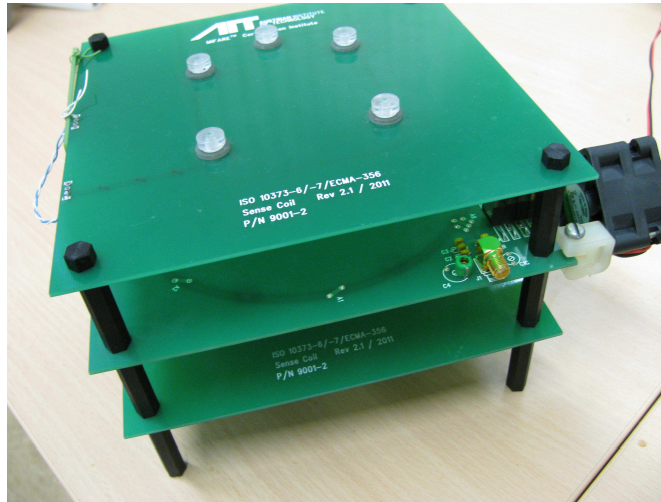
Testovací sestava PCD je tvořena anténou PCD a dvojicí snímacích cívek. Celá sestava musí být v jedné ose tak, aby nastala celková symetrie sestavy. Snímací cívky jsou připojeny pomocí zakroucené dvojice vodičů nebo koaxiálním kabelem nepřesahujícím délku 100 mm. Záporný pól cívky a se spojí s kladným pólem cívky b a kladný pól cívky a se připojí na záporný pól cívky b přes dva rezistory s odporem  $240 \Omega \pm 1 \%$  a potenciometrem o hodnotě  $10 \Omega$  pro jemnější naladění rovnováhy. Na snímací cívky je z vnějších částí umístěno nevodivé držení o šířce PICC nebo kalibrační cívky (viz ISO/IEC 7810:2003).

Pro testování jsou přesně určeny dva typy sestav PCD:

- Testovací PCD sestava 1 je tvořena snímacími cívkami 1a a 1b (100 mm x 70 mm) a anténou PCD 1 (průměr 150 mm)
- Testovací PCD sestava 2 je tvořena snímacími cívkami 2a a 2b (60 mm x 47 mm) a anténou PCD 2 (průměr 100 mm)

Výběr typu sestavy závisí na prováděné zkoušce.

Pro testovací sestavu 1 (s anténou PCD o průměru 150 mm) je potřeba dodržet vzdálenost mezi aktivními vodiči  $37,5 mm \pm 0,5 mm$ . Pro sestavu 2 (s anténou PCD o průměru 100 mm) je tato vzdálenost  $23 mm \pm 0,5 mm$ .



Obrázek 4.1 – Zkušební sestava PCD

#### 4.1.2.1 Anténa PCD

Zkušební anténa jsou dva kruhově uspořádané vodiče o šířce 1,8 mm. Tyto vodiče jsou umístěny v desce s plošnými spoji o rozměru 170 mm x 170 mm a vzájemně se kříží po kruhové výseči 45° (při křížení nikdy nedojde k vzájemnému kontaktu obou vodičů, protože je řešeno prokovením jednoho vodiče na opačnou stranu desky a následným vrácením na původní stranu). Průměr antény je závislý na typu použité kalibrační cívky. Buď se jedná o průměr 150 mm, nebo 100 mm (viz 4.1.1).

Vždy je potřeba anténu impedančně přizpůsobit, a to s pomocí analyzátoru impedance nebo analyzátoru sítě nebo LCR metru. Další možností je přizpůsobení pomocí kalibrační sestavy. Je zapotřebí signálního generátoru generujícího signál o frekvenci 13,56 MHz, osciloskopu umožňujícího režim zobrazení X-Y, kalibrační sestavy a kalibračního rezistoru 50  $\Omega$ . Na vstup kalibrační sestavy je připojen signální generátor, na výstup kalibrační rezistor např. v provedení BNC. Po naladění fáze kalibrační sestavy na nulu se odpojí zakončovací rezistor, připojí se obvod pro přizpůsobení impedance antény a naladí se tak, aby osciloskop zobrazoval Lissajousův obrazec, stejně jako s kalibračním rezistorem.

#### 4.1.2.2 Snímací cívky

V každé testovací PCD sestavě musí být obsaženy právě dvě snímací cívky. Snímací cívka 1 má rozměry 100 mm x 70 mm s poloměrem zaoblení 10 mm a snímací cívka 2 má rozměry 60 mm x 47 mm s poloměrem zaoblení 10 mm. Cívky se zapojují tak, že cívka 1 má opačnou fázi než cívka 2. Pro správné nastavení os cívek je použito potenciometru 10  $\Omega$ , díky kterému je ověřena symetrie sestavy.

Snímací cívka je tvořena vodičem o šířce 0,5 mm s relativní tolerancí  $\pm 20 \%$  umístěným v desce s plošnými spoji o rozměru 170 mm x 170 mm.

### 4.1.3 Referenční karty PICC

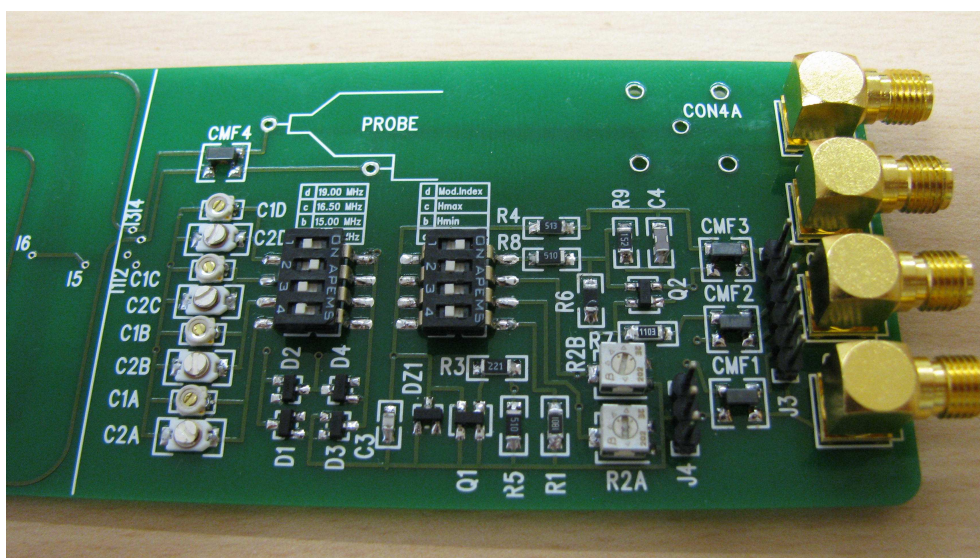
Účel referenční PICC je sledovat funkčnost a parametry sestav PCD.

Referenční PICC je rozdělena na dvě části – na cívky a obvody. Její délka je 172 mm, výška a šířka odpovídá kartám definovaným dle ISO/IEC 7810:2003. Cívky i obvody jsou umístěny na desce s plošnými spoji, kde šířka vodičů je 0,5 mm s relativní tolerancí  $\pm 20\%$ , a poloměry zaoblení rohů jsou od 1,5 mm do 5 mm. Na kartě se nachází dvě soustředné cívky – z jedné strany cívka snímací, z druhé hlavní cívka. Na základě velikosti a rozložení těchto dvou cívek se referenční karty PICC dělí do šesti skupin: PICC 1 až PICC 6.

Pomocí kalibrační cívky se na referenční PICC ladí rezonanční kmitočet. Obě karty se umístí do stejné osy ve vzdálenosti 10 mm. Kalibrační cívka se připojí k signálnímu generátoru a je buzena sinusovým signálem s požadovaným rezonančním kmitočtem.

K obvodům obsaženým v referenční PICC lze připojit pouze určitá zařízení:

- CON1 – konektor hlavní cívky pro přivedení zátěžové modulace ze signálního generátoru, pokud se obvod nevyužívá, musí být odpojen.
- CON2 – konektor hlavní cívky pro přivedení stejnosměrného napětí, které lze zvyšovat do doby, než se ukáže požadované napětí na CON3.
- CON3 – konektor hlavní cívky pro připojení karty k vysokoimpedančnímu voltmetru.
- CON4 – konektor snímací cívky, připojuje se přes vysokoimpedanční sondu k osciloskopu



Obrázek 4.2 – Obvod referenční PICC

#### 4.1.4 Číslicový vzorkovací osciloskop

Minimální požadavky na osciloskop se vztahují na jeho vzorkovací rychlost, která by měla být nejméně 500 milionů vzorků za sekundu, rozlišení dosahující alespoň 8 bitů při optimálním měřítku s minimálním pásmem 250 MHz. Vzhledem k dalšímu zpracování dat je vhodné použít osciloskop se schopností převádět vzorkovaná data do výstupního textového souboru.

#### 4.1.5 Sestava pro testování EMD

Součástí sestavy pro testování EMD (elektromagnetického rušení) je signální generátor, sestava PCD a analyzátor amplitudy signálu (osciloskop nebo analyzátor spektra). Nejprve analyzátor amplitudy musí být schopen zjistit závislost výkonu na čase (při pevné frekvenci a pásmu, vysokém dynamickém rozsahu, malé neurčitosti měření a vysokém časovém rozlišení). Hodnota výkonu se vypočte pomocí Fourierovy transformace vzorků určených Bartlettovým oknem. Toto okno je postupně posouváno celým zachyceným signálem s krokem  $1/f_c$ . Tento signál v časové oblasti zachycený snímací cívkou musí mít délku alespoň 250  $\mu$ s. Aby bylo možné zjistit dynamický rozsah a citlivost analyzátoru amplitudy, změní se základní úroveň šumu. Jestliže sestava pro testování EMD vyhovuje požadavkům, pak daná aparatura splňuje předpoklady na minimální šum. Pokud je mezní úroveň EMD pro PICC třikrát větší než směrodatná odchylka šumu, je testování základního šumu vyhovující. Tato směrodatná odchylka je určena výslednou efektivní hodnotou Fourierovy transformace a na její výpočet se doporučuje použít vhodný software.

##### 4.1.5.1 Test základního šumu

Po naladění referenční PICC na kmitočet 13,56 MHz se nastaví intenzita magnetického pole měřená kalibrační cívkou pomocí signálního generátoru připojeného k testovací anténě PCD. Po umístění referenční PICC do polohy DUT, musí být na konektoru hlavní cívky naměřeno napětí 6 V (DC). Napětí musí zůstat stejné a být monitorováno kalibrační cívkou, v opačném případě musí proběhnout nastavení. Pro časový interval 250  $\mu$ s se zaznamená signál na kalibrační cívce. Následně se vypočte směrodatná odchylka šumu pro  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$ , vypočtené směrodatné odchylky šumu musejí být třikrát menší než  $V_{E,PICC}$ .

V protokolu o zkoušce musí být záznam o splnění požadavků na test. Dále je nutné uvést vypočtené směrodatné odchylky šumu při  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$ .



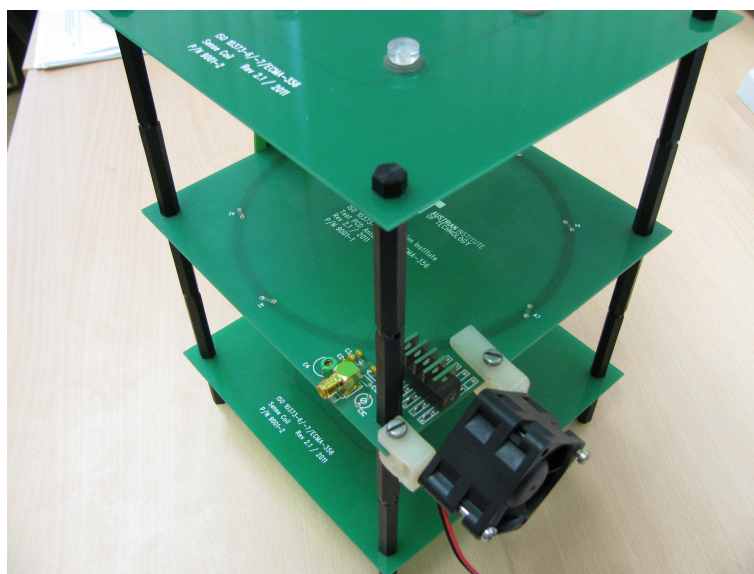
## 4.2 Přístroje pro testování karet s vazbou na dálku

### 4.2.1 Kalibrační cívka

Parametry kalibrační cívky pro vybrané testy karet s vazbou na dálku jsou totožné s parametry kalibrační cívky 1 pro testy karet s vazbou na blízko (viz 4.1.1).

### 4.2.2 Zkušební soustava VCD

Testovací sestava VCD je složená ze dvou snímacích cívek a b propojených tak, aby signál z cívek měl vzájemně opačnou fázi. Spojení obou cívek by mělo být pomocí krouceného páru vodičů nebo koaxiálním kabelem s délkou menší než 150 mm. Na vodiče je napojena sonda k osciloskopu tak, že připojení k zemní rovině osciloskopu musí být kratší než 20 mm nebo koaxiální. Kapacitance sondy musí být menší než 14 pF. Sonda je připojena k potenciometru s rozsahem 10  $\Omega$ . Do série s potenciometrem jsou směrem k oběma cívkám připojeny dva rezistory, každý s odporem 240  $\Omega \pm 1\%$ . Mezi snímací cívky je vložena testovací anténa VCD o průměru 150 mm a je soustředná s oběma snímacími cívkami. Anténu je nutno připojit koaxiálně. Pro testovací sestavu je potřeba dodržet vzdálenost mezi aktivními vodiči 100 mm  $\pm$  0,5 mm. Mezi VICC a snímací cívkou je ponechána vzduchová mezera 3 mm.



Obrázek 4.3 – Zkušební sestava VCD

#### 4.2.2.1 Anténa VCD

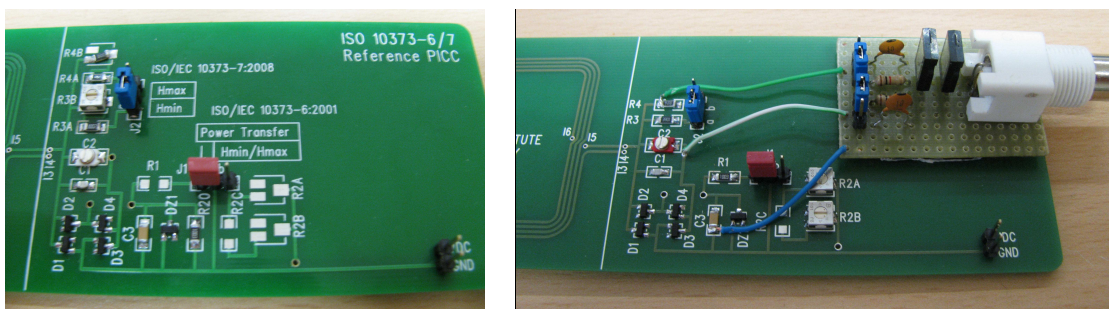
Testovací anténa VCD odpovídá svými rozměry, parametry a metodou přizpůsobení impedance testovací anténě PCD 1 (o průměru 150 mm, viz 4.1.2.1 – karty s vazbou na blízko).

#### 4.2.2.2 Snímací cívky

Rozměry a parametry snímací cívky se shodují s parametry snímací cívky 1 určené pro soustavu PCD (viz 4.1.2.2 – karty s vazbou na blízko).

#### 4.2.3 Referenční karty VICC

Referenční VICC konstrukčně odpovídá referenční PICC popsané v kapitole 4.1.3. VICC slouží pro testování minimální a maximální intenzity magnetického pole generujícího zkušební sestavou VCD, pro test výkonu dodávaného sestavou VCD kartám VICC a pro ověření schopnosti VCD přijímat signál modulovaný zátěží z VICC.



Obrázek 4.4 – Referenční VICC pro test výkonu a příjmu zátěžové modulace

#### 4.2.4 Číslicový vzorkovací osciloskop

Na digitální vzorkovací osciloskop jsou stanoveny požadavky na jeho vzorkovací rychlost, která by měla být nejméně 100 milionů vzorků za sekundu, rozlišení dosahující alespoň 8 bitů při optimálním měřítku s minimálním pásmem 250 MHz. Je vhodné použít osciloskop se schopností převádět vzorkovaná data do textového souboru vzhledem k dalšímu zpracování dat.

## 5 Funkční zkoušky

V této části je detailně popsáno, jak jsou zkušební aparatury připraveny pro další použití. Jsou zde zmíněny důvody provádění testů a postupy pro ověření správného zapojení a nastavení přístrojů. Opět jsou přesně rozděleny funkční zkoušky pro karty s vazbou na blízko a karty s vazbou na dálku. Základní normy řady ČSN ISO/IEC10373 definují postupy, jak testy provádět a tím zjistit požadované závěry funkčních testů. Normy řady ČSN ISO/IEC 14443 a řady ČSN ISO/IEC 15693 definují elektrické parametry a nastavení jednotlivých součástek, respektive jejich hodnoty, dále obsahují průběhy, ve kterých je vymezena tolerance hodnot a hraniční body při měření.

### 5.1 Karty s vazbou na blízko

#### 5.1.1 PCD

Podle testů parametrů sestavy PCD je zvolená referenční PICC dle ISO/IEC 14443-2. Viz tabulka 5.1 – Výběr referenční PICC pro jednotlivé sestavy PCD (převzato z [1]).

Třída	Referenční PICC	Testovací PCD sestava	$V_{load}$ [V]	$R2_{min}$ [ $\Omega$ ]	$R2_{max}$ [ $\Omega$ ]
1	1	Testovací PCD sestava 1	6	870	1070
2	2	Testovací PCD sestava 1	4,5	1030	1260
3	3	Testovací PCD sestava 1	4,5	1080	1320
4	4	Testovací PCD sestava 2	4,5	990	1210
5	5	Testovací PCD sestava 2	4,5	960	1170
6	6	Testovací PCD sestava 2	4,5	900	1100

Tabulka 5.1 - Výběr referenční PICC pro jednotlivé sestavy PCD

##### 5.1.1.1 Střídavé magnetické pole (ISO/IEC 14443-1)

###### 5.1.1.1.1 Účel zkoušky

Test ověření správného nastavení PCD, nesmí být generováno vyšší pole, než je specifikováno v ISO/IEC 14443-1:2008 pro různé polohy PICC.

###### 5.1.1.1.2 Postup při zkoušení

Naladění referenční PICC na kmitočet 13,56 MHz. Proběhne kalibrace sestavy PCD pro vytvoření průměrné hodnoty pole na kalibrační cívce (viz [7]). Do PCD se umístí PICC tak, že PICC je v poloze DUT na jedné ze snímacích cívek (viz schéma B.1). Pracovní pole je kontrolováno během celého testování. Na konektoru hlavní cívky referenční PICC by během celého testu mělo být napětí 3 V (tato hodnota nesmí být překročena).

#### 5.1.1.1.3 *Protokol o zkoušce*

Protokol musí obsahovat naměřené napětí (DC) na konektoru hlavní cívky referenční PICC.

### 5.1.1.2 **Intenzita pole PCD (ISO/IEC 14443-2)**

#### 5.1.1.2.1 *Účel zkoušky*

Zjištění intenzity magnetického pole tvořeného sestavou PCD pomocí PICC. Nalezení maximální a minimální hodnoty intenzity magnetického pole.

#### 5.1.1.2.2 *Postup při zkoušení*

Nejprve je pomocí testu zjištěna maximální intenzita magnetického pole ( $H_{max}$ ). Po naladění referenční PICC na 19 MHz se sestava PCD kalibruje pro vytváření pole  $H_{max}$  na kalibrační cívce. Referenční PICC se umístí do polohy DUT v sestavě PCD a sestava se nastaví tak, aby na konektoru hlavní cívky referenční PICC bylo napětí 3 V (DC), nikdy ne vyšší v rámci prostoru PCD. Hodnota se ověří pomocí kalibrační cívky, v případě jiné hodnoty napětí musí proběhnout jemnější nastavení.

Následně se zjišťuje minimální hodnota intenzity magnetického pole ( $H_{min}$ ). Postup je totožný jako při zjišťování  $H_{max}$ , avšak napětí konektoru hlavní cívky referenční PICC musí odpovídat  $V_{load}$ , jak je uvedeno v tabulce 5.1.

#### 5.1.1.2.3 *Protokol o zkoušce*

V protokolu musí být uvedeno, zda na konektoru hlavní cívky referenční PICC bylo naměřeno požadované napětí, pro  $H_{max}$  3 V a pro  $H_{min}$   $V_{load}$ .

### 5.1.1.3 **Modulační index a časový průběh (ISO/IEC 14443-2)**

#### 5.1.1.3.1 *Účel zkoušky*

Podle ISO/IEC 14443-2 je touto zkouškou zjištěn modulační index pole PCD a zároveň jsou stanoveny doby náběhu a poklesu a hodnoty překmitu pro všechny přenosové rychlosti PICC.

#### 5.1.1.3.2 *Postup při zkoušení*

Pomocí kalibrační cívky umístěné v pracovním prostoru se na osciloskopu zobrazuje indukované napětí v cívce. Modulační index  $i$  s charakteristikami lze vyhodnotit pomocí existujícího programu. Referenční PICC je naladěna na 16,5 MHz (tento kmitočet není považován za nejhorší případ zátěžového efektu PICC, nejvyšší zátěžový efekt je např. pro hodnotu nosného kmitočtu) a umístěna do pracovního prostoru testovací sestavy PCD. Na konektoru hlavní cívky musí být napětí odpovídající  $V_{load}$ , viz Tabulka 5.1. Z průběhů napětí získaného z konektoru snímací cívky referenční PICC se pomocí programu stanoví modulační index. Další variantou je užití postupu dle [22]

Měření probíhá pro různé polohy referenční PICC v pracovním prostoru sestavy PCD pro všechny podporované přenosové rychlosti z PICC do PCD (viz. [13]).

#### 5.1.1.3.3 *Protokol o zkoušce*

Do protokolu musí být uvedeny naměřené hodnoty modulačního indexu pole PCD, doby náběhu a poklesu a překmity ve stanoveném pracovním prostoru pro podmínky bez zátěže a se zátěží.

### 5.1.1.4 **Příjem zátěžové modulace (ISO/IEC 14443-2)**

#### 5.1.1.4.1 *Účel zkoušky*

Jestliže jsou podporovány přenosové rychlosti  $fc/128$ ,  $fc/8$ ,  $fc/4$  a  $fc/2$ , pak se testem ověřuje, zda je správně detekována zátěžová modulace z karty PICC do sestavy PCD.

#### 5.1.1.4.2 *Postup při zkoušení*

Po naladění kmitočtu referenční PICC na hodnotu 13,56 MHz je PICC umístěna do pracovního prostoru PCD. Na konektoru hlavní cívky referenční PICC musí být změřeno napětí  $V_{load}$ , viz Tabulka 5.1. Pokud sestava PCD nedetekuje alespoň 10 odezev, zvýší se amplituda modulačního signálu. Referenční PICC je poté umístěna do polohy DUT v sestavě PCD. Následně se nastaví sestava PCD tak, aby na konektoru hlavní cívky referenční PICC vytvářela intenzitu magnetického pole odpovídající napětí na kalibrační cívce. Dalším krokem je měření amplitudy zátěžové modulace  $V_{LMA}$ . Její hodnota se porovná s mezí normy a zaznamená se intenzita pole.  $V_{LMA}$  definuje kritérium citlivosti PCD, resp. její naměřená úroveň. Kritérium citlivosti slouží k porovnání normalizované meze.

Měření probíhá ve více polohách pracovního prostoru a je opakováno pro kmitočet 15 MHz referenční PICC (může být použito více kmitočtů, např. 12 MHz nebo 10 MHz). Pokud je zjištěna vyšší citlivost PCD než je uvedena normou, je poloha v pracovním prostoru považována za nežádoucí.

#### 5.1.1.4.3 *Protokol o zkoušce*

Protokol musí obsahovat závislost citlivosti PCD na zátěžové modulaci v polohách pracovního prostoru.

### 5.1.1.5 **Test odolnosti PCD proti EMD**

#### 5.1.1.5.1 *Účel zkoušky*

Test slouží ke zjištění závislosti PCD na libovolné amplitudě zátěžové modulace, která má menší hodnotu než  $V_{E,PCD}$ .

#### 5.1.1.5.2 Postup při zkoušení

Referenční PICC musí být naladěna na 13,56 MHz a následně umístěna do polohy v pracovním prostoru sestavy PCD. Na konektoru hlavní cívky musí být změřeno napětí 3 V nebo při podpoře Třídy 1 (viz Tabulka 5.1) napětí 6 V. Po tomto nastavení je vyslán standardní rámeček včetně jednoho samostatného bajtu (01011101)<sub>b</sub>. Je potřeba aby  $V_{EMD}$  (počáteční amplituda zátěžové modulace) bylo nízké pro detekci odpovědi PICC. Ihned po doručení rámečku je PICC vyslána odpověď pomocí  $V_{LMA}$  (amplituda zátěžové modulace) s vyšší úrovní, než je minimální hodnota pro intenzitu magnetického pole.  $V_{EMD}$  je postupně zvyšováno pomocí konektoru na referenční PICC, dokud není zkušební sestavou PCD detekována správná odpověď.

Dále se referenční PICC umístí v testovací sestavě PCD do předepsané polohy. PCD sestava je nastavena tak, aby byla vytvářena intenzita magnetického pole tvořící stejné napětí na konektoru hlavní cívky referenční PICC. Intenzita magnetického pole je odečtena prostřednictvím kalibrační cívky. Změří se závislost výkonu na čase a určí se aktuální hodnota  $V_{EMD}$ . Následně se hodnota  $V_{EMD}$  porovná s  $V_{E,PCD}$ .

#### 5.1.1.5.3 Protokol o zkoušce

V závěrečném protokolu je zaznamenáno, jestli byla sestava PCD citlivá k libovolné amplitudě zátěžové modulace nižší než  $V_{E,PCD}$ .

### 5.1.1.6 Test obnovy PCD po působení EMD

#### 5.1.1.6.1 Účel zkoušky

Smyslem testu je zjistit, zda testovací vzor (tj. platný standardní rámeček) nenarušil PCD, který byl vyslán zařízením PCD v čase  $t_{E,PCD}$  před odpovědí PICC.

#### 5.1.1.6.2 Postup při zkoušení

PICC se naladí na 13,56 MHz. Sestava PCD se naladí tak, aby bylo na kalibrační cívce vytvořeno magnetické pole  $H_{min}$  a PICC se umístí do polohy DUT. Dále se referenční PICC naladí tak, aby na konektoru hlavní cívky bylo napětí 6 V. Pracovní pole je monitorováno pomocí kalibrační cívky, případně je upraveno. Na jiném konektoru referenční PICC musí být zvoleno budící napětí tak, aby  $V_{LMA}$  (amplituda zátěžové modulace) byla vyšší než mez pro  $H_{min}$ . Následně je vyslána posloupnost příkazů (testovací vzory + odpovědi PICC). Použije se  $t_{E,PCD}$  odpovídající minimu FDT/TR0 (důkladnější popis v ISO/IEC 14443-3:2011/Amd. 1:2011, viz. [9]). Proběhne kontrola, zda PCD pracuje stejně, jako bez výskytu testovacích vzorů. Toto se ověří pomocí dalšího příkazu PCD, který následuje po odpovědi PICC.

Vysílání posloupností a kontrola pracujícího PCD proběhne desetkrát. Následně proběhne stejná série vysílání a kontroly pro maximální FDT/TR0.

### 5.1.1.6.3 Protokol o zkoušce

Do protokolu se uvádí narušení PCD testovacím vzorem vyslaným s předstihem oproti odpovědi PICC o  $t_{E,PCD}$ . Pokud k narušení PCD nedošlo, zaznamená se, že PCD bylo schopno obnovení.

## 5.1.1.7 Testování úrovně EMD z PICC a intervalu nízkého EMD

### 5.1.1.7.1 Účel zkoušky

Účelem tohoto testu je zjištění, jestli PICC negeneruje v intervalu  $t_{E,PICC}$  elektromagnetické rušení s amplitudou  $V_{EMD}$  vyšší než  $V_{E,PICC}$ . V tomto testu musí být zajištěna dostatečná citlivost na EMD a vysoký dynamický rozsah, proto před samotným testováním proběhne test základního šumu (viz 4.1.5.1). Dle aplikace PICC musí být naplánovány testy dalších příkazů vyšší vrstvy (příkazy viz. [9] a [10]).

### 5.1.1.7.2 Postup při zkoušení

Pro měření se použije sestava PCD. K testovací anténě je připojen signální generátor pro vybudění pole měřeného kalibrační cívkou. Po umístění PICC do polohy DUT v sestavě PCD se zkontroluje správné nastavení signálního generátoru, aby bylo dosaženo požadované intenzity pole. Vypnutím a zapnutím magnetického pole se musí PICC resetovat. Pokud to aplikace vyžaduje, je vyslána posloupnost příkazů, aby byla PICC nastavena do počátečního stavu.

Poté se vyšle příkaz, který má být otestován. Na snímacích cívkách se zaznamená signál alespoň 200  $\mu$ s před začátkem generování pomocné nosné PICC. Pro stanovení přesné polohy odpovědi PICC se po první detekované pomocné nosné zaznamená alespoň 50  $\mu$ s signálu. Následně je stanovena hodnota  $t_{E,PICC}$  signálu. Pokud je v signálu přítomna modulace PCD, je potřeba změřit interval mezi poslední hranou zákmitu a začátkem generování pomocné nosné PICC. Jestliže modulace není přítomna,  $t_{E,PICC}$  je rovno maximální hodnotě zaznamenané v ISO/IEC 14443-3:2011/Amd. 1:2011. Vypočte se výkon signálu na frekvencích  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$  jako funkce času. Následně lze stanovit začátek přenosu PICC ( $t_{START}$ ) odpovídající polovině amplitudy horního postranního pásma v průběhu náběžné hrany přenosu z PICC. Proběhne kontrola, zda amplituda signálu na intervalu  $[t_{START} - t_{E,PICC}; t_{START} - 10/f_c]$  splňuje požadavky dle ISO/IEC 14443-2:2010/ Amd. 1:2011.

Postup se opakuje, tj. stanovení  $t_{START}$ , pro dolní postranní pásmo. Pro další příkaz je tento postup zopakován, vyšle se příkaz a opět se zaznamenává na snímacích cívkách. Zbývá část postupu je totožná.

### 5.1.1.7.3 Protokol o zkoušce

Protokol musí obsahovat informaci, jestli úroveň EMD z PICC splňuje požadavky dle normy v průběhu  $t_{E,PICC}$ . Dále je třeba zahrnout naměřené úrovně maximálního elektromagnetického rušení pro horní a dolní postranní pásma  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$  v průběhu  $t_{E,PICC}$ . Pokud test nebyl úspěšný, musí být ve zprávě graficky znázorněn průběh úrovní EMD v závislosti na  $t_{E,PICC}$ .

## 5.1.2 PICC

### 5.1.2.1 Střídavé magnetické pole (ISO/IEC 14443-1)

#### 5.1.2.1.1 Účel zkoušky

Zjištění parametrů PICC během expozice střídavým magnetickým polem většinou na kmitočtu 13,56 MHz.

#### 5.1.2.1.2 Přístroje

Je využito sestavy PCD (viz 4.1.2).

#### 5.1.2.1.3 Postup při zkoušení

Zkoušená karta PICC se vloží do sestavy PCD tak, aby byla v poloze DUT. Na zkušební anténu PCD se připojí signální generátor. Pomocí kalibrační cívky se dle normy nastaví úroveň intenzity magnetického pole. Po 5 minutách musí být PICC z polohy DUT alespoň na 5 sekund vyjmuta. Následně je nastaven výkon dodávaný signálním generátorem na maximální úroveň intenzity magnetického pole. PICC se vrátí do polohy DUT a po dobu 5 minut se nechá působit 100 % ASK modulace se střídavým průběhem 5 sekund 0 (A/m)<sub>ef</sub> a 25 sekund pro maximální úroveň (viz ISO/IEC 14443-1:2008). Po tomto testu musí PICC fungovat správně.

#### 5.1.2.1.4 Protokol o zkoušce

Do závěrečné zprávy se zaznamená, zda PICC zůstala po testu funkční.

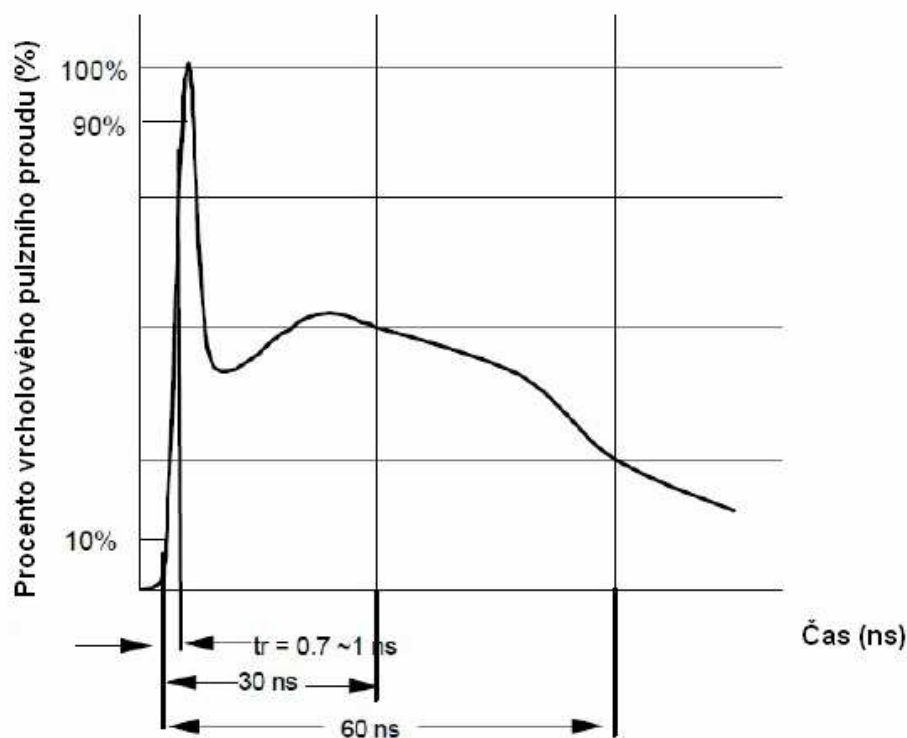
### 5.1.2.2 Zkouška statickou elektřinou (ISO/IEC 14443-1)

Tento test je totožný i pro testování odolnosti proti ESD karet s vazbou na dálku (dle ČSN ISO/IEC 10373-7).

#### 5.1.2.2.1 Účel zkoušky

Účelem zkoušky je ověřit chování PICC v případě expozice ESD výbojem. K tomuto výboji může dojít například umístěním PICC do textilních látek generujících statickou elektřinu, následným kontaktem s lidskou pokožkou je emitován výboj. Proto je tato zkouška nastavena tak, aby odpovídala simulaci modelu lidského těla. Na obrázku 5.1 je znázorněn průběh generátoru ESD, převzatý z [21].





Obrázek 5.1 – Typický průběh výboje ESD generátorem [21]

#### 5.1.2.2.2 Přístroje

Použije se generátor ESD s kondenzátorem  $150 \text{ pF} \pm 10 \%$  pro uložení energie, vybíjecí rezistancí  $330 \Omega \pm 10 \%$ , nabíjecí rezistancí v rozsahu  $50 \text{ M}\Omega$  až  $100 \text{ M}\Omega$  a dobou náběhu mezi  $0,7 \text{ ns}$  a  $1 \text{ ns}$ . Generátor ESD musí být zvolen tak, aby mohl být během testu umístěn na pracovním stole. Pistole ESD musí být zakončena zaobleným hrotem o průměru  $8 \text{ mm}$ . Expozice na PICC proběhne přímým působením vzduchem.

#### 5.1.2.2.3 Postup při zkoušení

Referenční PICC je rozdělena na 20 zón (5 dílů na delší straně karty x 4 díly na kratší straně karty) a položí se na izolační podložku o tloušťce  $0,5 \text{ mm}$ . PICC i s podložkou je umístěna na horizontální vazební vodivou desku připojenou k zemi vývodu aparatury přes 2 sériové rezistory se stejným odporem  $470 \text{ k}\Omega$ . Pokud PICC obsahuje kontakty, musí být tyto kontakty umístěny směrem nahoru a zóny, do kterých kontakty zasahují, nesmí být exponovány. Každá z 20 zón je postupně vystavena výboji ESD tak, že mezi jednotlivými impulzy musí proběhnout doba ochlazení 10 sekund.

#### 5.1.2.2.4 Protokol o zkoušce

Do závěrečné zprávy se zaznamená, zda PICC zůstala po testu funkční.

### 5.1.2.3 Přenos PICC (ISO/IEC 14443-2)

#### 5.1.2.3.1 Účel zkoušky

V rámci pracovního pole  $[H_{min}, H_{max}]$  dle ISO/IEC 14443-2 pro podporované přenosové rychlosti  $fc/128$ ,  $fc/8$ ,  $fc/4$  a  $fc/2$  karty PICC se stanoví amplituda zátěžové modulace ( $V_{LMA}$ ) kartou PICC.

#### 5.1.2.3.2 Postup při zkoušení

Pokud není řečeno jinak, je pro tuto zkoušku použita testovací PCD sestava 1, v opačném případě je využito sestavy PCD pro příslušnou třídu PICC. K testovací anténě PCD je připojen signální generátor s nastavenou intenzitou magnetického pole měřenou kalibrační cívkou. K výstupu z obvodu pro testování zátěžové modulace je napojen číslicový vzorkovací osciloskop. Pomocí potenciometru umístěného mezi snímacími cívkami v sestavě PCD se nastaví minimální zbytková nosná. V případě že je jedna snímací cívka zkratovaná, musí být signál minimálně o 40 dB vyšší než při běžném zapojení. Pro kontrolu správné činnosti se doporučuje provádět test zátěžové modulace s rostoucí intenzitou magnetického pole od 0 (A/m)<sub>ef</sub>.

Do polohy DUT v sestavě PCD se umístí PICC a musí být opět nastaveno buzení testovací antény PCD. Pomocí příkazů REQA (REQB) definovaných v ISO/IEC 14443-3 vyslaných prostřednictvím PCD jsou získány odezvy na zátěžovou modulaci z PICC během testování přenosu PICC (při  $fc/128$ ). Pro přenosové rychlosti  $fc/8$ ,  $fc/4$  a  $fc/2$  je pomocí PCD vyslána posloupnost S(PARAMETERS), definovaná v ISO/IEC 14443-4, do PICC. Test zátěžové modulace neprobíhá pro přenosové rychlosti  $fc/64$ ,  $fc/32$  a  $fc/16$  z důvodu, že komunikace probíhá na stejné frekvenci pomocné nosné  $fc/128$ .

Pomocí programu jsou data, uložená digitálním vzorkovacím osciloskopem, analyzována. K analýze je potřeba alespoň 6 cyklů průběhu zátěžové modulace pomocné nosné. S použitím existujícího programu se provede Fourierova transformace s Bartlettovým oknem pro 6 cyklů pomocné nosné vzorkovaného modulovaného signálu. Aby byl výsledný sinusový signál s vrcholovou hodnotou čistý, použije se diskrétní Fourierova transformace (DFT). DFT je provedena na kmitočtech postranních pásem generovaných PICC. Kmitočty postranních pásem  $fc + fs$  a  $fc - fs$  musí být větší, než udává norma ISO/IEC 14443-2:2010. Je potřeba se vyhnout nemodulovanému úseku nebo fázovému posunu pomocné nosné z důvodu minimalizace přechodových dějů. Tyto nežádoucí jevy neobsahuje PICC typu B, proto může být pro výpočet použit osciloskop typu FFT (Fast Fourier transform).

#### 5.1.2.3.3 Protokol o zkoušce

V protokolu se uvádí použitá pole a modulace a vrcholové amplitudy horního a dolního postranního pásma při kmitočtech  $fc + fs$  a  $fc - fs$ .

#### 5.1.2.4 Příjem PICC (ISO/IEC 14443-2)

##### 5.1.2.4.1 Účel zkoušky

Zkouška je prováděna z důvodu zjištění, zda PICC přijímá příkazy z PCD.

##### 5.1.2.4.2 PICC typ A

#### Podmínky pro přenosovou rychlost $fc/128$

Pro časování hranic průběhu modulace jsou vymezeny tři podmínky pro zónu parametrů časování definovanou v ISO/IEC 14443-2:2010:

- 1) Maximální  $(t_1 - t_2)$ ,  $t_3$ , překmit 0
- 2) Maximální dosažitelné hodnoty  $t_1 - t_2$  (s PCD sestavou), maximální  $t_3$  a překmit
- 3) Minimální dosažitelné hodnoty  $t_3$  (s PCD sestavou), maximální  $(t_1 - t_2)$  a překmit

Testovací podmínky musí být aplikovány alespoň použitím  $H_{min}$  a  $H_{max}$ , kde  $t_1$  má maximální specifikovanou hodnotu za podmínky 1 a 3 a minimální specifikovanou hodnotu za podmínky 2.

#### Podmínky pro přenosovou rychlost $fc/64, fc/32, fc/16$

Pro časování hranic průběhu modulace jsou vymezeny tři podmínky pro zónu parametrů časování definovanou v ISO/IEC 14443-2:2010:

- 1) Maximální  $(t_1 - t_5)$ ,  $t_6$ , překmit 0
- 2) Minimální dosažitelné hodnoty  $t_1 - t_5$  (s PCD sestavou), maximální  $t_6$  a překmit
- 3) Minimální dosažitelné hodnoty  $t_6$  (s PCD sestavou), maximální  $(t_1 - t_5)$  a překmit

Testovací podmínky musí být aplikovány alespoň použitím  $H_{min}$  a  $H_{max}$ , kde parametr  $a$  má maximální specifikovanou hodnotu za podmínky 1 a má minimální dosažitelnou hodnotu za podmínky 2 a 3 pro sestavu PCD a kde parametr  $t_1$  má maximální specifikovanou hodnotu za podmínky 1 a 3 a má minimální specifikovanou hodnotu za podmínky 2.

#### Postup při zkoušení

Při splněných podmínkách pro  $fc/128$  (viz výše Podmínky pro přenosovou rychlost  $fc/128$ ) musí proběhnout odpověď ATQA karty PICC na dotaz REQA.

Při splněných podmínkách pro přenosové rychlosti  $fc/64, fc/32, fc/16$  (viz výše Podmínky pro přenosovou rychlost  $fc/64, fc/32, fc/16$ ) musí fungovat PICC správně na dané přenosové rychlosti. Tato PICC musí reagovat správně na I-blok vysílaný příslušnou přenosovou rychlostí.

#### 5.1.2.4.3 PICC typ B

##### **Testovací podmínky**

Pro časování hranic průběhu modulace jsou vymezeny tři podmínky pro zónu parametrů časování definovanou v ISO/IEC 14443-2:2010:

- 1) Maximální  $t_f$  a  $t_r$ , žádný podkmit ani překmit
- 2) Minimální dosažitelné hodnoty  $t_f$  (s PCD sestavou), maximální  $t_r$ , podkmit a překmit
- 3) Minimální dosažitelné hodnoty  $t_r$  (s PCD sestavou), maximální  $t_f$ , podkmit a překmit

Testovací podmínky musí být aplikovány alespoň použitím  $H_{min}$  a  $H_{max}$ , kde minimálního a maximálního indexu ( $m$ ) pro dané intenzity magnetického pole podle ISO/IEC 14443-2:2010.

##### **Postup při zkoušení**

Při splněných podmínkách (viz výše Testovací podmínky) musí proběhnout odpověď ATQB karty PICC na dotaz REQB při přenosové rychlosti  $fc/128$ , pro přenosové rychlosti  $fc/64$ ,  $fc/32$ ,  $fc/16$  musí na dané přenosové rychlosti karta PICC fungovat správně. Tato PICC musí reagovat správně na I-blok vysílaný příslušnou přenosovou rychlostí.

#### 5.1.2.4.4 Protokol o zkoušce

V protokolu musí být uvedeno, za jakých testovacích podmínek zkoušení probíhalo. Dále je nutné potvrdit funkci PICC při přenosové rychlosti  $fc/128$  (v případě více než jedné volitelné přenosové rychlosti musí být potvrzena funkce PICC při těchto rychlostech).

#### 5.1.2.5 Rezonanční kmitočet PICC (informativní)

##### 5.1.2.5.1 Účel zkoušky

Zjištění změny rezonančního kmitočtu PICC při umístění dvou a více do stejného pole PCD. Měření může být ovlivněno závislostí rezonančního kmitočtu na intenzitě magnetického pole.

##### 5.1.2.5.2 Postup při zkoušení

Pro měření lze použít analyzátor impedance, analyzátor sítě nebo LCR měřič. K měřicímu přístroji se připojí kalibrační cívka a ve stejné ose se 10 mm nad kalibrační cívku umístí PICC. Na měřiči je sledována rezistivní část komplexní impedance, přičemž rezonanční kmitočet je kmitočet, ve kterém je tato impedance maximální.

##### 5.1.2.5.3 Protokol o zkoušce

V závěrečné zprávě je potřeba uvádět podmínky, za kterých probíhalo měření, a naměřený rezonanční kmitočet.

### 5.1.2.6 Maximální zatěžovací efekt PICC (ISO/IEC 14443-2)

#### 5.1.2.6.1 Účel zkoušky

Této zkoušky se využívá při měření zatěžovacího efektu PICC.

#### 5.1.2.6.2 Postup při zkoušení

Nejprve je zapotřebí definovat zkušební přístroje, které závisí na třídě PICC. Na základě toho se dle ISO/IEC 14443-2:2010/Amd.2 zvolí hodnota  $H_{min}$ . Dále je zvolena podle Tabulky 5.1 hodnota napětí  $V_{load}$  referenční PICC. V poslední řadě se zvolí testovací sestava PCD. Pokud test nevyžaduje žádnou třídu pro PICC, použijí se přístroje a aparatury určené pro třídu 1.

Referenční PICC se naladí na 13,56 MHz. Na konektoru hlavní cívky referenční PICC je pro  $H_{min}$  měřeno napětí  $V_{load}$ . Zatěžovací efekt PICC je měřen sestavou PCD a nesmí být překročen. Po kalibraci sestavy PCD musí být na kalibrační cívce vytvořené pole  $H_{min}$ . Následně se referenční PICC umístí do polohy DUT ve zkušební sestavě.

Během měření se hodnoty pole ověřují pomocí kalibrační cívky tak, že je na ní monitorováno napětí, popř. je napětí upraveno dle požadavků na test.

Dalším krokem je odstranění PICC a její opětovné navrácení do polohy DUT v sestavě PCD. Kalibrační cívkou je sledována a měřena intenzita magnetického pole, která musí být vyšší než  $H_{min}$ .

#### 5.1.2.6.3 Protokol o zkoušce

Protokol musí obsahovat hodnotu intenzity magnetického pole získanou během měření.

## 5.2 Karty s vazbou na dálku

### 5.2.1 VCD

#### 5.2.1.1 Intenzita pole VCD a přenos výkonu

##### 5.2.1.1.1 Účel zkoušky

Tímto testem je určena intenzita magnetického pole generovaného zkušební sestavou VCD v pracovním prostoru a současně je zjištěno, zda není anténou VCD vytvářena vyšší intenzita magnetického pole, než kterou připouští ISO/IEC 15693-1.

##### 5.2.1.1.2 Postup při zkoušení

Při zjišťování maximální hodnoty intenzity magnetického pole ( $H_{max}$ ) je nejprve nastavena referenční VICC na kmitočet 13,56 MHz. Pomocí přepínače se aktivuje rezistor R2 na referenční VICC určený k měření maximální intenzity magnetického pole. Sestava VCD se kalibruje pro vytváření pole  $H_{max}$  a nastaví se tak, aby na konektoru hlavní cívky referenční VICC bylo napětí 3 V (DC), nikdy ne vyšší. Napětí je měřeno vysokoimpedančním voltmetrem.

Následně se zjišťuje minimální hodnota intenzity magnetického pole ( $H_{min}$ ). Postup je totožný jako při zjišťování  $H_{max}$ , ale přepínačem se aktivuje rezistor R1 na referenční VICC přidělený k měření minimální intenzity magnetického pole. Napětí referenční VICC měřené vysokoimpedančním voltmetrem musí odpovídat  $V_{DC} = 3$  V.

##### 5.2.1.1.3 Protokol o zkoušce

Do protokolu se musí uvést, zda bylo na konektoru hlavní cívky referenční VICC naměřeno požadované napětí  $V_{DC}$ , pro maximální a minimální intenzitu magnetického pole ( $H_{max}$  a  $H_{min}$ )

#### 5.2.1.2 Modulační index a časový průběh

##### 5.2.1.2.1 Účel zkoušky

Účelem zkoušky je zjistit modulační index pole VCD a zároveň určit dobu náběhu a poklesu a překmity definované v normě ISO/IEC 15693-2:2006.

##### 5.2.1.2.2 Postup při zkoušení

V libovolném místě pracovního prostoru se umístí kalibrační cívka. Modulační index a časový průběh jsou zjištěny z průběhu napětí na kalibrační cívce zobrazovaného na osciloskopu.

##### 5.2.1.2.3 Protokol o zkoušce

V protokolu musí být uveden naměřený modulační index pole VCD a zároveň je nutné zaznamenat doby náběhu a poklesu a překmity sestavy VCD.

### 5.2.1.3 Příjem zátěžové modulace

Tento test je určen pro zjištění, zda zkušební sestava VCD správně detekuje zátěžovou modulaci vyslanou kartou VICC, která podléhá standardu.

## 5.2.2 VICC

### 5.2.2.1 Přenos VICC

#### 5.2.2.1.1 Účel zkoušky

V rámci pracovního pole  $[H_{min}, H_{max}]$  dle ISO/IEC 15693-2:2006 je testem určena amplituda zátěžové modulace kartou VICC.

#### 5.2.2.1.2 Postup při zkoušení

Pro test je využita zkušební sestava VCD, ve které je k testovací anténě VCD připojen signální generátor generující magnetické pole měřené na kalibrační cívce, bez umístění VICC. V případě, že je jedna snímací cívka zkratovaná, musí být signál minimálně o 40 dB vyšší než při běžném zapojení. Do polohy DUT ve zkušební sestavě VCD se umístí karta VICC určena k testování. Je nezbytné, aby vzorek VICC byl soustředný se snímací cívkou. Následně je anténou VCD vytvářeno magnetické pole.

K analýze je potřeba dvou cyklů průběhu zátěžové modulace pomocné nosné. Poté se provede pomocí existujícího programu Fourierova transformace. Aby byl výsledný sinusový signál s vrcholovou hodnotou čistý, použije se DFT. K minimalizaci přechodných jevů je potřeba se vyhnout nemodulovanému úseku nebo fázovému posunu pomocné nosné. V případě dvou pomocných nosných frekvencí je procedura opakována pro druhou pomocnou nosnou. S použitím příkazů definovaných normou ISO/IEC 15693-3 vyslaných pomocí sestavy VCD jsou získány odpovědi na zátěžovou modulaci z VICC.

#### 5.2.2.1.3 Protokol o zkoušce

V protokolu se uvádí použitá pole a modulace a naměřené vrcholové amplitudy horního postranního pásma při kmitočtech  $f_c + fs_1$  a  $f_c + fs_2$  a dolního postranního pásma při kmitočtech  $f_c - fs_1$  a  $f_c - fs_2$ .

### 5.2.2.2 Zkouška statickou elektřinou

Všechna kritéria pro testování odolnosti vůči elektrostatickému výboji jsou shodná s podmínkami určenými pro zkoušky statickou elektřinou karet s vazbou na blízko (viz 5.1.2.2).

## 6 Vyhodnocení zkoušek a měření

Pro jednoduché a rychlé provádění zmíněných testů je níže sestavena metodika vyhodnocování. Při odkazu na testovací scénáře stačí pouze zmínit výsledek. Při požadavcích zadavatele pak není potřeba vyplňovat v závěrečném protokolu účel, přístroje a pracovní postup, nýbrž pouze závěr co bylo požadováno zkouškou zjistit. V této práci je brán zřetel na správné nastavení a ověření funkčních vlastností testovacích aparatur, a proto je výhodné provést vždy zápis, zda jsou přístroje nastaveny dle požadavků norem. Při měření skutečných vzorků identifikačních karet a jejich vlastností se pak snadno v závěru ověří, zda zkouška proběhla při správném nastavení všech veličin a není potřeba dlouhého hledání problémů při zjištění nesprávných výsledků.

### 6.1 Střídavé magnetické pole PCD

Testováno podle článku 5.1.1.1.

Závěr: naměřené napětí (DC) na konektoru hlavní cívky referenční PICC.

### 6.2 Intenzita pole PCD

Testováno podle článku 5.1.1.2.

Závěr: zda bylo naměřeno požadované napětí pro  $H_{max}$  3 V a pro  $H_{min}$   $V_{load}$  na konektoru hlavní cívky referenční PICC.

### 6.3 Modulační index a časový průběh PCD

Testováno podle článku 5.1.1.3.

Závěr: naměřené hodnoty modulačního indexu pole PCD, doby náběhu a poklesu a překmitý ve stanoveném pracovním prostoru pro podmínky bez zátěže a se zátěží.

### 6.4 Příjem zátěžové modulace PCD

Testováno podle článku 5.1.1.4.

Závěr: závislost citlivosti PCD na zátěžové modulaci v polohách pracovního prostoru.

### 6.5 Test odolnosti PCD proti EMD

Testováno podle článku 5.1.1.5.

Závěr: zda byla sestava PCD citlivá k libovolné amplitudě zátěžové modulace nižší než  $V_{E,PCD}$ .

### 6.6 Test obnovy PCD po působení EMD

Testováno podle článku 5.1.1.6.

Závěr: uvádí se narušení PCD testovacím vzorem vyslaným s předstihem oproti odpovědi PICC o  $t_{E,PCD}$ . Pokud k narušení PCD nedošlo, zaznamená se, že PCD bylo schopno obnovit.



## **6.7 Testování úrovně EMD z PICC a intervalu nízkého EMD**

Testováno podle článku 5.1.1.7.

Závěr: zda úroveň EMD z PICC splňuje požadavky dle normy v průběhu  $t_{E,PICC}$ . Dále je třeba zahrnout naměřené úrovně maximálního elektromagnetického rušení pro horní a dolní postranní pásma  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$  v průběhu  $t_{E,PICC}$ . Pokud test nebyl úspěšný, musí být ve zprávě graficky znázorněn průběh úrovně EMD v závislosti na  $t_{E,PICC}$ .

## **6.8 Střídavé magnetické pole PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.1.

Závěr: funkčnost karty.

## **6.9 Zkouška statickou elektřinou PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.2.

Závěr: funkčnost karty.

## **6.10 Přenos PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.3.

Závěr: uvádí se použitá pole a modulace a vrcholové amplitudy horního a dolního postranního pásma při kmitočtech  $f_c + f_s$  a  $f_c - f_s$ .

## **6.11 Příjem PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.4.

Závěr: za jakých testovacích podmínek zkoušení probíhalo. Dále je nutné potvrdit funkci PICC při přenosové rychlosti  $f_c/128$  (v případě více než jedné volitelné přenosové rychlosti musí být potvrzena funkce PICC při těchto rychlostech).

## **6.12 Rezonanční kmitočet PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.5.

Závěr: podmínky, za kterých probíhalo měření, a naměřený rezonanční kmitočet.

## **6.13 Maximální zatěžovací efekt PICC**

Testováno podle článku 5.1.2.6.

Závěr: hodnota intenzity magnetického pole získaná během měření.

## **6.14 Intenzita pole VCD a přenos výkonu**

Testováno podle článku 5.2.1.1.

Závěr: zda bylo na konektoru hlavní cívky referenční VICC naměřeno požadované napětí  $V_{DC}$ , pro maximální a minimální intenzitu magnetického pole ( $H_{max}$  a  $H_{min}$ ).

### **6.15 Modulační index a časový průběh VCD**

Testováno podle článku 5.2.1.2.

Závěr: naměřené hodnoty modulačního indexu pole VCD, doby náběhu a poklesu a překmity ve stanoveném pracovním prostoru pro podmínky bez zátěže a se zátěží.

### **6.16 Příjem zátěžové modulace VCD**

Testováno podle článku 5.2.1.3.

Závěr: závislost citlivosti VCD na zátěžové modulaci v polohách pracovního prostoru.

### **6.17 Přenos VICC**

Testováno podle článku 5.2.2.1.

Závěr: uvádí se použitá pole a modulace a naměřené vrcholové amplitudy horního postranního pásma při kmitočtech  $f_c + f_{s1}$  a  $f_c + f_{s2}$  a dolního postranního pásma při kmitočtech  $f_c - f_{s1}$  a  $f_c - f_{s2}$ .

### **6.18 Zkouška statickou elektřinou VICC**

Testováno podle článku 5.2.2.2.

Závěr: funkčnost karty.

## 7 Realizované měření

Prioritně byly zvoleny testy pro karty s vazbou na blízko, dle normy ČSN ISO/IEC 10373-6 s parametry pro testování na fyzické vrstvě definované normou ČSN ISO/IEC 14443-1 a ČSN ISO/IEC 14443-2. Karty s vazbou na dálku byly testovány z důvodu podobné struktury měřících přípravků a postupů pro testování, s hlavním rozdílem ve vzdálenosti měřících desek, viz kapitola 4.2.2. Všechny zkoušky ověřují správné nastavení a zapojení měřících aparatur. Kontrolují se zejména elektrické a elektromagnetické charakteristiky.

Mezi první zkoušky bylo zvoleno ověření generování pole sestavou PCD. To bylo považováno za nejdůležitější zkoušku, jelikož správné generování magnetického pole sestavou je požadováno ve většině následujících testů. Toto měření bylo prováděno pro karty s vazbou na blízko i pro karty s vazbou na dálku. Velmi podobné bylo ověření správného přenosu výkonu mezi PICC a PCD a stanovení modulačního indexu.

### 7.1 Přípravné práce

#### 7.1.1 Ladění antény PCD (VCD)

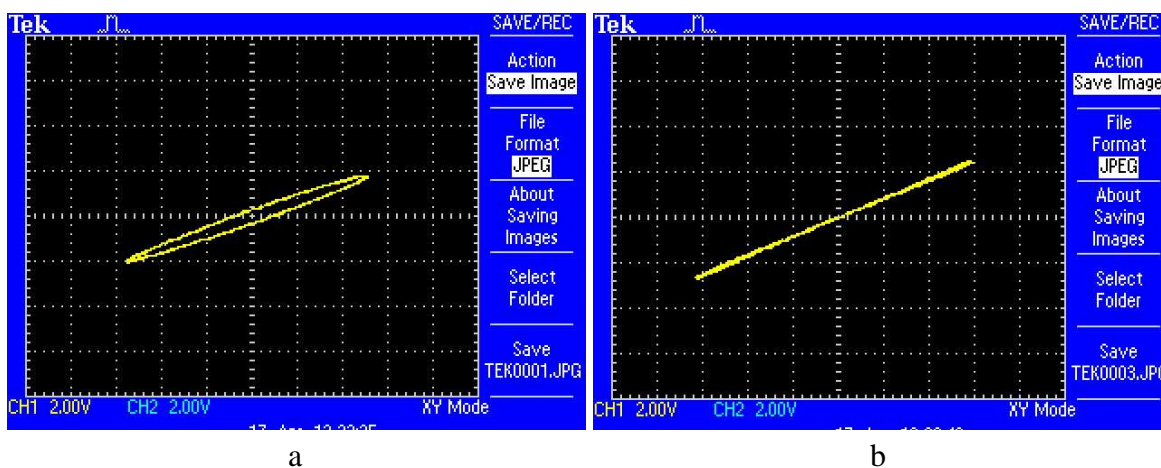
Anténa byla impedančně přizpůsobena tak, že fázový posun odpovídal nule. K tomu byl potřeba signální generátor, pomocná reference  $50 \Omega$ , zakončovací rezistor v provedení BNC o hodnotě  $50 \Omega$ , osciloskop, sondy a propojovací vodiče s konektory BNC-BNC a BNC-SMA. Po přizpůsobení je anténa schopna správně generovat magnetické pole ve zkušební sestavě PCD (VCD).

Na osciloskopu Tektronix TDS2002 bylo potřeba před samotným připojením k referenci zkalibrovat obě sondy pomocí kalibrovacího programu v osciloskopu. Nejprve byla sonda pro kanál jedna připojena ke konektoru PROBE COMP a na osciloskopu zvolen první kanál (CH1). V menu PROBE CHECK bylo nastaveno 10X, stejně jako na sondě, a potvrzeno tlačítkem AUTOSSET. Následně bylo potřeba otočným prvkem sondy na obrazovce vyladit obdélníkový pulz s mezivrcholovou amplitudou 5 V a frekvencí 1 kHz. V dalším kroku byla stejným způsobem zkalibrována druhá sonda, připojená ke kanálu dva a aktivována tlačítkem CH2. Po kalibraci byla na obou kanálech nastavena stejná amplituda napětí pomocí otočného prvku VOLTS/DIV. Pro zobrazení průběhu, měřeném oběma sondami zároveň, byl v menu DISPLAY zvolen režim XY. Tento režim byl použit k zobrazení Lissajousových obrazců, tj. zobrazení dvou navzájem kolmých kmitů a tvaru dle podílu frekvencí.

Dále byl signální generátor Agilent 33220A připojen k referenčnímu obvodu a zakončen zakončovacím rezistorem v provedení BNC. Před injekcí signálu do obvodů byl signální generátor nastaven na frekvenci 13,56 MHz se sinusovým průběhem a mezivrcholovou hodnotou amplitudy napětí 7 V.

Signál byl aktivován na výstupu signálního generátoru pomocí tlačítka OUTPUT. Zobrazená křivka na osciloskopu v režimu X-Y (Lissajousův obrazec) byla umístěna na střed pomocí trimmerů VERTICAL POSITION. Na referenčním obvodu byl otočným prvkem na kalibračním kondenzátoru minimalizován fázový posun. Tím byla vykompenzována parazitní kapacita a na osciloskopu byl obrazec znázorněn jako přímka.

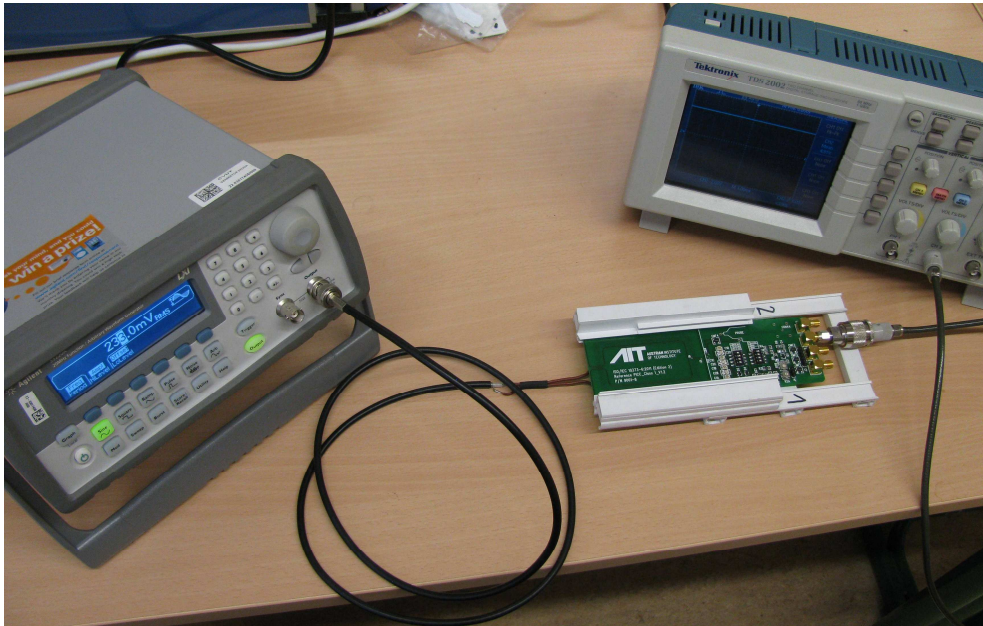
Zakončovací rezistor byl nahrazen připojením antény PCD (VCD). Obrazec na osciloskopu byl pozměněn, a proto byl pomocí nastavitelného kondenzátoru obvodem pro přizpůsobení impedance, umístěného na anténě, opět vytvarován do přímky. Po přizpůsobení antény byla reference  $50 \Omega$  vyměněna za zesilovač Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC – 1000 MHz). Schéma zapojení je znázorněno v příloze B.4 na Schématu B.6. Obrázky 7.1a a 7.1b demonstrují správnost naladění antény.



Obrázek 7.1a – Impedančně nepřizpůsobená anténa, 7.1b – Impedančně přizpůsobená anténa

### 7.1.2 Ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC

Na referenční PICC bylo možné pomocí přepínače zvolit požadovaný rezonanční kmitočet. Po naladění otočnými prvky C1 a C2 se dal zvolit kmitočet 13,56 MHz, 15 MHz, 16,5 MHz nebo 19 MHz. K ladění byl použit generátor signálu Agilent 33220A, kalibrační cívka připojená ke generátoru vodičem s konektorem BNC, přípravek pro ladění bez kovových částí, který zajišťuje vzdálenost kalibrační cívky a referenční PICC 1 cm. Dále bylo potřeba zajistit souosost kalibrační cívky a referenční PICC. PICC proto byla umístěna do přípravku tak, aby byla otočená snímací cívkou nahoru, hlavní cívkou směrem dolů. To se dalo zajistit i kontrolou osazených součástek směrem vzhůru. Ukázka pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC je na obrázku 7.2, schematicky je zapojení referenční PICC v příloze B na obrázku B.3.



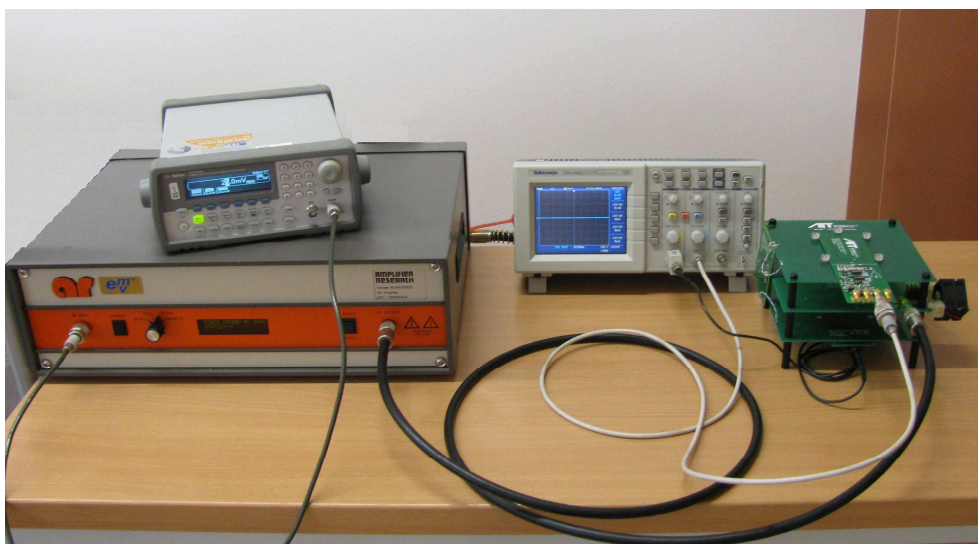
Obrázek 7.2 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC

Po připojení kalibrační cívky k signálnímu generátoru byl nastaven sinusový průběh s frekvencí 13,56 MHz a amplitudou napětí 500 mV (efektivních). Tato amplituda byla zvolena, nebyla normou doporučena. Na referenční PICC byl propojkou J1 aktivován kmitočet 13,56 MHz a přepínačem J2 „PWR TFR“ aktivován rezistor R1 se stálou hodnotou. Konektor CON3 hlavní cívky referenční PICC, určený k měření napětí, byl připojen k osciloskopu Tektronix TDS2002 na kanál jedna (aktivováno tlačítkem CH1) a nastaven pro měření stejnosměrného (DC) napětí. Po injekci signálu do kalibrační cívky bylo otočnými prvky C1 a C2 referenční PICC na osciloskopu nastaveno maximální možné stejnosměrné napětí. Následně bylo potřeba změnit napětí na signálním generátoru tak, aby napětí na CON3 odpovídalo 6 V, měřených osciloskopem. Opět bylo hledáno maximální DC napětí na osciloskopu pomocí prvků C1 a C2.

Po impedančním přizpůsobení antény (viz. 7.1.1) byla referenční PICC umístěna v sestavě PCD do polohy DUT. Sestava PCD byla nastavena tak, aby mohlo být generováno magnetické pole. Respektive kalibrační cívka byla připojena na druhý kanál osciloskopu, anténa byla připojena k výkonovému zesilovači Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC – 1000 MHz) koaxiálním kabelem, určeným k transportu výkonu, zakončeným konektorem SMA. Do výkonového zesilovače byl pomocí vodiče s BNC konektory připojen signál z generátoru Agilent 33220A. Sestava PCD musela generovat minimální intenzitu magnetického pole dle normy ( $H_{min} = 1,5$  A/m efektivních). Konverzní faktor byl použit pro přepočet intenzity magnetického pole na napětí (1 A/m efektivních odpovídá napětí 0,9 V mezivrcholových). Proto byl signální generátor nastaven na sinusový průběh s frekvencí 13,56 MHz a amplituda napětí byla postupně zvyšována, dokud napětí na kalibrační cívce neodpovídalo 1,35 V mezivrcholových.

Propojka J2 byla přepnuta na „Hmin“, aby bylo možné nastavit napětí měřené osciloskopem zpět na 6 V otočným prvkem R2. Toto bylo provedeno i po přesunutí propojky J2 do pozice „Hmax“.

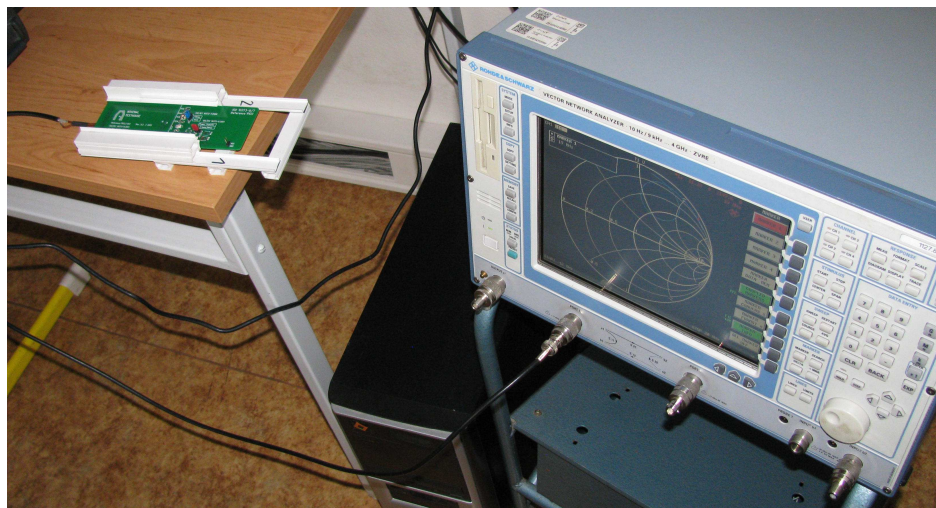
Celý tento postup byl proveden i k nastavení zbylých rezonančních kmitočtů přepínáním propojky J1. Tím bylo zajištěno efektivní provádění zkoušek referenční PICC, aby jednou nastavený rezonanční kmitočet zůstal nezměněn. Ladění v sestavě PCD je znázorněno na obrázku 7.3.



Obrázek 7.3 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu PICC v sestavě PCD

### 7.1.3 Ladění rezonančního kmitočtu referenční VICC

Referenční VICC byly naladěny oproti PICC pouze na rezonanční kmitočet 13,56 MHz. K dispozici byly dvě referenční karty, viz. příloha B.3, schéma B.4 a B.5. Propojka J1 byla umístěna tak, aby byl aktivní rezistor R1. Pro naladění rezonančního kmitočtu byl použit obvodový analyzátor Rohde&Schwarz, Vector Network Analyzer, 9 kHz .. 4 GHz, ZVRE, kalibrační cívka, připojená konektorem BNC a přípravek bez kovových částí, zajišťující konstantní vzdálenost a sousost kalibrační cívky a referenční VICC. Po připojení kalibrační cívky na kanál 1 byl tento kanál aktivován pomocí tlačítka CH1. Dále bylo nastaveno zobrazení DISPLAY – Single channel, MEAS – S11 Refl port 1, FORMAT – Complex (měření v komplexní rovině), DIAG – Smith (zobrazení impedance ve Smithově diagramu), START 12 MHz, STOP 25 MHz (rozsah kmitočtů), SOURCE – Power 0 dBm, STEP – Manual step size 1 MHz (posun ukazatele o zadanou hodnotu). Poslední bylo aktivování ukazatele stiskem tlačítka MARKER, aby bylo možné se po zobrazené křivce pohybovat. Ukazatel byl umístěn na požadovaný rezonanční kmitočet 13,56 MHz a v tomto bodě proběhlo nastavení otočného prvku C2 tak, aby imaginární část komplexní impedance byla maximální. Následně byla propojka J1 nastavena tak, aby byl aktivován nastavitelný prvek R2. Otočný prvek byl nastaven na stejnou hodnotu imaginární části komplexní impedance jako v případě R1.



Obrázek 7.4 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční VICC

## 7.2 Zkoušky dle ČSN ISO/IEC 10373-6 – Karty s vazbou na blízko

### 7.2.1 Střídavé magnetické pole (dle ČSN ISO/IEC 14443-1)

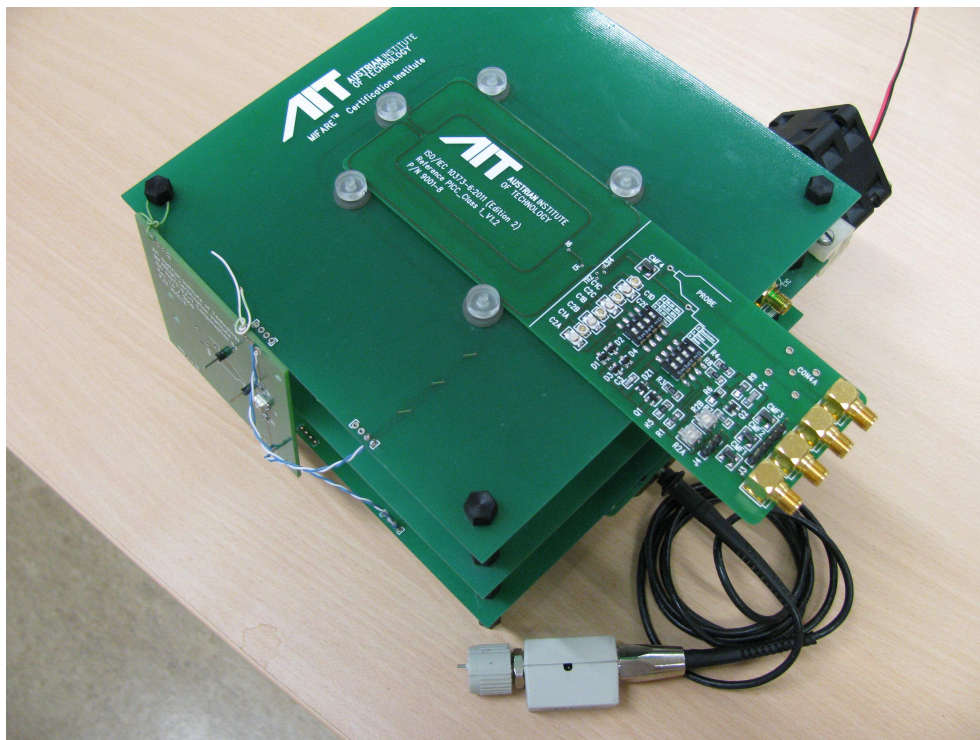
Měřením této zkoušky muselo být ověřeno, že střídavé magnetické pole v prostoru sestavy PCD je v požadovaném intervalu. Norma ČSN ISO/IEC 14443-1 je určena hlavně proto, aby sdělila průměrnou a maximální intenzitu magnetického pole, generovanou sestavou pro měření karet s vazbou na blízko.

Nejprve byla impedančně přizpůsobena anténa PCD (dle 7.1.1), následně byl nastaven požadovaný rezonanční kmitočet (dle 7.1.2). Na referenční PICC, umístěné v poloze DUT, byl pomocí prvku J1 zvolen rezonanční kmitočet 13,56 MHz a konektor hlavní cívky CON3 byl připojen k osciloskopu Tektronix TDS2002 na jeden z kanálů vodičem s konektorem SMA a BNC. Na druhý kanál byla připojena kalibrační cívka, která byla umístěna do sestavy PCD, aby ověřila správné nastavení signálního generátoru Agilent 33220A, připojeného vodičem s konektory BNC k výkonovému zesilovači Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC – 1000 MHz). Do antény byl signál vysílán po koaxiálním kabelu, zakončeného konektorem SMA. Tento signál měl sinusový průběh s frekvencí 13,56 MHz a amplitudou odpovídající postupně narůstající, dokud nebylo na osciloskopu zobrazeno požadované napětí.

Propojka J2 byla nastavena do polohy  $H_{max}$ . Generátor po stisku tlačítka OUTPUT začal vysílat signál na výstup a kalibrační cívka zobrazovala hodnotu napětí na CON3. Bylo požadováno generovat magnetické pole pomocí antény PCD s intenzitou 10 A/m. Po přepočtení za užití konverzního faktoru tato intenzita odpovídala 9 V mezivrcholových. Tohoto napětí bylo dosaženo při injekci signálu o amplitudě napětí 2,1 V mezivrcholových. Otočným prvkem R2 byl nastaven takový odpor, aby měl odpovídající napětí na CON3 3 V DC. Tento odpor by se dle normy měl pohybovat v rozsahu 55  $\Omega$  – 65  $\Omega$ . Vzhledem k vysokému výkonu dodávaného do antény PCD byl velmi vysoký ztrátový odpor, a proto bylo potřeba tento výkon z elektrických prvků obvodu antény odebírat proudem vzduchu.

Norma nehovoří o místě, kde má být měřena intenzita pole, proto byla referenční PICC postupně umisťována okolo sestavy PCD a dle požadavků bylo kontrolováno, zda napětí na CON3 nepřesáhne hodnotu 3 V. V okolí sestavy PCD takový případ nenastal, maximální napětí bylo naměřeno 1,3 V. V těsné blízkosti antény odpovídalo toto napětí 4,5 V, ale tato hodnota nebyla nijak důležitá pro požadavky normy, jelikož se jednalo o prostor mezi anténou a jednou ze snímacích cívek. Hodnota odporu R2 odpovídala 54  $\Omega$ . V případě, že by napětí na CON3 referenční PICC přesáhlo 3 V, musel by být použit konverzní faktor a intenzitu pole upravit tak, aby nedošlo k poškození příliš vysokým výkonem. Maximální intenzita magnetického pole sestavy PCD dle normy odpovídá 12 A/m, avšak tato intenzita smí být sestavou PCD generována nejdéle 30 sekund.





Obrázek 7.5 – Sestava PCD pro měření střídavého magnetického pole dle ČSN ISO/IEC 14443-1

## 7.2.2 Intenzita magnetického pole (dle ČSN ISO/IEC 14443-2)

Zkouškou je ověřeno, zda je sestava PCD schopna generovat intenzitu magnetického pole v rozsahu od  $H_{min}$  do  $H_{max}$ , definovaném v ČSN ISO/IEC 14443-2. Vzhledem k tomu, že intenzita magnetického pole byla nastavována ve většině dalších testů, bylo vhodné zařadit tento test mezi první, aby bylo nastavování generátoru pro vytvoření magnetického pole jednodušší. Měření intenzity probíhalo postupně pro  $H_{max}$  a pro  $H_{min}$ .

Při měření maximální intenzity magnetického pole  $H_{max}$  byla referenční PICC naladěna na 19 MHz (viz. 7.1.2) a zkušební anténa PCD impedančně přizpůsobena (viz. 7.1.1). Generátor Agilent 33220A generoval sinusový signál s frekvencí 19 MHz a amplitudou signálu 310 mV mezivrcholových. Vodičem s BNC konektory byl signál vyslán do výkonového zesilovače Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC 1000 MHz) a dále do antény PCD koaxiálním kabelem s konektorem SMA. Maximální intenzita magnetického pole je dle normy 7,5 A/m, což odpovídá po aplikaci konverzního faktoru napětí na kalibrační cívce 6,75 V mezivrcholových.

Referenční PICC byla umístěna do polohy DUT, připojena k osciloskopu Tektronix TDS2002 na kanál jedna a propojka J2 nastavena pro aktivaci obvodu „Hmax“. Prvek R2 byl nastaven tak, aby na konektoru CON3 referenční PICC bylo stejnosměrné napětí 3 V. Hodnota odporu R2 měla být dle normy v rozsahu 75  $\Omega$  až 85  $\Omega$ . Kalibrační cívka byla na druhém kanálu osciloskopu kontrolována intenzita pole, v případě změny hodnoty napětí indukovaného v kalibrační cívce by muselo dojít k úpravě amplitudy napětí

na signálním generátoru. Následně byla referenční PICC vyjmuta z polohy DUT a bylo ověřováno, zda intenzita magnetického pole nepřesáhne napětí 3 V na konektoru CON3. Tato hodnota překročena nebyla a hodnota odporu součástky R2 odpovídala 80,7  $\Omega$ .

Pro měření intenzity  $H_{min}$  byla referenční PICC ponechána na 19 MHz, byl aktivován prvek R2 v obvodu „Hmin“ a nastaven tak, aby po injekci signálu bylo na CON3 naměřeno napětí 6 V (v této práci rovněž užíván termín  $V_{load}$ , viz tabulka 5.1) a hodnota odporu v rozsahu 870  $\Omega$  až 1070  $\Omega$ . Jakmile sestava PCD generovala magnetické pole o intenzitě 1,5 A/m (odpovídá  $H_{min}$  a napětí na kalibrační cívce 1,35 V mezivrcholových). Tato intenzita musela být průběžně kontrolována kalibrační cívkou, připojenou k osciloskopu. Generátor injektoval signál s napětíovou amplitudou 25 mV efektivních.

Referenční PICC byla vyjmuta z polohy DUT a postupně bylo v okolí sestavy PCD ověřeno napětí indukované v hlavní cívce referenční PICC, které nesmělo přesáhnout 6 V DC. Tato hodnota nebyla v žádném místě překročena, ověřena byla pouze vyšší hodnota v okolí antény PCD, kde bylo rovněž napětí v pořádku, jelikož se jednalo o ověření pole mezi anténou PCD a jednou ze snímacích cívek. Odpor R2 měl hodnotu 860,1  $\Omega$ .

$H_{min}$	$H_{max}$
$U_{CON3} [V_{DC}]$	$U_{CON3} [V_{DC}]$
4,82	2,91
4,39	1,66
3,76	2,24
5,12	1,92
4,44	2,87

Tabulka 7.1 – Naměřené hodnoty DC napětí na konektoru hlavní cívky referenční PICC – CON3

### 7.2.3 Maximální zatěžovací efekt PICC

Zkouška maximálního zatěžovacího efektu karty PICC je prováděna za účelem zjištění, zda jednotlivě testované vzorky karet příliš nezatěžují zařízení PCD. Test probíhal nejprve tak, že byla nastavena referenční PICC dle požadavků. V tomto testu referenční PICC nehrála podstatnou roli, bylo pouze zapotřebí nastavit sestavu PCD, aby generovala magnetické pole o intenzitě  $H_{min}$ , která byla ověřována kalibrační cívkou.

V první části bylo opět potřeba impedančně přizpůsobit anténu PCD (viz. 7.1.1) a nastavit propojku J1 na kmitočet 13,56 MHz dle 7.1.2. Následně byla sestava PCD kalibrována tak, aby bylo generováno magnetické pole s intenzitou 1,5 A/m ( $H_{min}$ ), čemuž odpovídalo nastavení signálního generátoru Agilent 33220A na napětíovou amplitudu signálu 19 mV efektivních a frekvenci 13,56 MHz se sinusovým průběhem. Ke generátoru byl připojen výkonový zesilovač Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC 1000 MHz) vodičem s konektory BNC. Do antény PCD byl signál injektován vodičem

o větším průřezu určeným k přenosu výkonu, zakončeným konektorem SMA. Na osciloskop Tektronix TDS2002 byl na kanál jedna přiveden signál z kalibrační cívky, kterou bylo ověřováno správné nastavení intenzity pole, a na kanál dvě přiveden signál z referenční PICC, respektive stejnosměrné napětí indukované v hlavní cívce měřené na CON3. Po umístění referenční PICC do polohy DUT, byla propojka J2 nastavena do polohy „Hmin“ a otočným prvkem R2 nalezeno napětí, odpovídající 6 V ( $V_{load}$ ) na CON3. Hodnota R2 se normou doporučuje v rozsahu 870  $\Omega$  až 1070  $\Omega$ , avšak naměřená hodnota odpovídala 1124  $\Omega$ . Referenční PICC byla z polohy DUT vyjmuta, veškeré přívodní vodiče byly odstraněny a dostupnými vzorky karet se postupně zjišťovalo, zda intenzita magnetického pole není nižší než  $H_{min}$ , což znamenalo sledovat na osciloskopu napětí na kalibrační cívce, které mělo být větší než 1,36 V mezivrcholových. Naměřené hodnoty viz. tabulka 7.2. V některých případech došlo k tomu, že intenzita magnetického pole, respektive napětí na kalibrační cívce bylo změřeno menší, než se požadovalo normou, což mohlo pravděpodobně být způsobeno nestálou hodnotou intenzity magnetického pole, která měla přesně odpovídat napětí na kalibrační cívce 1,36 V mezivrcholových, avšak nejbližší nastavená hodnota se neustále pohybovala v rozmezí 1,36 V a 1,40 V mezivrcholových. Také ekvivalenty součástek na deskách plošných spojů mohly zapříčinit tuto odlišnost. Zjištěná odchylka byla 4 %.

Vzorky PICC	$U_{kal.c.}$ [V]	H [A/m]
1	1,3	1,44
2	1,3	1,44
3	1,3	1,44
4	1,3	1,44
5	1,3	1,44
6	1,3	1,44
karta pro Pražany	1,3	1,44

Tabulka 7.2 – Naměřené hodnoty intenzity magnetického pole

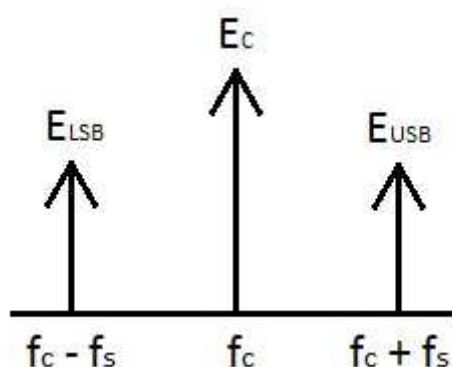
#### 7.2.4 Modulační index

V této zkoušce se jednalo o stanovení modulačního indexu (někdy rovněž užíván termín hloubka modulace) zkušební sestavy PCD pomocí referenční karty PICC. Dle normy není zcela jasné, zda má být modulační index stanoven pomocí kalibrační cívky, nebo snímací cívky připojené na CON4 referenční PICC. Norma ukládá nastavit rezonanční frekvenci referenční PICC na 16,5 MHz. Proto bylo potřeba aktivovat propojku J1 do polohy odpovídající rezonančnímu kmitočtu, který byl naladěn v přípravných pracích v článku 7.1.2. Dále měla být propojka J2 nastavena do polohy „Mod. index“. Sestava PCD byla připojena k signálnímu generátoru Agilent 33220A a výkonovému zesilovači Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC – 1000 MHz) vodiči s konektory BNC a SMA. Po impedančním přizpůsobení antény PCD (viz. 7.1.1) byl na generátoru nastaven sinusový průběh s frekvencí 13,56 MHz amplitudou napětí odpovídající  $H_{min}$ , 19,4 mV efektivních. Kalibrační cívkou připojenou k osciloskopu Tektronix TDS2002 na kanál

jedna byla ověřována intenzita magnetického pole  $H_{min}$ , odpovídající napětí 1,35 V mezivrcholových. Po vložení referenční PICC do polohy DUT by mělo být na CON2 přivedeno stejnosměrné napětí stejnosměrným zdrojem Manson HCS-3400 takové, aby na CON3 bylo naměřeno napětí 6 V osciloskopem (kanál 2).

Tohoto napětí nebylo možné dosáhnout, pravděpodobně z důvodu ekvivalentů osazených součástek. Jelikož deska s plošnými spoji referenční PICC byla vyvinuta v roce 2011, nebylo možné všechny originální součástky objednat se stejnými parametry. Napětí na CON2 bylo postupně zvyšováno, ale na CON3 bylo naměřeno maximální napětí 800 mV. Proto byla zvolena metoda měření modulačního indexu přes obvod „Hmin“, kde při intenzitě magnetického pole bylo otočným prvkem R2 nastaveno požadované napětí na CON3. Dále byl na CON1 přiveden signál zátěžové modulace z druhého generátoru Agilent 33220A s obdélníkovým průběhem a frekvencí 424 kHz.

Na osciloskop byl přiveden signál ze snímací cívky referenční PICC z CON4. Pro tento signál byla zvolena operace FFT a zobrazení nastaveno tak, aby na displeji byla zobrazována amplituda nosné vlny  $f_c$  (13,56 MHz), dále bude při výpočtu užíváno označení  $E_c$ , a signálu zátěžové modulace  $f_c - f_s$  a  $f_c + f_s$  (424 kHz), dále značeno jako  $E_{LSB}$  a  $E_{USB}$ . V tomto případě byla modulace symetrická, proto amplitudy  $E_{LSB} = E_{USB} = E_{SB}$ .



Obrázek 7.6 – Zobrazení amplitud signálu [22]

Pro stanovení modulačního indexu byl proveden následující výpočet:

Byly změřeny amplitudy  $E_c$  s  $E_{SB}$ :

$$E_c = 72 \text{ dB}$$

$$E_{SB} = 22 \text{ dB}$$

Došlo k převedení z decibelového měřítka:

$$E_c = 10^{\frac{72}{20}} = 3981,1 \text{ V}$$

$$E_{SB} = 10^{\frac{22}{20}} = 12,6 \text{ V}$$

Následně bylo dosazeno do vzorce pro stanovení modulačního indexu:

$$m = \frac{E_{LSB} + E_{USB}}{E_c} = \frac{2 \cdot E_{SB}}{E_c} = \frac{2 \cdot 12,6}{3981,1} = 0,0063$$

Modulační index je obvykle uváděn v procentech, proto:

$$M = m \cdot 100 \% = 0,0063 \cdot 100 \% = 0,63 \%$$

Použitý vzorec byl určen pro amplitudovou modulaci a převzat z [22].

### 7.2.5 Příjem zátěžové modulace

Zkouška umožňuje stanovit citlivost zkušební sestavy PCD na zátěžovou modulaci. V tomto testu bylo potřeba nastavit referenční PICC na rezonanční kmitočet 13,56 MHz a aktivovat propojkou J2 obvod „Mod. index“. Sestava PCD byla kalibrována tak, aby anténa PCD generovala magnetické pole s intenzitou  $H_{min}$ . K tomu byl použit generátor signálu Agilent 33220A, nastavený na amplitudu napětí 19,4 mV efektivních a frekvenci 13,56 MHz se sinusovým průběhem. Signál byl z výstupu generátoru přiveden vodičem s konektory BNC do výkonového zesilovače Amplifier Research 10WD1000 (10 WATTS, DC – 1000 MHz) a dále veden koaxiálním kabelem zakončeným konektorem SMA do antény PCD. Intenzita pole  $H_{min}$  byla ověřena zobrazením napětí na kalibrační cívce osciloskopem Tektronix TDS2002, které odpovídalo 1,36 V mezivrcholových.

Po umístění referenční PICC do polohy DUT v sestavě PCD mělo být přivedeno stejnosměrné napětí na CON2 takové, aby na napětí CON3 odpovídalo 6 V. Napětí bylo přivedeno na CON2 pomocí stejnosměrného zdroje Manson HCS-3400, konektor CON3 byl připojen na druhý kanál osciloskopu. Napětí na CON3 však nepřesáhlo 800 mV a ani norma nepředepisuje, jaké napětí má na výstupu stejnosměrného generátoru být. Byla tedy zvolena alternativní metoda.

Aktivací obvodu „Hmin“ propojkou J2 bylo při intenzitě  $H_{min}$  nastaveno napětí na 6 V otočným prvkem R2 na referenční PICC. Na konektor referenční PICC byl přiveden signál zátěžové modulace z druhého generátoru Agilent 33220A vodičem s konektory BNC s přechodem na SMA. Signál měl obdélníkový průběh s frekvencí 424 kHz.



Obrázek 7.7 – Pracoviště pro měření příjmu zátěžové modulace sestavou PCD

Byla ověřena reakce na několik hodnot intenzity magnetického pole. Během měření bylo sledováno napětí dodávané generátorem 1 do sestavy PCD ( $U_{\text{gen H}}$ ), napětí na kalibrační cívce ( $U_{\text{kal.c.}}$ ), které bylo později přepočteno na intenzitu magnetického pole za použití konverzního poměru (1 A/m efektivní odpovídá 0,9 V mezivrcholových). Dále byla sledována amplituda signálu nosné vlny  $f_c$  ( $E_c$ ), amplitudy signálu postranního pásma  $f_c-fs$  a  $f_c+fs$  ( $E_{\text{SB}}$ ), které byly měřeny osciloskopem na výstupu obvodu spojujícího snímací cívky sestavy PCD. Nejprve vždy bylo potřeba zvolit na generátoru 1 (generátor magnetického pole) vhodné napětí, dodávané do zkušební antény PCD. Následně muselo být zkontrolováno napětí na CON3 referenční PICC, které muselo odpovídat 6 V. V případě jiné hodnoty napětí na CON3 byla hodnota 6 V upravena otočným prvkem R2. Po této kontrole byl aktivován výstup generátoru 2 (generátor signálu zátěžové modulace). Byly zaznamenány výše uvedené hodnoty amplitud napětí. Po aktivaci výstupu generátoru 2 bylo doladěno napětí na 6 V konektoru CON3 pomocí generátoru 1. Tomu odpovídalo zvýšení intenzity magnetického pole. Znovu byly zaznamenány hodnoty amplitud napětí.

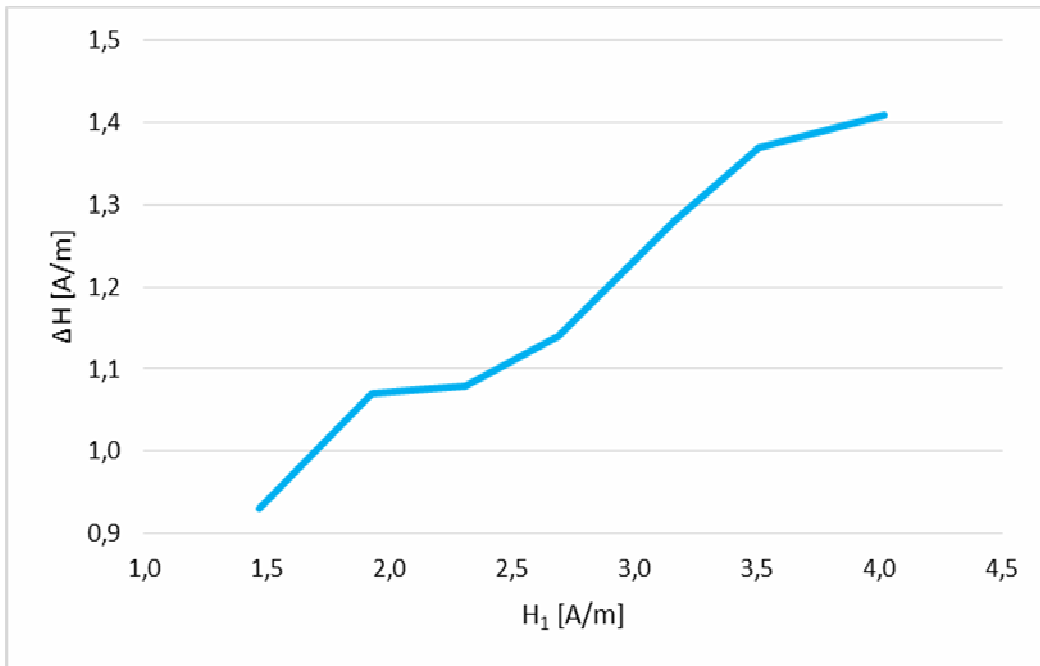
Amplitudy před nastavením R2 (CON3: R2 ≠ 6 V)				Amplitudy po nastavení R2 (CON3: R2 = 6 V)			
$U_{\text{gen.H1}}$ [mV <sub>ef.</sub> ]	$U_{\text{kal.c.1}}$ [V <sub>šp.</sub> ]	$E_{c1}$ [dB]	$E_{SB1}$ [dB]	$U_{\text{gen.H2}}$ [mV <sub>ef.</sub> ]	$U_{\text{kal.c.2}}$ [V <sub>šp.</sub> ]	$E_{c2}$ [dB]	$E_{SB2}$ [dB]
19,4	1,32	36	24	31	2,16	50	26
25	1,74	47	22	39	2,70	50	26
30	2,08	49	23	44	3,00	52	26
35	2,42	50	22	53	3,40	54	24
40	2,84	51	22	57	4,00	54	24
45	3,16	52	22	62	4,48	55	23
50	3,62	53	22	67	4,80	55	22

Tabulka 7.3 – Naměřené hodnoty amplitud napětí

Z naměřených výsledků vyplývá, že při rostoucí intenzitě magnetického pole lineárně rostla amplituda zátěžové modulace. To znamená, že při vyšších intenzitách magnetického pole je potřeba po injekci signálu zátěžové modulace strměji zvýšit intenzitu magnetického pole generátorem 1 k nastavení 6 V na CON3. Při přiložení vzorku karty PICC do polohy DUT byl obvod rozvážen o 30 dB.

$H_1$ [A/m]	$H_2$ [A/m]	$\Delta H$ [A/m] ( $H_2 - H_1$ )
1,47	2,40	0,93
1,93	3,00	1,07
2,31	3,39	1,08
2,69	3,78	1,09
3,16	4,44	1,28
3,51	4,98	1,47
4,02	5,33	1,31

Tabulka 7.4 – Přepočtení napětí na kalibrační cívce na intenzitu magnetického pole



Graf 7.1 – Závislost změny napětí na kalibrační cívce při vyšších intenzitách magnetického pole

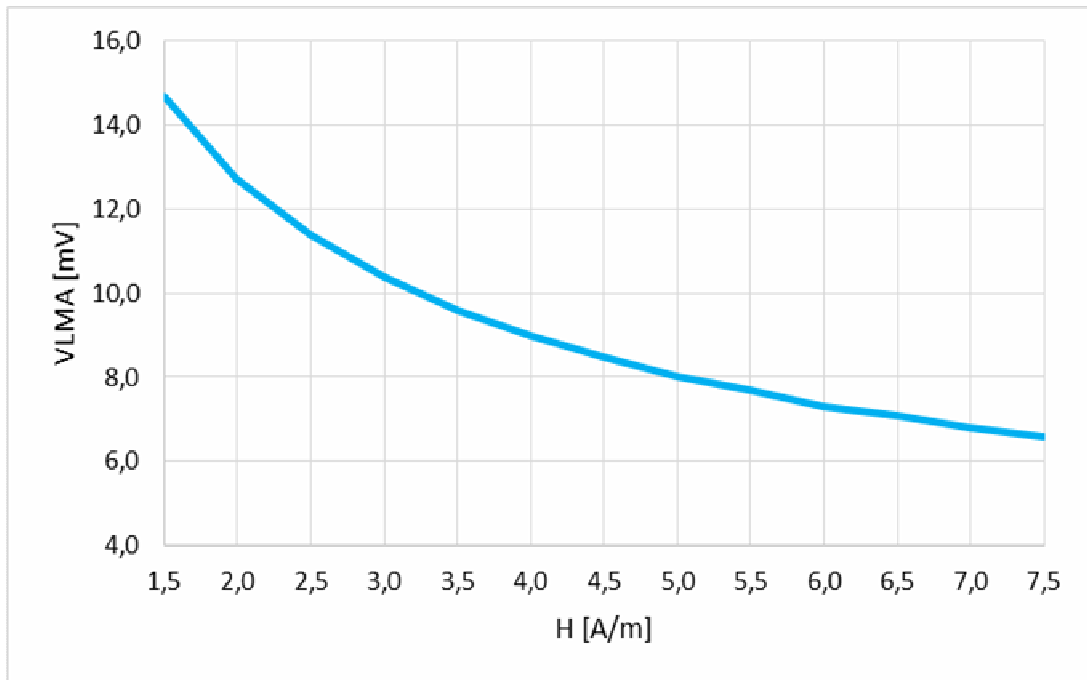
V normě [8] je definován vzorec pro výpočet amplitudy zátěžové modulace jako:

$$V_{LMA\_PCD} = \frac{18}{\sqrt{H}} [mV]$$

U <sub>kal.c.</sub> [V]	H [A/m]	V <sub>LMA</sub> [mV]
1,35	1,5	14,7
1,80	2,0	12,7
2,25	2,5	11,4
2,70	3,0	10,4
3,15	3,5	9,6
3,60	4,0	9,0
4,05	4,5	8,5
4,50	5,0	8,0
4,95	5,5	7,7
5,40	6,0	7,3
5,85	6,5	7,1
6,30	7,0	6,8
6,75	7,5	6,6

Tabulka 7.5 – Výpočet amplitudy zátěžové modulace dle normy [8]



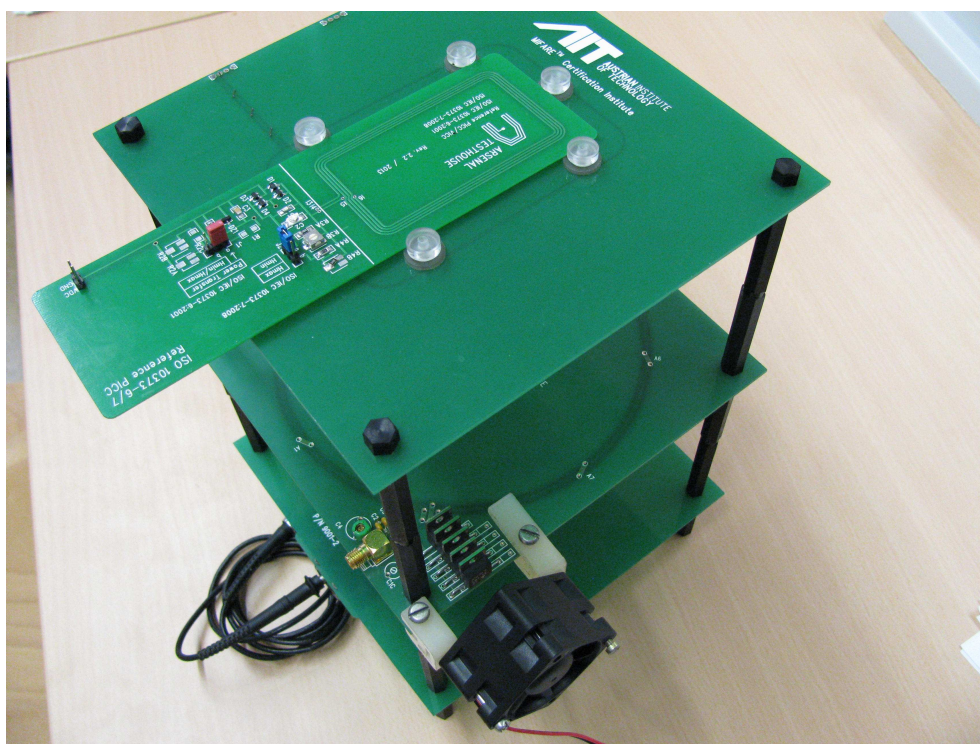


Graf 7.2 – Závislost amplitudy zátěžové modulační na intenzitě magnetického pole

## 7.3 Zkoušky dle ČSN ISO/IEC 10373-7 – Karty s vazbou na dálku

### 7.3.1 Intenzita pole VCD a přenos výkonu

Stejně jako v kapitole 7.2.2 i pro karty s vazbou na dálku bylo nutné ověřit, zda testovací sestava VCD je schopna generovat magnetické pole s intenzitou v rozsahu definovaném normou (od  $H_{min}$  do  $H_{max}$ ). Jelikož anténa VCD odpovídala zapojením anténě PCD, na které probíhala měření karet s vazbou na blízko, bylo pouze nutné zvolit distanční sloupky tak, aby mezi aktivními vodiči vznikla vzdálenost 10 cm. Rovněž byla použita i kalibrační cívka a obě snímací cívky.



Obrázek 7.8 - Sestava PCD pro měření střídavého magnetického pole

Norma rovněž ukládá zjistit intenzitu magnetického pole v pracovním prostoru antény VCD, ale tento prostor není nijak definován, ani zde není odkázáno do jiného standardu. Stejně jako ČSN ISO/IEC 14443-1, tak i ČSN ISO/IEC 15693-1 obsahuje stěžejní článek, respektive jednu tabulku, ve které udává maximální a průměrnou intenzitu magnetického pole. Dále není uvedena minimální intenzita magnetického pole, proto pozdější měření probíhalo pro hodnoty  $H_{min}$  a  $H_{max}$  určené normou ISO/IEC 15693-2, při kterých referenční VICC musí umět bez problému pracovat.

Referenční VICC se dle článku 7.1.3 naladí na rezonanční kmitočet 13,56 MHz. Následně je odpojen rezistor R1 a zapojen rezistor R2. Toto bylo provedeno pomocí propojky J1. Sestava VCD byla nastavena tak, aby byla generována maximální povolená intenzita magnetického pole anténou VCD ( $H_{max}$ ). Tato intenzita odpovídala 5 A/m, což za užití stejného konverzního faktoru (1 A/m efektivní odpovídá

0,9 V mezivrcholových) odpovídá napětí 4,5 V mezivrcholových, měřených na kalibrační cívce připojené k osciloskopu. Zapojení, vodiče a přístroje jako generátor, výkonový zesilovač a osciloskop byly totožné jako při měření intenzity magnetického pole u karet s vazbou na blízko v článku 7.2.2. Generátor byl nastaven na sinusový signál s amplitudou 64 mV efektivních a frekvencí 13,56 MHz. Aby při generování magnetického pole nedošlo k poškození měřicí sestavy, vzhledem k velkému ztrátovému výkonu bylo potřeba od prvků na desce plošných spojů antény VCD výkon odvádět. Na druhý kanál osciloskopu byla připojena vysokoimpedanční sonda, která byla připojena na referenční VICC, aby bylo možné měřit stejnosměrné napětí indukované v hlavní cívce. Otočným prvkem R2 bylo na osciloskopu nastaveno DC napětí 3 V. Tento prvek byl dosazen na desku plošných spojů, avšak na schématu v normě je požadován rezistor s pevnou hodnotou. V testech je však požadavek tento odpor ladit. Následně byla referenční VICC vyjmuta z polohy DUT a postupně byla umisťována do různých poloh v prostoru sestavy VCD. Napětí 3 V nesmělo být překročeno. Zvýšená hodnota byla zjištěna pouze v prostoru antény, avšak celkově v prostoru celé zkušební sestavy byla hodnota nižší než 2 V. Hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 7.6.



Obrázek 7.9 – Pracoviště pro měření intenzity magnetického pole sestavy VCD

Pro test minimální intenzity magnetického pole ( $H_{min}$ ) byl rezonanční kmitočet referenční VICC ponechán na 13,56 MHz, pouze propojka J1 byla umístěna tak, aby byl aktivní rezistor R1. Zkušební sestava byla kalibrována stejným způsobem pro  $H_{min}$ , jako pro  $H_{max}$ , pouze s rozdílem, že  $H_{min}$  odpovídalo intenzitě 150 mA/m, což bylo po přepočtu napětí měřené kalibrační cívkou 135 mV mezivrcholových. Dále měl být dle normy nastaven otočný prvek R1 na referenční VICC tak, aby na druhém kanálu osciloskopu bylo měřeno stejnosměrné napětí 3 V. Bohužel schéma jasně požadovalo prvek s pevnou hodnotou a to především z toho důvodu, že by nebylo možné nastavit prvkem C2 rezonanční frekvenci. Dále tedy měření probíhalo tak, že byla zaznamenána hodnota

stejnoseměrného napětí indukovaného v cívce referenční VICC 2,41 V a po vyjmutí z polohy DUT byla umístována do různých poloh okolo sestavy VCD. Bylo hlídáno, aby tato hodnota nebyla v žádném místě překročena. Vyšší byla opět ověřena v prostoru mezi anténou a jednou ze snímacích cívek.

$H_{\min}$	$H_{\max}$
$U_{R3} [V_{DC}]$	$U_{R3} [V_{DC}]$
1,42	1,80
0,80	1,66
1,48	1,77
1,32	1,44
0,90	1,72

Tabulka 7.6 – Naměřené hodnoty DC napětí na konektoru hlavní cívky referenční VICC

### 7.3.2 Modulační index

V normě je o modulačním indexu zmíněno pouze, že by měl být měřen kalibrační cívkou. Nicméně test probíhal stejným postupem jako při měření modulačního indexu u karet s vazbou na blízko, se stejným postupem, přístroji a hodnotami. Bylo pouze použito referenční VICC s obvodem pro práci s modulacemi. Nastavena byla rovněž stejná amplituda nosné a subnosné vlny jako u karet s vazbou na blízko, proto i výsledný modulační index má stejnou hodnotu jako v článku 7.2.4.

## 8 Závěr

Sestavená metodika slouží k ověření správného nastavení zkušebních aparatur a pracujících přístrojů pomocí výsledků testů a dalších zkušebních přístrojů (například osciloskop a další analyzátory). V případě chybně zvolených referenčních přípravků nelze očekávat správné výsledky, které mají být uváděny v závěrečných zprávách u jednotlivých zkoušek. Vzhledem k absenci testů zaměřených na ověření fyzikálních charakteristik karet nebylo potřeba definovat pro jednotlivé zkoušky podmínky zabývající se požadavky na zkušební prostředí a aklimatizaci vzorků před testy.

Na základě normativních dokumentů jsou v textu striktně rozděleny testy pro ověření charakteristik karet s vazbou na blízko a karet s vazbou na dálku. Stejně tak jsou rozděleny i aparatury a měřicí přístroje, aby nedošlo k jejich náhodné záměně.

V určitých případech byly nalezeny nesrovnalosti v normách. Jednalo se hlavně o normu ČSN ISO/IEC 10373-6: Karty s vazbou na blízko. Důvodem může být nejasná formulace v originální anglicky psané normě a následným překladem do českého jazyka. V některých případech bylo odkazováno na neexistující odstavce v kapitolách (viz. měření intenzity magnetického pole nebo měření modulačního indexu, kde bylo v postupu měření odkazováno na body, které se v textu nenacházely) nebo se jednalo o různé způsoby překladu, tudíž nedodržení terminologie. Například kapitola definující snímací cívky udává, že cívky v aparatuře mají být dvě, ale z textu není jasné, zda tyto cívky mají být totožné, nebo má být v aparatuře použita cívka 1 a cívka 2, lišící se rozměry. Dalšími nepřesnostmi jsou vnější rozměry kalibrační cívky 2. V textu je definován rozměr 47 mm x 24 mm, ale na obrázku je rozměr 46 mm x 24 mm. V kapitole týkající se funkčních zkoušek testováním parametrů, je požadován zápis s odkazem na odstavec postupu, který neexistuje. Rovněž neexistuje příslušný odstavec v základní normě ČSN ISO/IEC 10373-6, na který je z aktualizace Amd. 4 odkazováno, v němž má být změněn text. Kapitola řešící postup testování příjmu zátěžové modulace hovoří o změně polohy v pracovním prostoru, ale není známo, o jaké zařízení se jedná. Domněnka je, že se jedná o kartu PICC. Pravděpodobně překlepem byla v překladu normy ČSN ISO/IEC 10373-6 Amd. 2 ve vysvětlivkách vysvětlena zkratka  $V_{EMD}$  jako amplituda EMC. Význam zkratky EMC je elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility), nicméně zde se hovoří o EMD jako o elektromagnetickém rušení, vyvolaném kartou PICC. Anglicky psaná norma nebyla konfrontována.

Metodika pro testování byla rovněž zpracována ke zjištění podobnosti a stavu normativních dokumentů definujících karty s vazbou na blízko a karty s vazbou na dálku. V normách týkajících se karet s vazbou na dálku některé testy, i přes aktualizaci normy, nebyly dostatečně srozumitelné. Problém byl hlavně v testovacích postupech, kde bylo odkazováno do schémat přiložených k normám. Například při testování intenzity magnetického pole sestavy VCD bylo požadováno změřit minimální intenzitu magnetického pole tak, že mělo být napětí na výstupu referenční VICC nastavováno

otočným prvkem, který se v obvodu na schématu ani desce plošných spojů nenacházel. Kdyby nebyla chyba v postupu měření, ale ve schématu, neplatil by návod pro naladění rezonančního kmitočtu referenční VICC. Další funkční zkoušky testovacích aparatur obsahovaly pouze úvod v podobě jednoho odstavce, což se dalo považovat pouze za účel zkoušky. Zcela chyběl postup a požadavky na závěrečnou zprávu (viz. příjem zátěžové modulace). Chyběl zde i odkaz na normu ISO/IEC 15693-2, kde jsou parametry rozebírány, rovněž bez hlubšího zaměření. Zkouška pro zjištění modulačního indexu a časového průběhu také neměla kvalitně propracovaný postup.

V této práci byl dále kladen důraz na normy řady ČSN ISO/IEC 14443-1 a ČSN ISO/IEC 14443-2, kde jsou definovány parametry pro testování karet na fyzické vrstvě, zejména se jedná o testy v magnetickém poli. Spojení norem ČSN ISO/IEC 10373, kde se nacházejí postupy pro testování, s normami ČSN ISO/IEC 14443 (karty s vazbou na blízko) a ČSN ISO/IEC 15693 (karty s vazbou na dálku), kde jsou definovány hodnoty a průběhy, na které se normy ČSN ISO/IEC 10373 pouze odkazují, zajistí čtenáři mnohem lepší přehled, bez nutnosti neustále se přesouvat mezi články. Nebylo neobvyklé se mezi normami v rámci jednoho testu přesouvat i vícekrát. Což bylo například při zpracování testů karet s vazbou na blízko, kde byl v normě ČSN ISO/IEC 10373-6 odkaz na normu ČSN ISO/IEC 14443-2 a z této normy zase zpět. Následně je velmi jednoduché udělat chybu v postupu a tím nedosáhnout očekávaných výsledků. Prodlužuje se i doba trvání jednoho testu a navíc může být některý z přípravků poškozen.

Při dalším postupu byla tato sestavená metodika, resp. její část, ověřena experimentálně, aby mohlo dojít k případným úpravám do jednodušší či podrobnější formy s cílem provádět testy s maximální efektivitou a časovou úsporou. Jednalo se o měření na sestavě PCD, zda intenzita magnetického pole nebyla vyšší než předepsaná průměrná. Zkouškou byl ověřen prostor sestavy PCD, kde požadovaná intenzita kritérium splnila. Tento test údajně probíhal dle parametrů uvedených v normě ČSN ISO/IEC 14443-1. Tato norma však vznikla za účelem objasnění maximální možné a průměrné intenzity magnetického pole generovaného sestavou PCD. To znamená, že stěžejní částí normy je tabulka 2x2 buňky, ve které jsou tyto dvě hodnoty interpretovány.

Pro zjištění, zda sestava PCD správně generuje maximální a minimální intenzitu magnetického pole, bylo využito podobného postupu, nicméně test byl nezbytný pro zjištění, jak nastavovat signální generátor pro požadované intenzity užívané v dalších testech. Například při měření maximálního zatěžovacího efektu kartou PICC, kde bylo potřeba co nejpřesněji nastavit minimální intenzitu magnetického pole a hlídat, zda pro testované vzorky nebyla nižší. V tomto případě vznikla chyba, vzorky zatěžovaly sestavu PCD více než norma dovoluje. Příčin mohlo být několik, nastavení intenzity magnetického pole na hodnotu pouze blízkou  $H_{min}$ , odlišnému skutečnému zapojení obvodů na referenční PICC, kde tato deska plošných spojů již prošla několika revizemi a neodpovídá schématu v určitých částech nebo jinými parazitními jevy.

Zkoušky, při kterých byla vysílána zátěžová modulace referenční PICC, musely proběhnout alternativním postupem, než je uvedeno v normě. Jelikož nebylo možné nastavit na referenční PICC napětí CON2, byl zvolen postup s přepínačem J2 nastaveným na „Hmin“ s následným udržováním konstantní intenzity magnetického pole s využitím otočného prvku R2, jak je uvedeno v kapitole 7.2.5. Příjem zátěžové modulace byl srovnán s normou, byla ověřena závislost amplitudy zátěžové modulace na intenzitě magnetického pole. V tomto případě bylo zjištěno, že při vyšší intenzitě magnetického pole musí být po zapnutí signálu zátěžové modulace do referenční PICC hodnota na CON3 doladěna se stále strmější hodnotou napětí na signálním generátoru pro intenzitu  $H_{min}$ .

Při studiu normativních dokumentů byly kromě zmíněných norem ČSN ISO/IEC 10373, ČSN ISO/IEC 14443 a ČSN ISO/IEC 15693 zjištěny další normy, zabývající se nasazením technologie RFID v konkrétních aplikacích. Seznam těchto norem s klíčovými slovy „Identifikační karty“ a „RFID“ je zařazen do přílohy této práce, stejně jako schémata použitých desek s plošnými spoji a tabulkami s elektrickými prvky, patřících do desek. Toto hledání proběhlo na internetových stránkách [15].

Pro další práci zaměřenou na problematiku testování identifikačních karet se doporučuje aktualizovat veškeré normy, které jsou pro tuto práci stěžejní, viz. kapitola 2, zbavit se tak veškerých aktualizací, které jsou nyní k dispozici, aby bylo jasné, které testy platí, které jsou zrušeny nebo jsou pouze informativní. Pro testy parametrů se doporučuje testy provést a co možná nejdětalněji popsat, aby nemohly vzniknout nejasnosti. S aktualizací postupů pro zkoušení by měla být aktualizována i schémata zapojení jednotlivých měřících přípravků, desek plošných spojů a jejich osazení. V dnešní době jsou normy staré více než čtyři roky, a proto dnešní trh nemusí potřebnými součástkami pro konkrétní přípravky disponovat. Navíc stejně jako u norem proběhly aktualizace zapojení na deskách plošných spojů, například funkce propojek na referenční PICC (VICC), a proto jsou zastaralá i schémata.

## 9 Zkratky

ASK	Amplitude Shift Keying	Amplitudové klíčování
ATQA	Answer to Request A	Odpověď na výzvu pro standard A
ATQB	Answer to Request B	Odpověď na výzvu pro standard B
BNC	Bayonet Neill Concelman connector	BNC konektor
ČSN		Česká stání norma
DC	Direct Current	Stejnoseměrná soustava, stejnosměrné napětí
DFT	Discrete Fourier Transform	Diskrétní Fourierova transformace
DMC	Data Matrix Code	Maticový typ 2D čárového kódu
DUT	Device Under Test	Testovaný předmět (zařízení)
EMD	Electromagnetic Disturbance	Elektromagnetické rušení
ESD	Electrostatic Discharge	Elektrostatický výboj
$f_c$	Frequency of the operating field	Frekvence pracovního pole
$f_s$	Frequency of the subcarrier	Frekvence pomocné nosné
FDT	Frame DelayTime	Doba zpoždění rámce
FFT	Fast Fourier Transform	Rychlá Fourierova transformace
$H_{max}$	Maximum fieldstrength of the PCD antenna field)	Maximální intenzita pole antény PCD
$H_{min}$	Minimum fieldstrength of the PCD antenna field	Minimální intenzita pole antény PCD
IEC	International Electrotechnical Commission	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
$m$	Modulation index	Modulační index
PCD	Proximity Coupling Device	Vazební zařízení pro vazbu na blízko
PICC	Proximity Card	Karta pro vazbu na blízko
QR kód	Quick Response Code	Kód rychlé reakce
REQA	Request A	Výzva pro standard typu A
REQB	Request B	Výzva pro standard typu B
RFID	Radio Frequency Identification	Radiofrekvenční identifikace
SMA	SubMiniature version A connector	RF konektor



$t_{E,PCD}$	Low EMD time, PCD	Interval nízkého EMD pro PCD
$t_{E,PICC}$	Low EMD time, PICC	Interval nízkého EMD pro PICC
$t_f$	Fall time	Doba sestupné hrany
$t_r$	Rise time	Doba náběžné hrany
$t_{START}$	Start time	Počáteční čas
TR0	Guard time	Ochranný interval TR0
$V_{DC}$		Stejnoseměrné napětí
$V_{E,PCD}$	EMD limit, PCD	Mezní úroveň EMD pro PCD
$V_{E,PICC}$	EMD limit, PICC	Mezní úroveň EMD pro PICC
$V_{EMD}$	EMD Amplitude	Amplituda EMD
$V_{LMA}$	Load Modulation Amplitude	Amplituda napětí zátěžové modulace
$V_{load}$		Stejnoseměrné napětí na konektoru hlavní cívky referenční PICC
VCD	Vinicity Coupling Device	Vazební zařízení pro vazbu na dálku
VICC	Vinicity Card	Karta s vazbou na dálku

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 4.1 – Zkušební sestava PCD .....	14
Obrázek 4.2 – Obvod referenční PICC .....	15
Obrázek 4.3 – Zkušební sestava VCD .....	17
Obrázek 4.4 – Referenční VICC pro test výkonu a příjmu zátěžové modulace.....	18
Obrázek 5.1 – Typický průběh výboje ESD generátorem.....	25
Obrázek 7.1a – Impedančně nepřizpůsobená anténa.....	36
Obrázek 7.1b – Impedančně přizpůsobená anténa .....	36
Obrázek 7.2 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC .....	37
Obrázek 7.3 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční PICC v sestavě PCD.....	38
Obrázek 7.4 – Pracoviště pro ladění rezonančního kmitočtu referenční VICC .....	39
Obrázek 7.5 – Sestava PCD pro měření střídavého magnetického pole .....	41
Obrázek 7.6 – Zobrazení amplitud signálu.....	44
Obrázek 7.7 – Pracoviště pro měření příjmu zátěžové modulace sestavou PCD.....	46
Obrázek 7.8 – Sestava PCD pro měření střídavého magnetického pole .....	50
Obrázek 7.9 – Pracoviště pro měření intenzity magnetického pole sestavy VCD .....	51

## 11 Seznam tabulek a grafů

Tabulka 5.1 – Výběr referenční PICC pro jednotlivé sestavy PCD .....	19
Tabulka 7.1 – Naměřené hodnoty DC napětí na konektoru hlavní cívky referenční PICC	42
Tabulka 7.2 – Naměřené hodnoty intenzity magnetického pole .....	43
Tabulka 7.3 – Naměřené hodnoty amplitud napětí .....	47
Tabulka 7.4 – Přepočtené napětí na kalibrační cívce na intenzitu magnetického pole .....	47
Tabulka 7.5 – Výpočet amplitudy zátěžové modulace .....	48
Tabulka 7.6 – Naměřené hodnoty DC napětí na konektoru hlavní cívky referenční VICC	52
Graf 7.1 – Závislost změny napětí na intenzitě magnetického pole .....	48
Graf 7.2 – Závislost amplitudy zátěžové modulace na intenzitě magnetického pole .....	49

## 12 Seznam použité literatury

- [1] ČSN ISO/IEC 10373-1. *Identifikační karty - Zkušební metody - Část 1: Všeobecné charakteristiky*. Červenec 2011.
- [2] ČSN ISO/IEC 10373-6+Amd. 1. *Identifikační karty – Metody testování – Část 6: Karty s vazbou na blízko*. Červen 2013.
- [3] ČSN ISO/IEC 10373-6+Amd. 1. ZMĚNA Amd. 2. *Identifikační karty – Metody testování – Část 6: Karty s vazbou na blízko*. Říjen 2013.
- [4] ČSN ISO/IEC 10373-6+Amd. 1. ZMĚNA Amd. 3. *Identifikační karty – Metody testování – Část 6: Karty s vazbou na blízko*. Říjen 2013.
- [5] ČSN ISO/IEC 10373-6+Amd. 1. ZMĚNA Amd. 4. *Identifikační karty – Metody testování – Část 6: Karty s vazbou na blízko*. Říjen 2013.
- [6] ČSN ISO/IEC 10373-7. *Identifikační karty – Zkušební metody – Část 7: Karty s vazbou na dálku*. Červenec 2011.
- [7] ČSN ISO/IEC 14443-1. *Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s vazbou na blízko – Část 1: Fyzikální charakteristiky*. Únor 2012
- [8] ČSN ISO/IEC 14443-2. *Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s vazbou na blízko – Část 2: Radiofrekvenční výkonové rozhraní a signální rozhraní*. Únor 2012
- [9] ČSN ISO/IEC 14443-3. *Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s vazbou na blízko – Část 3: Inicializace a antikolize*. Únor 2012
- [10] ČSN ISO/IEC 14443-4. *Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s vazbou na blízko – Část 4: Protokol přenosu*. Únor 2012
- [11] ČSN ISO/IEC 15693-1. *Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s vazbou na dálku – Část 1: Fyzikální charakteristiky*. Říjen 2012
- [12] ISO/IEC 15693-2. *Identification cards – Contactless integrated circuit(s) cards – Vicinity cards – Part 2: Air interface and initialization*. First edition 2000-05-01
- [13] FINKENZELLER, Klaus. *RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2010. xvi, 462 s. ISBN 978-0-470-69506-7.

- [14] Motorola MC9090-G RFID Handheld Mobile Computer. [online]. [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.generalmanual.com/Pocket-PC/Motorola-MC9090-G-RFID-Handheld-Mobile-Computer.htm>
- [15] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/unmz>
- [16] Arsenal Testhouse GmbH. [online]. [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: <http://www.arsenal-testhouse.com/>
- [17] AARONIAUSA. *Spectrum Analyzers - RF - EMC - antennas, probes, shielding: Spectran User Manual* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://aaroniausa.com/>
- [18] TEKTRONIX. *TDS2000C Digital Storage Oscilloscope: Digital Storage Oscilloscopes User Manual* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.tek.com/>
- [19] SÝKORA, Jan. *Teorie digitální komunikace*. Dotisk 1. vyd. Praha: ČVUT, 2005. xiii, 329 s. ISBN 80-010-2478-4.
- [20] RFID portál. [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: [www.rfidportal.cz](http://www.rfidportal.cz)
- [21] ČSN EN 61000-4-2 ed. 2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti*. Listopad 2009.
- [22] Agilent *Spectrum Analysis Amplitude and Frequency Modulation: Application Note 150-1* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://cp.literature.agilent.com>

## **Příloha A – Výběr norem dle klíčových slov**

### ***A.1 Seznam norem obsahující klíčové slovo „Identifikační karty“***

- ČSN ISO/IEC 7810 Identifikační karty – Fyzikální charakteristiky
- ČSN ISO/IEC 7811 Identifikační karty – Záznamová technika – Část 1, 2, 6
- ČSN ISO/IEC 7812 Identifikační karty – Identifikace vydavatelů karet – Část 1, 2
- ČSN ISO/IEC 7816 Identifikační karty – Karty s integrovanými obvody – Část 1 – 13, 15
- ČSN EN 726 Systémy s identifikačními kartami – Telekomunikační karty s integrovanými obvody a koncová zařízení – Část 1 - 7
- ČSN ISO/IEC 11693 Identifikační karty – Optické paměťové karty - Všeobecné charakteristiky
- ČSN ISO/IEC 10536 Identifikační karty – Bezkontaktní karty s integrovanými obvody – Karty s těsnou vazbou – Část 1 - 3
- ČSN EN ISO 21549 Zdravotnická informatika – Data zdravotní karty pacienta – Část 1 - 8
- ČSN EN 1038 Systémy s identifikačními kartami – Telekomunikační aplikace – Telefonní automat na karty s integrovanými obvody
- ČSN ISO/IEC 7501 Identifikační karty – Strojově čitelné cestovní doklady – Část 1 - 3
- ČSN ISO/IEC 4909 Identifikační karty – Karty pro finanční transakce – Obsah dat magnetického proužku pro stopu 3
- ČSN ISO 9992-1 Identifikační karty. Karty pro finanční transakce. Zprávy mezi kartou s integrovanými obvody a zařízením akceptujícím kartu. Část 1: Pojmy a struktury
- ČSN EN 1332 Systémy identifikačních karet – Rozhraní člověk stroj – Část 1 - 5
- ČSN P CEN/TS 15480 Systémy s identifikačními kartami – Evropská občanská karta – Část 1, 2, 5

## ***A.2 Seznam norem obsahující klíčové slovo „RFID“***

ČSN ISO 18186 Kontejnery - Systém RFID tagů nákladních zásilek

ČSN ISO 17363 - 17367 Aplikace RFID (radiofrekvenční identifikace) v dodavatelském řetězci

ČSN EN 4817 – 4818 Letectví a kosmonautika - Pasivní HF RFID (radiofrekvenční identifikace) tagy, určené pro letecké použití

ČSN EN 50364 ed. 2 Omezení vystavení člověka elektromagnetickým polím ze zařízení pracujících v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 300 GHz, používaných při elektronické ochraně zboží (EAS), vysokofrekvenční identifikaci (RFID) a podobných aplikacích

ČSN EN ISO/IEC 19762-3 Informační technologie - Automatická identifikace a techniky sběru dat - Harmonizovaný slovník - Část 3: Radiofrekvenční identifikace (RFID)

ČSN EN 16570 Informační technologie - Potvrzení RFID - Informační značka a dodatečné informace poskytované provozovatelem systému RFID

ČSN EN 16571 Informační technologie - Postup posouzení ochrany osobních údajů v RFID

ČSN EN 16656 Informační technologie - Radiofrekvenční identifikace pro management - Znak RFID

## Příloha B – Schémata měřících přípravků a použité součástky

Použitá schémata a tabulky jsou převzaty z příslušných norem s vlastními modifikacemi.

### B.1 Testovací sestava PCD (VCD)

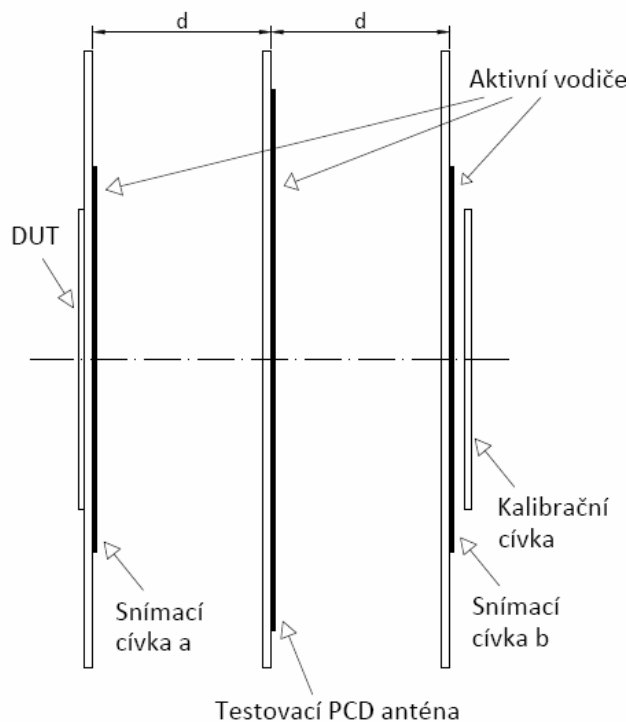


Schéma B.1 – Sestava PCD (VCD) – uspořádání přípravků [2, 6]

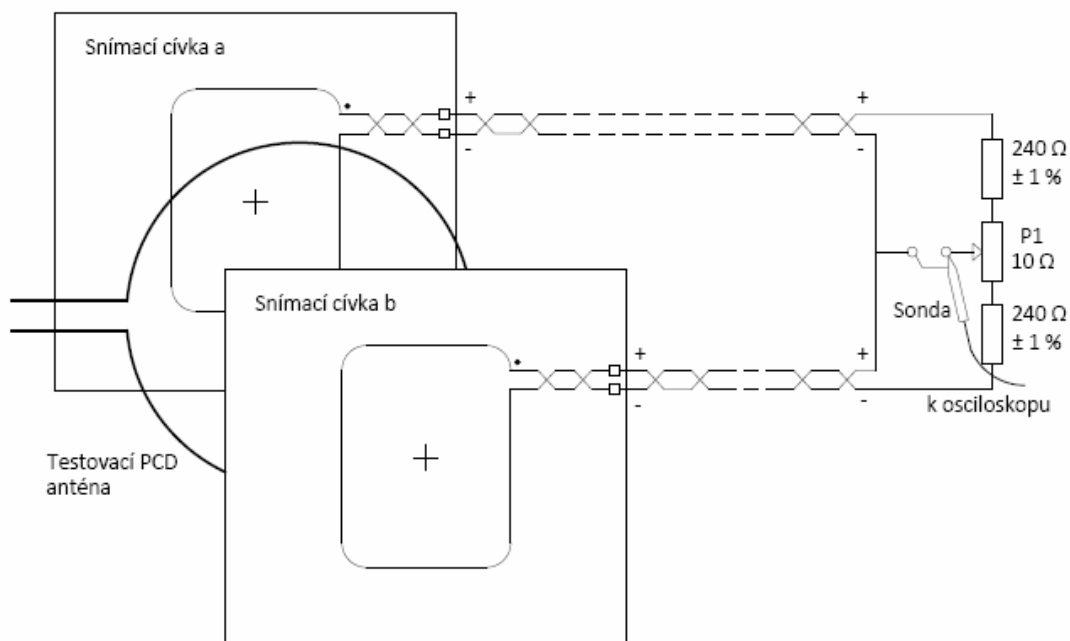


Schéma B.2 – Sestava PCD (VCD) – připojení snímacích cívek [2, 6]





PICC	L1	L2
1	2,30 $\mu\text{H}$	375 nH
2	2,40 $\mu\text{H}$	417 nH
3	2,39 $\mu\text{H}$	405 nH
4	2,30 $\mu\text{H}$	390 nH
5	2,40 $\mu\text{H}$	380 nH
6	2,30 $\mu\text{H}$	370 nH
VICC	L	
1	3,50 $\mu\text{H}$	

Tabulka B.2 – Indukčnost cívek referenční PICC (VICC)

Značka	Hodnota	Podmínky	
$V_f$	0,33 V MAX	$I_F$	2 mA
C	7 pF TYP	$V_R$	1 V
		f	1 MHz
$I_{rr}$	5 ns MAX	$I_F$	10 mA
		$I_R$	10 mA
		$I_{rr}$	1 mA

Tabulka B.3 – Detailní popis diod

$V_F$  – propustné napětí  
 C – kapacita přechodu  
 $t_{rr}$  – doba zpětného zotavení  
 max, typ – hodnota (maximální, typická)  
 $I_F$  – propustný proud  
 $V_R$  – závěrné napětí  
 f – frekvence  
 $I_R$  – závěrný proud  
 $I_{rr}$  – proud zpětného zotavení  
 Podmínky při teplotě přechodu 25 °C

### B.3 Referenční VICC

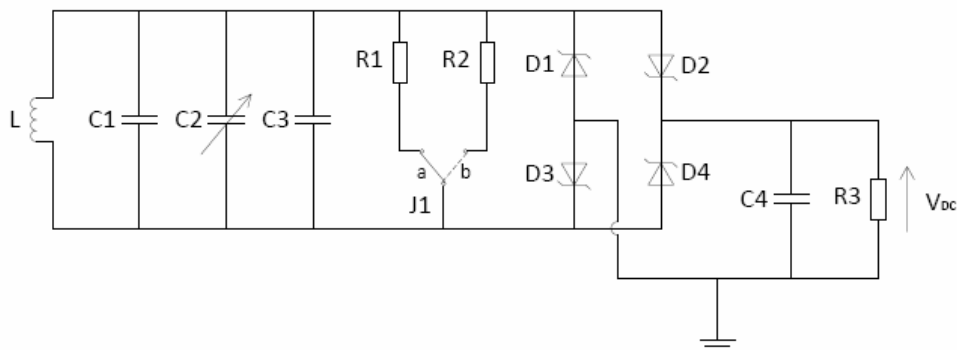


Schéma B.4 - Referenční VICC pro testování intenzity pole VCD a přenos výkonu [6]

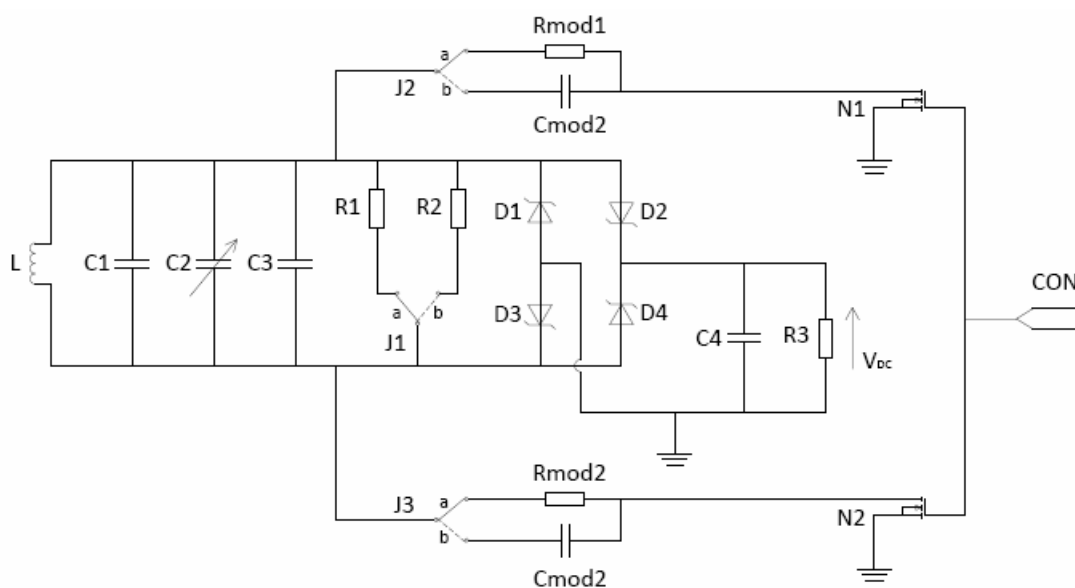


Schéma B.5 - Referenční VICC pro testování příjmu zátěžové modulace VCD [6]

Součástka	Hodnota	Poznámka
Cmod1, Cmod2	(3 - 120) pF	kapacitní modulace
Rmod1, Rmod2	100 Ω - 2,7 kΩ	odporová modulace
L		viz Tabulka B.2
C1	< 5 pF	
N1, N2	N-MOS	tranzistor s malou parazitní kapacitou
D1, D2, D3, D4	BAR43	viz Tabulka B.3
J1	a: minimální b: maximální	přepínač hodnoty intenzity magnetického pole
J2, J3	a: odporová b: kapacitní	přepínač pro volbu zátěže
CON		připojovací konektor

Tabulka B.4a – Součástky na VICC

Součástka	Hodnota
C2	(2 - 10) pF
C3	27 pF
C4	10 nF
R1	11 k $\Omega$
R2	91 $\Omega$
R3	100 k $\Omega$

Tabulka B.4b – Součástky na VICC

#### B.4 Obvodová reference pro ladění testovacích antén

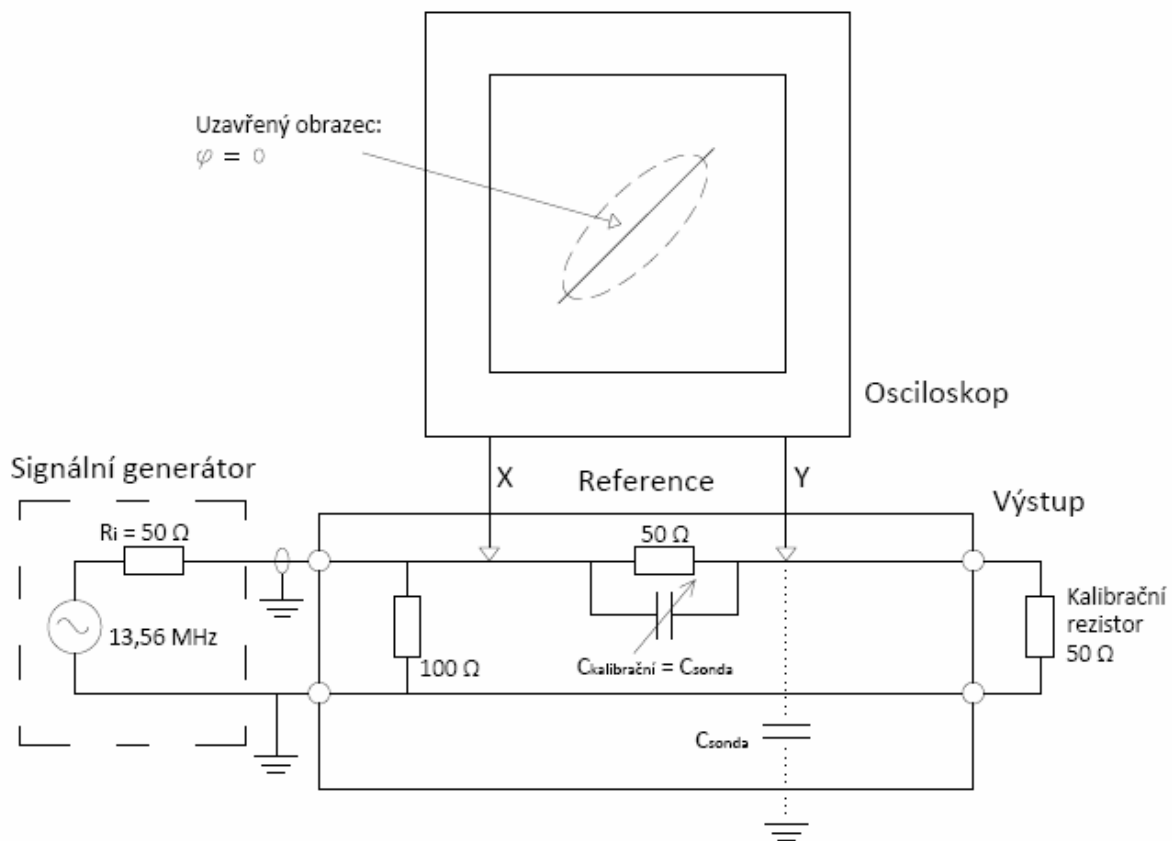


Schéma B.6 – Referenční obvod pro ladění antén [2, 6]

### B.5 Obvod pro přizpůsobení impedance antény PCD (VCD)

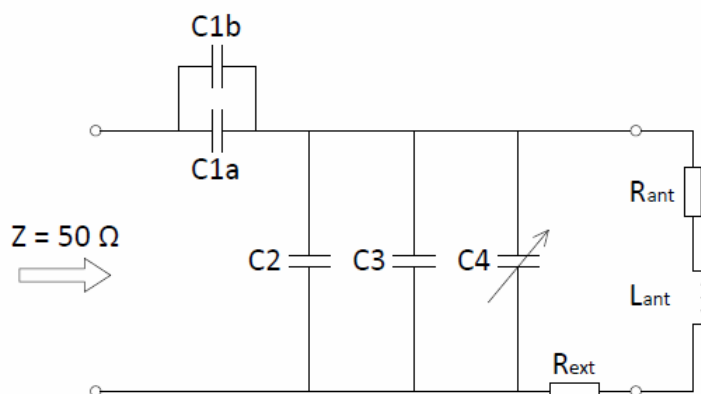


Schéma B.7 – Obvod pro přizpůsobení impedance antén [2, 6]

Součástka	Hodnota	Rozsah (napěťový/výkonový)
C1a	100 pF	200 V
C1b	12 pF	200 V
C2	270 pF	200 V
C3	18 pF	200 V
C4	(2 – 27) pF	200 V
R <sub>ext</sub>	2,7 Ω	20 W

Tabulka B.5 – Součástky na obvodu přizpůsobení impedance antény