

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Výroba doplňků a návrh úloh pro
mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01

Sezimovo Ústí, 2026

Autor: David Kolář



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **David Kolář**
 Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
 Název práce: **Výroba doplňků a návrh úloh pro mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01**
 Anglický název práce: **Production of accessories and task design for a microwave device TESLA MS 01.**

Zásady pro vypracování:

1. Objasněte problematiku vzniku a šíření mikrovlnného záření ve vzduchu a pevných tělesech.
2. Popište strukturu, technické parametry a možné využití mikrovlnné soupravy TESLA MS 01.
3. Podle výkresů uvedených v práci [1] vyrobte a sestavte optickou lavici.
4. Navrhněte a vyrobte napájecí zdroj, detekční sondu a zesilovač pro mikrovlnnou soupravu.
5. Podle požadavků vedoucího práce vytvořte a ověřte soubor úloh pro práci se soupravou MS 01.
6. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Doporučená literatura:

- [1] Bělohradský, V.: Pokusy s mikrovlnnou soupravou (Diplomová práce), Technická univerzita v Liberci, Pedagogická fakulta, Liberec, 1995. Vedoucí práce doc. RNDr. M. Krebs, CSc.
- [2] Kol. aut.: *Mikrovlnná souprava MS 01: Návod k obsluze a údržbě*. Praha: Komenium, 1988.
- [3] Vrba, J.: *Úvod do mikrovlnné techniky*. Praha 2007, ČVUT. ISBN 978-80-01-03670-9.

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Miroslav V. Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP
 Sezimovo Ústí
 Odborný konzultant práce: Ing. Antonín Juránek
 Oponent práce: Ing. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1. 9. 2025**

Datum odevzdání absolventské práce: **15. 5. 2026**

Mgr. Bc. Miroslav V. Hospodářský
 (vedoucí práce)



doc. PhDr. Mgr. Lenka Hrušková, Ph.D.
 (ředitelka školy)

V Sezimově Ústí dne 1. 9. 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré použité informační zdroje, veškerý použitý software a dodržel jsem Metodiku užití „umělé inteligence“, která je součástí metodiky tvorby absolventské práce.

Prohlašuji, že jsem v průběhu příprav a psaní této práce nepoužil nástroje „umělé inteligence“.

Jsem si vědom, že za obsah této práce plně zodpovídám.

V Sezimově Ústí dne 25.8.2026



podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Mgr. Bc. Miroslavovi V. Hospodářskému za odborné vedení mé absolventské práce, cenné rady, vstřícný přístup a čas, který mi během celého procesu tvorby věnoval. Velké poděkování patří také mé rodině za nesmírnou trpělivost, morální podporu a vytvoření skvělého zázemí nejen při psaní této práce, ale po celou dobu mého studia.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá návrhem a praktickou výrobou doplňků pro mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01 a tvorbou uceleného souboru laboratorních úloh pro její využití v technickém vzdělávání. Teoretická část popisuje principy mikrovlnné techniky a technické parametry samotné soupravy. Praktická část se zabývá konstrukcí optické lavice a realizací elektronických doplňků, jmenovitě napájecího zdroje, detekční sondy a zesilovače. Součástí práce je také návrh a praktické ověření souboru měřicích úloh, které demonstrují vlastnosti elektromagnetického vlnění. Výsledkem práce je funkční a kompletní sestava, která je připravena pro využití v odborném technickém vzdělávání.

Klíčová slova: mikrovlnné záření; šíření elektromagnetických vln; TESLA MS 01; mikrovlnná souprava; optická lavice; napájecí zdroj; detekční sonda; zesilovač.

Annotation

This graduate thesis deals with the design and practical construction of accessories for the TESLA MS 01 microwave teaching kit, as well as the development of a comprehensive set of laboratory exercises for its use in technical education. The theoretical part describes the principles of microwave technology and the technical parameters of the kit itself. The practical part addresses the construction of an optical bench and the realization of electronic accessories, namely a power supply, a detection probe, and an amplifier. The thesis also includes the design and practical verification of a set of measurement tasks demonstrating the properties of electromagnetic waves. The result of the thesis is a functional and complete set ready for use in technical education.

Keywords: microwave radiation; electromagnetic wave propagation; TESLA MS 01; microwave kit; optical bench; power supply; detection probe; amplifier.

Obsah

Seznam použitých symbolů	xi
Seznam zkratek	xiii
Seznam obrázků	xv
1 Úvod	1
2 Teoretický základ	3
2.1 Rozdělení a vlastnosti elektromagnetických vln	3
2.1.1 Šíření mikrovln v různých prostředích	5
3 Technické parametry soupravy TESLA MS 01	7
3.1 Popis soupravy a hlavních částí	7
3.2 Gunnova dioda VCG 200 a detekční dioda 39NQ52B	13
3.2.1 Gunnova dioda VCG 200	13
3.2.2 Detekční dioda 39NQ52B	15
4 Výroba a realizace doplňků	17
4.1 Výroba napájecího zdroje	17
4.2 Výroba zesilovače	19
4.3 Výroba optické lavice	21
5 Tvorba úloh pro soupravu TESLA MS 01	25
5.1 Průchod elektromagnetického vlnění	25
5.2 Odraz elektromagnetického vlnění	27
5.3 Důkaz polarizace elektromagnetického vlnění	29
5.4 Vznik stojaté vlny	30

6 Závěr	33
Literatura	35
A Obsah přiloženého DVD	I
B Použitý software	III
C Časový plán absolventské práce	V
D Schémata zapojení	VII

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
U	elektrické napětí	V
R	elektrický odpor	Ω
I	elektrický proud	A
P	elektrický výkon	W
f	frekvence	Hz
v	rychlost	m s^{-1}
λ	vlnová délka	m

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
AM	Amplitudová modulace
EHF	Extrémně krátké vlny
FM	Frekvenční modulace
GaAs	Arsenid gallitý
GPS	Globální polohový systém
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
HF	Krátké vlny
LF	Dlouhé vlny
LTE	Standard vysokorychlostní mobilní sítě
MF	Střední vlny
NF	Nízkofrekvenční
PN	Polovodičový přechod P-N
SHF	Super krátké vlny
TV	Televize
UHF	Ultrakrátké vlny
UV	Ultrafialové záření
VF	Vysokofrekvenční
VHF	Velmi krátké vlny
VLF	Velmi dlouhé vlny
Wi-Fi	Bezdrátová lokální síť

Seznam obrázků

3.1	Pohled na přední část vysílače a přijímače	8
3.2	Pohled na zadní část vysílače a přijímače	8
3.3	Schéma zapojení vysílače	9
3.4	Schéma zapojení přijímače	10
3.5	Upevňovací stojany pro pasivní příslušenství	12
3.6	Pasivní doplňky pro mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01	12
3.7	Gunnova dioda VCG 200	14
3.8	Detekční dioda 39NQ52B	15
4.1	Schéma zapojení napájecího zdroje	18
4.2	Deska plošných spojů pro napájecí zdroj	19
4.3	Schéma zapojení zesilovače	20
4.4	Deska plošných spojů pro zesilovač	21
4.5	Detailní pohled na tvarové opracování konců kolejnic	22
4.6	Detailní pohled na spodní frézování posuvných jezdců	22
4.7	Příprava povrchu ručním broušením	23
4.8	Nanesení vrstvy ochranného laku	24
4.9	Kompletní sada dokončených dřevěných dílů optické lavice	24
5.1	Schéma pokusu: Průchod elektromagnetické vlny různými materiály	26
5.2	Schéma pokusu: Odraz elektromagnetického vlnění	27
5.3	Demonstrace odrazu elektromagnetického vlnění od různých materiálů	28
5.4	Schéma pokusu: Polarizace elektromagnetického vlnění	29
5.5	Demonstrace lineární polarizace mikrovln pomocí vodivé mřížky	30
5.6	Schéma pokusu: Vznik stojaté vlny	31
5.7	Celkový pohled na měřicí aparaturu pro průkaz stojaté vlny	31

Kapitola 1

Úvod

Elektromagnetické vlnění, zejména v mikrovlnném pásmu, v dnešní době představuje naprostý základ moderních technologií. Bez těchto vln by nebylo možné provozovat Wi-Fi připojení, mobilní sítě ani radarové systémy. Ačkoliv jsou tyto technologie využívány každodenně, pochopení principů jejich fungování bývá pro studenty velmi obtížné. Představa neviditelných vln pouze na základě matematických vzorců a statických obrázků v učebnici je značně náročná. Aby byla tato problematika skutečně pochopena, je nezbytné si ji vyzkoušet v praxi. Přesně k tomuto účelu slouží výuková souprava TESLA MS 01, díky níž lze vizualizovat jevy, které jsou normálně neviditelné, a měřit signál ve skutečném prostoru.

V současné výuce jsou elektromagnetické jevy v mikrovlnném pásmu často vysvětlovány pouze teoreticky v běžné odborné literatuře, případně jsou demonstrovány pomocí počítačových simulací. Tyto metody ovšem reálnou laboratorní zkušenost a práci s fyzickým zařízením plně nenahradí. Vzhledem ke stáří soupravy TESLA MS 01 k ní v současnosti existuje jen naprosté minimum materiálů, přičemž jedním z mála dochovaných zdrojů je dříve zpracovaná diplomová práce (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995). Samotné soupravy jsou navíc na školách v dnešní době často nefunkční, nekompletní a jejich původní doplňky již neodpovídají moderním vzdělávacím standardům.

Cílem této absolventské práce je tuto soupravu zprovoznit a vyrobit k ní doplňky, které chybí nebo jsou pro moderní výuku zastaralé. Konkrétně se jedná o výrobu napájecího zdroje, detekční sondy, zesilovače a konstrukci optické lavice. Součástí práce je také vytvoření sady laboratorních úloh, které umožní studentům snadno provádět experimenty a názorně si ověřit dané pokusy.

Struktura této práce je následující. V kapitole 2 jsou popsány základy mikrovlnného záření a principy šíření elektromagnetických vln prostorem i materiálem. V kapitole 3 je

podrobně popsána samotná souprava TESLA MS 01 a její technické parametry. Hlavní konstrukční část je prezentována v kapitole 4, kde je detailně rozebrán návrh a výroba jednotlivých hardwarových doplňků a optické lavice. V kapitole 5 jsou uvedeny konkrétní navržené úlohy a měření provedená na sestavené soupravě. Závěr shrnuje dosažené výsledky práce a její celkový přínos pro výuku na naší škole.

Kapitola 2

Teoretický základ

V této kapitole jsou shrnuty základní teoretické poznatky, které jsou nezbytné pro pochopení experimentů prováděných s mikrovlnnou soupravou TESLA MS 01. Nejedná se o úplný výčet všech aspektů mikrovlnné techniky, ale o souhrn klíčových témat, která přímo souvisejí s praktickou částí práce. Kapitola se zaměřuje na rozdělení elektromagnetických vln a principy šíření mikrovln v různých prostředích.

2.1 Rozdělení a vlastnosti elektromagnetických vln

Elektromagnetické vlnění představuje formu šíření energie v prostoru pomocí časově proměnných elektrických a magnetických polí. Tato pole se navzájem vytvářejí a šíří se ve formě vln s konečnou rychlostí, která ve vakuu odpovídá rychlosti světla.

Elektromagnetické vlny mohou vznikat různými způsoby – například kmitáním elektrických nábojů, změnami magnetického toku nebo interakcí elektromagnetického pole s prostředím. Mezi základní vlastnosti elektromagnetických vln patří jejich frekvence, vlnová délka, rychlost šíření a energie nesená vlnou. Díky svým vlastnostem se mikrovlny uplatňují v široké škále technických aplikací, například v telekomunikacích, radarové technice, bezdrátových senzorech, měřicích systémech nebo v průmyslovém ohřevu látek. Vzdělávací soupravy, mezi které patří i TESLA MS 01, umožňují pomocí mikrovln názorně demonstrovat šíření elektromagnetických vln, jejich interakci s materiály a principy měření fyzikálních veličin v mikrovlnné oblasti. Celé spektrum elektromagnetického záření se podle frekvence dělí do několika oblastí (HVĚZDÁRNA VALAŠSKÉ MEZIŘÍČÍ, 2012). V oblasti rádiových vln je standardně využíváno následující dělení:

1. Klasická rozhlasová a komunikační pásma (kilometrové až desetimetrové vlny)

Tato pásma se vyznačují nejdelší vlnovou délkou. Vlny se šíří podél zemského povrchu nebo odrazem od ionosféry, což jim zajišťuje velký dosah (KADLČÁK, J. a PROSTECKÝ, M., 1996; REICHL, J. a VŠETIČKA, M., 2006).

- VLF (velmi dlouhé vlny) a LF (dlouhé vlny), frekvence 3 kHz–300 kHz
Využívají se pro komunikaci s ponorkami (pronikají vodou), časové normály a starší rozhlasové vysílání.
- MF (střední vlny), frekvence 300 kHz–3 MHz
Slouží pro klasické AM rádio. V noci dosahují velkých vzdáleností díky odrazům v atmosféře.
- HF (krátké vlny), frekvence 3 MHz–30 MHz
Jsou využívány pro mezinárodní vysílání a radioamatérské spojení. Signál se opakovaně odráží mezi zemí a ionosférou, což umožňuje celosvětový dosah.

2. Pásma pro TV a mobilní sítě (metrové až decimetrové vlny)

V této oblasti dosahuje vlnová délka řádu metrů a desítek centimetrů. Charakter šíření se přibližuje optickým vlastnostem (vyžaduje přímou viditelnost), avšak stále dochází k částečnému ohybu za terénními překážkami.

- VHF (velmi krátké vlny), frekvence 30 MHz–300 MHz
Typické využití zahrnuje FM rádio, leteckou komunikaci a starší televizní vysílání.
- UHF (ultrakrátké vlny), frekvence 300 MHz–3 GHz
Pásmo je klíčové pro televize, mobilní sítě (GSM/LTE), Wi-Fi a systémy GPS.

3. Mikrovlnná pásma (centimetrové a milimetrové vlny)

Tato oblast je stěžejní pro předkládanou práci. Jedná se o rádiové vlny s nejvyšší frekvencí, které se chovají kvaziopticky – šíří se striktně přímočaře, odrážejí se od kovových překážek obdobně jako světlo od zrcadla a velmi obtížně pronikají přes neprostupné bariéry.

- SHF (super krátké vlny, mikrovlny), frekvence 3 GHz–30 GHz

Využívají se pro satelitní spoje, radary a páteřní datové sítě. Do této kategorie spadá i pásmo X (cca 10 GHz), ve kterém pracuje výuková souprava TESLA MS 01.

- EHF (extrémně krátké vlny), frekvence 30 GHz–300 GHz

Nacházejí uplatnění v automobilových radarech a vysokorychlostních spojkách na krátké vzdálenosti (KADLČÁK, J. a PROSTECKÝ, M., 1996).

Nad frekvencí 300 GHz rádiové spektrum končí a plynule přechází do infračerveného záření a viditelného světla.

4. Spektrum nad hranicí rádiových vln

S rostoucí frekvencí nad rámec rádiových vln se vlnové vlastnosti projevují v mikroskopickém měřítku:

- Infračervené záření a viditelné světlo:

Tvoří část spektra, která bezprostředně navazuje na rádiové vlny. Tato oblast je specifická tím, že s ní člověk dokáže přímo interagovat pomocí svých smyslů – ať už ve formě vnímaného tepla (infračervené záření), nebo zrakem (viditelné světlo). Za viditelným světlem pak následuje ještě ultrafialové záření (UV), které tvoří přechod k ionizujícímu záření.

- Rentgenové a gama záření:

Představují vysokoenergetické ionizující záření s extrémně krátkou vlnovou délkou, které se vyznačuje vysokou průrazností a schopností procházet hmotou.

2.1.1 Šíření mikrovln v různých prostředích

Pro efektivní práci s mikrovlnami, jejich přesné měření a využití k přenosu informací je nezbytné znát jejich interakci s různými materiály, které jim stojí v cestě. Tato interakce je teoretickým základem všech praktických úloh realizovaných v této práci. Lze rozlišit tři hlavní scénáře šíření (REICHL, J. a VŠETIČKA, M., 2006):

1. Šíření ve volném prostoru a atmosféře

Ve vakuu nebo čistém suchém vzduchu se mikrovlny šíří přímočaře od zdroje a jejich energie klesá primárně s rostoucí vzdáleností. Vzduch je pro mikrovlny téměř

transparentní. V reálných podmínkách venkovního prostředí však mohou být mikrovlny (zejména ty s vyšší frekvencí) tlumeny deštěm či mlhou, jelikož molekuly vody pohlcují jejich energii. V laboratorních podmínkách a na krátké vzdálenosti je tento atmosférický útlum zanedbatelný.

2. Interakce s vodivými materiály

Pokud mikrovlna narazí na materiál s vysokou elektrickou vodivostí (kovy jako hliník, měď či mosaz), dochází k totálnímu odrazu. Mikrovlny nemohou proniknout do hloubky vodiče (tzv. skin efekt) a odrážejí se zpět do prostoru. Vodivá plocha pro mikrovlny funguje jako zrcadlo pro viditelné světlo. Platí zde zákon odrazu: úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Materiály s horší vodivostí (např. grafit nebo odporové vrstvy) část energie odrazí a zbytek přemění na teplo, čehož se využívá při konstrukci mikrovlnných útlumových článků a bezodrazových zakončení.

3. Interakce s nevodivými materiály

Při dopadu mikrovlny na elektricky nevodivý materiál (např. plast, dřevo, parafín) se část energie odrazí, avšak většina materiálem prostupuje. Při průchodu tímto prostředím se vlna zpomalí, což na rozhraní způsobí změnu směru šíření, neboli lom. Některá dielektrika (např. voda, vlhké dřevo) jsou však tzv. ztrátová a mikrovlny silně pohlcují (přeměňují energii elektromagnetického vlnění na teplo), čehož se využívá při navrhování pohlcovačů záření pro bezodrazové měření.

Kapitola 3

Technické parametry soustavy TESLA MS 01

Tato kapitola se věnuje podrobnému technickému popisu výukové soupravy TESLA MS 01, která tvoří základní hardwarový prostředek této práce. Jsou zde popsány její hlavní části, technická dokumentace, principy činnosti klíčových polovodičových prvků a možnosti jejího využití v praxi.

3.1 Popis soupravy a hlavních částí

Souprava TESLA MS 01 je učební pomůcka původně navržená pro výuku fyziky na gymnáziích a středních odborných školách. Slouží k demonstraci vlnových vlastností elektromagnetického záření v centimetrovém pásmu. Souprava umožňuje indikovat šíření signálu ve volném prostoru na vzdálenost 1 až 5 metrů. Celou sestavu lze funkčně rozdělit do tří základních skupin: vysílací část, přijímací část a sada pasivních doplňků pro modifikaci mikrovlnného pole. Všechny technické parametry a popis soupravy vychází z dříve zpracované dokumentace (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995). Je třeba poznamenat, že samotné indikátory (měřicí přístroje) a napájecí zdroje zpravidla nejsou pevnou součástí základní sady a je nutné je připojit externě. Celkový pohled na přední část vysílače a přijímače je znázorněn na obr. 3.1.



Obrázek 3.1: Pohled na přední část vysílače a přijímače

Zatímco čelní pohled na sestavu odhaluje vnitřní prostor trychtýřových antén, na zadním panelu obou přístrojů se nachází ovládací prvky, identifikační štítky a zdířky pro připojení vnějšího napájecího napětí, viz obr. 3.2.



Obrázek 3.2: Pohled na zadní část vysílače a přijímače

1. Mikrovlnný vysílač – zdroj záření

Vysílač je aktivní částí soupravy, která generuje elektromagnetické vlnění s lineární polarizací ve směru osy antény. Vysílač tvoří tyto části:

- Mikrovlnný generátor:

Základem je dutinový rezonátor osazený Gunnovou diodou. Rezonátor je mechanicky naladěný na pracovní frekvenci cca 10 GHz (pásmo X).

- Trychtýřová anténa:

Zajišťuje impedanční přizpůsobení vlnovodu volnému prostoru a směřuje vyzařovaný výkon do úzkého svazku.

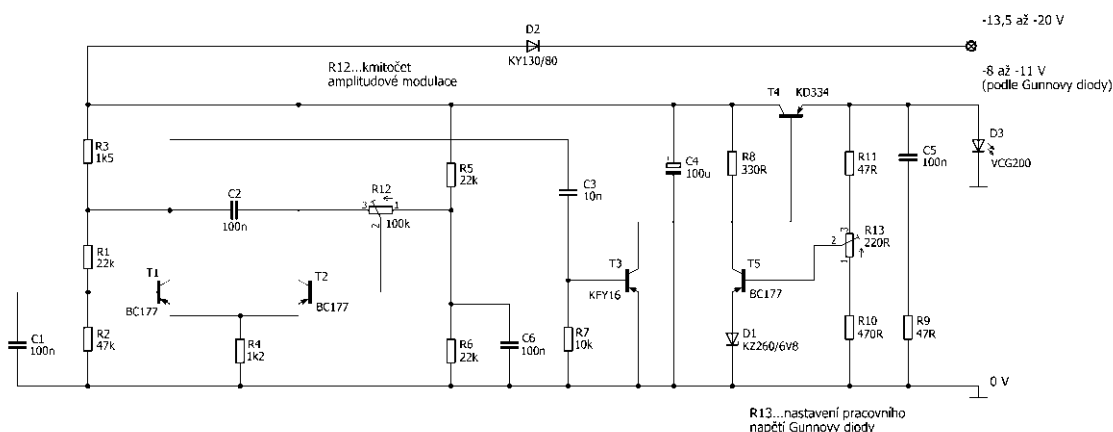
- Modulace:

Vysílač umožňuje provoz s vypnutou modulací (trvalá vlna) nebo s amplitudovou modulací tónem o frekvenci v rozsahu 0,4 až 2 kHz. Modulace je nezbytná pro akustickou indikaci příjmu.

Technické parametry vysílače:

- napájecí napětí: 13,5 až 20 V
- pracovní kmitočet: $10 \pm 0,2$ GHz
- vysílaný VF výkon: min. 1,5 mW (bez modulace)
- odběr proudu: max. 300 mA
- rozsah modulačního kmitočtu: 0,4 až 2 kHz

Zapojení vysílače je detailně znázorněno na obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Zapojení vysílače – překresleno podle (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995)

Na vstupu napájení je zapojena ochranná dioda D2 (KY130/80). Jejím úkolem je chránit obvod před poškozením v případě přepólování. Tranzistory T1 a T2 (BC177) tvoří astabilní klopný obvod – oscilátor. Tento obvod generuje modulační tón, přičemž jeho frekvenci lze plynule měnit potenciometrem R12. Tranzistory T3 (KFY16), T4 (KD334) a T5 (BC177) plní funkci výkonového spínače a regulátoru. Pomocí trimru R13 se nastavuje optimální napětí pro Gunnovu diodu.

2. Mikrovlnný přijímač – detektor

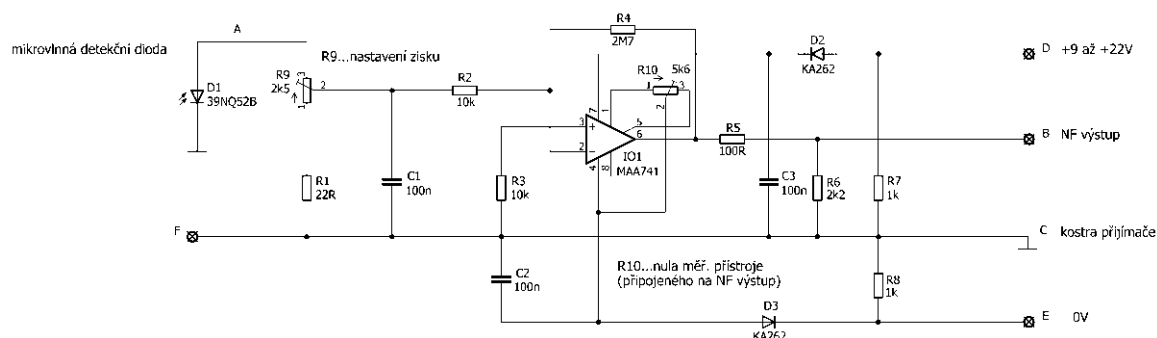
Přijímač slouží k detekci dopadajícího elektromagnetického vlnění. Je citlivý na polarizaci vlnění. Přijímač tvoří tyto části:

- Přijímací sonda:
Je tvořena vlnovodem s trychtýřovou anténou a detekční diodou 39NQ52B.
- Zesilovač:
Detekovaný signál je velmi slabý, proto je zpracován integrovaným zesilovačem. Základem tohoto obvodu bývá klasický operační zesilovač (např. MAA741).

Technické parametry přijímače:

- napájecí napětí: 9 až 22 V
- přijímací kmitočet: $10 \pm 0,2$ GHz
- odběr proudu: max. 30 mA

Zapojení přijímače je detailně znázorněno na obr. 3.4.



Obrázek 3.4: Zapojení přijímače – překresleno podle (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995)

Dopadající elektromagnetické vlnění je zachyceno v trychtýřové anténě a usměrněno na detekční diodě 39NQ52B. Vzniklý nepatrný signál prochází přes ochranný rezistor R2 do zesilovače. Kondenzátor C1 blokuje vysokofrekvenční složku detekovaného mikrovlnného signálu. Potenciometr R9 slouží k nastavení vstupní citlivosti (zisku) přijímače. Základem obvodu je integrovaný operační zesilovač MAA 741, který slabý signál zesílí na úroveň zpracovatelnou ručičkovým měřicím přístrojem nebo reproduktorem. Velikost zesílení je pevně dána rezistorem R4 v obvodu zpětné vazby. Trimr R10 slouží k vynulování operačního zesilovače. Tímto prvkem se kompenzují výrobní nepřesnosti obvodu tak, aby ručička měřidla ukazovala přesně nulovou hodnotu v momentě, kdy na anténu nedopadá žádný signál. Stejně jako u vysílače plní diody D2 a D3 (KA262) funkci ochrany proti přepólování napájecího napětí (9 až 22 V).

3. Pasivní doplňky a příslušenství

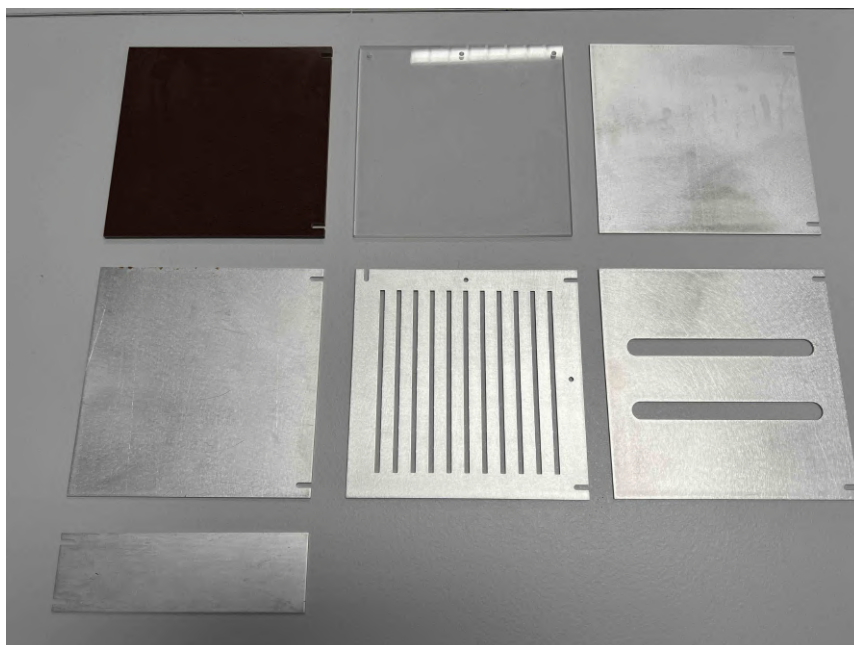
Nedílnou součástí soupravy je sada pasivních doplňků, které jsou určeny k provádění samotných experimentů a vkládají se do prostoru mezi vysílač a přijímač, čímž dochází k žádoucí modifikaci elektromagnetického pole. Sada obsahuje tyto součásti:

- 2 ks kovové desky (200×200 mm): Hliníkové desky fungující jako zrcadla pro odraz elektromagnetických vln.
- 1 ks úzké kovové desky (200×60 mm): Určena pro specifické experimenty s odrazem či stíněním signálu.
- 1 ks desky se dvěma štěrbinami: Kovová deska o rozměrech 200×200 mm se dvěma štěrbinami o šířce 15 mm.
- 1 ks desky s mřížkou: Kovová deska o rozměrech 200×200 mm obsahující 12 štěrbin o šířce 4 mm.
- 1 ks desky z organického skla (plexisklo): Rozměry 200×200 mm, využívá se pro pokusy s průchodem a odrazem na dielektriku.
- 1 ks desky z tvrzené tkaniny: Rozměry 200×200 mm, slouží pro srovnání útlumu různých materiálů.
- 1 ks dielektrické čočky: Průměr 120 mm, ohnisková vzdálenost cca 150 mm.
- 2 ks upevňovacích stojanů pro pasivní příslušenství, viz obr. 3.5.



Obrázek 3.5: Upevňovací stojany pro pasivní příslušenství

Pro provádění samotných experimentů se vybraný pasivní prvek jednoduše uchytí do výše zmíněných stojanů. Tím je zajištěna jeho stabilní a přesná poloha v prostoru mezi mikrovlnným vysílačem a přijímačem. Komplexní pohled na všechny dostupné prvky ze sady je na obr. 3.6.



Obrázek 3.6: Pasivní doplňky pro mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01

4. Požadavky na napájení a indikaci

Souprava je klasifikována jako elektrický předmět III. třídy, je tedy napájena bezpečným malým napětím.

- Napájecí zdroj:

Doporučuje se použít stabilizovaný laboratorní zdroj.

- Indikace příjmu:

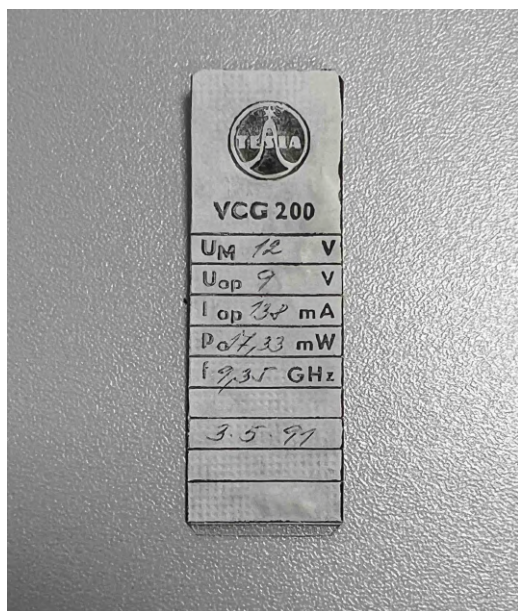
Výstup přijímače lze připojit k voltmetru (rozsah 0,5–3 V), miliampérmetru (3–10 mA) nebo k externímu zesilovači s reproduktorem pro akustickou kontrolu signálu. V případě přímého použití detekční sondy (bez předřazeného zesilovače) je nezbytný vysoce citlivý mikroampérmetr (s rozsahem do 10 μ A).

3.2 Gunnova dioda VCG 200 a detekční dioda 39NQ52B

Aby mikrovlnná souprava mohla plnit svůj účel, spoléhá se na dvě specializované polovodičové součástky. Zatímco na straně vysílače je pro generování mikrovlnného signálu využita Gunnova dioda, na straně přijímače se o zpracování a demodulaci tohoto signálu stará detekční dioda. Ačkoliv oba komponenty plní v měřicím řetězci odlišnou roli, pro chod celého systému jsou naprosto nepostradatelné. Následující podkapitoly podrobněji rozebírají jejich vnitřní konstrukci a specifické fyzikální principy fungování.

3.2.1 Gunnova dioda VCG 200

Pro generování mikrovlnného záření v pásmu X se v soupravě TESLA MS 01 využívá specifická polovodičová součástka nazývaná Gunnova dioda. Ačkoliv nese název dioda, svou vnitřní strukturou a principem se zásadně liší od běžných usměrňovacích diod. Detailní pohled na součástku a její původní výrobní štítek je na obr. 3.7. Z fotografie to sice nemusí být na první pohled patrné, ale pro lepší představu o reálném měřítku je vhodné podotknout, že samotná dioda je miniaturní – celkové pouzdro se závitem dosahuje délky pouhých několika milimetrů.



(a) Výrobní štítek



(b) Detail diody

Obrázek 3.7: Gunnova dioda VCG 200

Princip funkce Gunnovy diody (Gunnův jev): Gunnova dioda je vyrobena z polovodiče typu N (obvykle z arsenidu gallitého – GaAs). Nemá klasický PN přechod jako běžné tranzistory či diody. Její funkce je založena na kvantově-mechanickém jevu, který v roce 1963 objevil J. B. Gunn.

Klíčovou vlastností této součástky je tzv. záporný diferenciální odpor. U běžného odporu platí, že pokud zvýšíme napětí, zvýší se i proud. U Gunnovy diody existuje určitá oblast napětí, kde při zvyšování napětí proud klesá. Tato nestabilita (záporný odpor) vede ke vzniku shluků elektronů, které periodicky procházejí krystalem od katody k anodě. Tento cyklický průchod vytváří vysokofrekvenční oscilace proudu, čímž vzniká mikrovlnné záření (MATÁTKO, J., 2012).

Použití v soupravě TESLA MS 01: Samotná dioda by vyzařovala jen velmi slabě a na nestabilní frekvenci. Proto je v soupravě TESLA MS 01 umístěna uvnitř speciální kovové komory – dutinového rezonátoru.

- Rezonátor:

Jeho rozměry určují přesnou frekvenci, na které bude dioda kmitat. V případě soupravy TESLA MS 01 je to frekvence v pásmu X (cca 9–10 GHz).

- Modulace:

Abychom mohli signál detekovat a poslouchat, napájíme Gunnovu diodu nejen stejnosměrným napětím, ale i střídavým signálem (modulací). To způsobuje, že se intenzita mikrovln mění v rytmu tónu – amplitudová modulace AM, což nám umožňuje v přijímači signál slyšet.

3.2.2 Detekční dioda 39NQ52B

Jedná se o vysokofrekvenční subminiaturní křemíkovou hrotovou diodu, která je speciálně navržena pro práci v mikrovlnném pásmu X (8,2–12,4 GHz). Je určena k využití jako směšovač a detektor v pásmu centimetrových vln a v soupravě TESLA MS 01 je použita přímo detekční dioda s označením TESLA 39NQ52B (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995). Vzhled této součástky včetně jejího původního balení je na obr. 3.8.



(a) Originální pouzdro diody



(b) Detail diody

Obrázek 3.8: Detekční dioda 39NQ52B

Princip a konstrukce detekční diody 39NQ52B: Běžné usměrňovací diody nejsou schopny pracovat s frekvencemi v řádu GHz. Důvodem je jejich velká kapacita přechodu PN, která při těchto frekvencích funguje jako zkrat, takže vysokofrekvenční signál diodou projde bez usměrnění.

Dioda 39NQ52B řeší tento problém odlišnou konstrukcí. Využívá tzv. hrotový kontakt. Tenký kovový hrot se dotýká povrchu polovodiče na extrémně malé ploše. Díky tomu je

kapacita přechodu minimalizována na hodnoty zlomků pikofaradu, což umožňuje diodě usměrňovat i kmity o frekvenci 10 GHz.

Funkce diody v měřicím systému: V soupravě TESLA MS 01 je tato dioda umístěna v přijímací sondě. Její funkcí je demodulace mikrovlnného signálu:

1. Vstup: Do sondy vstupuje vysokofrekvenční mikrovlnné vlnění.
2. Detekce: Dioda toto vlnění usměrní. Pokud je vysílaný signál modulovaný, dioda oddělí nízkofrekvenční složku od vysokofrekvenční nosné vlny.
3. Výstup: Na výstupu diody získáme stejnosměrné napětí (nebo nízkofrekvenční signál), jehož velikost odpovídá síle přijatého mikrovlnného pole.

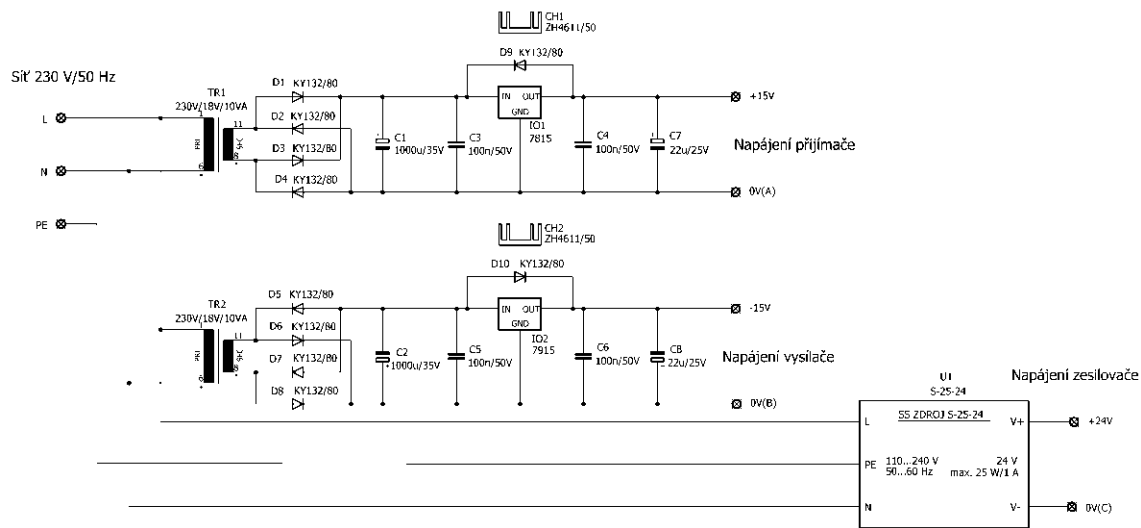
Kapitola 4

Výroba a realizace doplňků pro soupravu TESLA MS 01

Tato kapitola se věnuje praktické realizaci hardwarových komponent, které byly navrženy a fyzicky vyrobeny za účelem celkového zprovoznění mikrovlnné soupravy TESLA MS 01. Z původního vybavení se totiž dochovaly pouze klíčové mikrovlnné prvky, konkrétně samotný mikrovlnný vysílač, mikrovlnný přijímač a sada pasivního příslušenství. Veškeré další podpůrné systémy, které jsou absolutně nezbytné pro plnohodnotný a bezpečný provoz sestavy v laboratorních podmínkách, zcela chyběly. Hlavním cílem této konstrukční části je proto kompletní vývoj a stavba těchto chybějících modulů od úplného základu.

4.1 Výroba napájecího zdroje

Klíčovou a zcela nepostradatelnou částí celé soupravy je nový napájecí zdroj. Vzhledem k tomu, že jednotlivé aktivní moduly, tedy mikrovlnný vysílač, přijímač a zesilovač, vyžadují zcela odlišná a specifická napájecí napětí i polaritu. Z tohoto důvodu byl navržen a realizován vlastní, plně přizpůsobený napájecí blok, který zaručuje maximální stabilitu a přesnost pro všechny prováděné experimenty. Tento blok ve svém finálním provedení poskytuje tři na sobě nezávislé a galvanicky oddělené napěťové větve, čímž se efektivně předchází vzájemnému rušení citlivých obvodů. Celé zařízení je navrženo tak, aby bylo bezpečně napájeno ze standardní elektrické sítě 230 V / 50 Hz, přičemž byl při návrhu kladen velký důraz na bezpečnost, odrušení a ochranu proti zkratu. Kompletní obvodové řešení tohoto napájecího bloku je znázorněno na obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Zapojení napájecího zdroje

- Napájení přijímače (+15 V):

První větev využívá transformátor TR1 (230 V / 18 V). Střídavé napětí je usměrněno můstkovým usměrňovačem, který je tvořen diodami D1 až D4 (KY132/80), a následně vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem C1. O přesnou stabilizaci na hodnotu +15 V se stará integrovaný lineární stabilizátor IO1 (7815) (TEXAS INSTRUMENTS, 2003a).

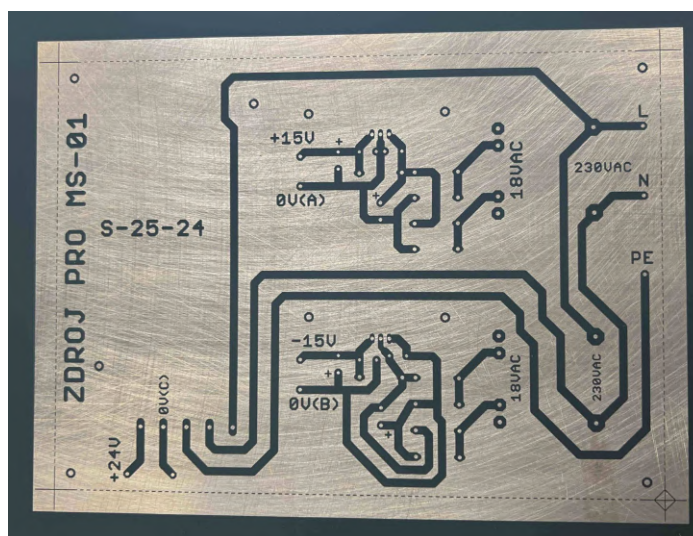
- Napájení vysílače (−15 V):

Mikrovlnný vysílač vyžaduje pro svůj provoz záporné napětí, konstrukce druhé větve je proto zrcadlová. Využívá vlastní oddělovací transformátor TR2 a usměrňovací můstek, ovšem stabilizace je zde provedena pomocí záporného lineárního stabilizátoru IO2 (7915), který na svém výstupu poskytuje stabilních −15 V (TEXAS INSTRUMENTS, 2003b). Obvody obou lineárních stabilizátorů jsou doplněny o blokovací kondenzátory proti nechtěnému rozkmitání a o ochranné diody D9 a D10, které brání zničení integrovaného obvodu při případném zkratu nebo vypnutí napájení.

- Napájení zesilovače (+24 V):

Vzhledem k vyšším proudovým nárokům zesilovače s obvodem TDA2030 byla pro jeho napájení zvolena moderní cesta ve formě průmyslového zapouzdřeného spínaného zdroje U1 (STMICROELECTRONICS, 1998). Tento modul spolehlivě dodává výstupní napětí +24 V s maximálním výkonem 25 W, což bohatě pokrývá veškeré

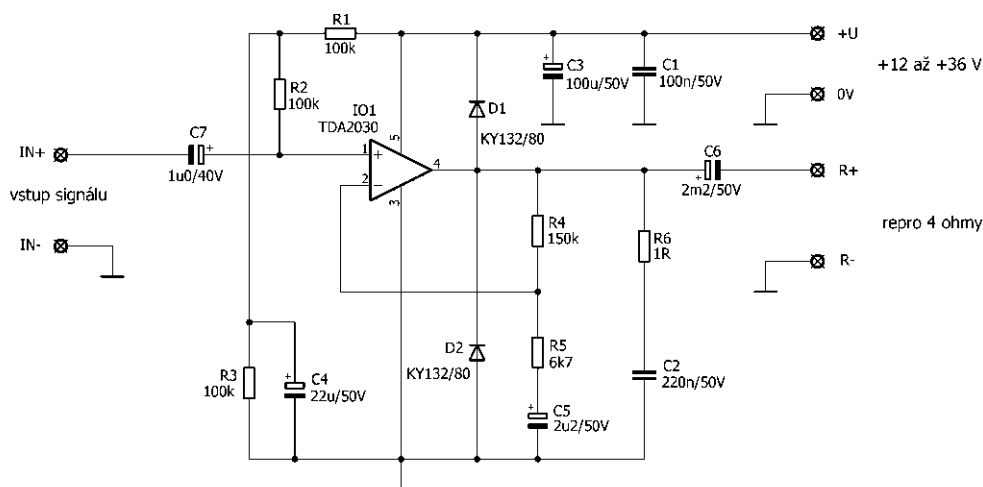
potřeby zesilovacího stupně. Návrh tohoto obvodového řešení byl následně realizován na desce plošných spojů. Výrobní podklady byly nejprve zpracovány v programu GravoStyle V8, který sloužil k přípravě dat pro laserový gravírovací systém. Pomocí laseru byl přesně odstraněn krycí lak z měděné vrstvy v místech určených k následnému odleptání. Fyzická podoba hotové desky po leptání a finálním očištění je na obr. 4.2.



Obrázek 4.2: Deska plošných spojů pro napájecí zdroj

4.2 Výroba zesilovače

Poslední stěžejní elektronickou komponentou mikrovlnné soupravy je nízkofrekvenční zesilovač. Jeho hlavním úkolem je zesílit relativně slabý výstupní signál z přijímače na úroveň, která je dostatečná pro vybuzení reproduktoru. Tím je umožněna akustická indikace zachyceného mikrovlnného signálu, což je pro demonstraci fyzikálních jevů ve třídě mnohem názornější než pouhé sledování výchylky na ručičkovém měřicím přístroji. Samotné schéma zapojení tohoto modulu je vyobrazeno na obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Zapojení zesilovače

Jako aktivní prvek byl pro návrh zvolen integrovaný obvod TDA2030 (IO1). Jedná se o osvědčený monolitický nízkofrekvenční zesilovač třídy AB, který je schopen dodat výstupní výkon až 14 W (při napájení 28 V a zátěži 4 Ω). K jeho hlavním výhodám patří vysoký výstupní proud, nízké harmonické zkreslení a spolehlivá zabudovaná ochrana proti zkratu a tepelnému přetížení.

Samotné zapojení přímo vychází z doporučeného katalogového zapojení výrobce (tzv. datasheetu) pro nesymetrické napájení (STMICROELECTRONICS, 1998). Obvod je navržen pro provoz při napájecím napětí v širokém rozsahu +12 až +36 V. Stejně jako v případě napájecího zdroje, i pro zesilovač byla vyrobena vlastní deska plošných spojů stejnou technologií. Samotný obrazec měděných spojů připravený pro osazení součástkami je na obr. 4.4.

- Vstupní a výstupní obvody:

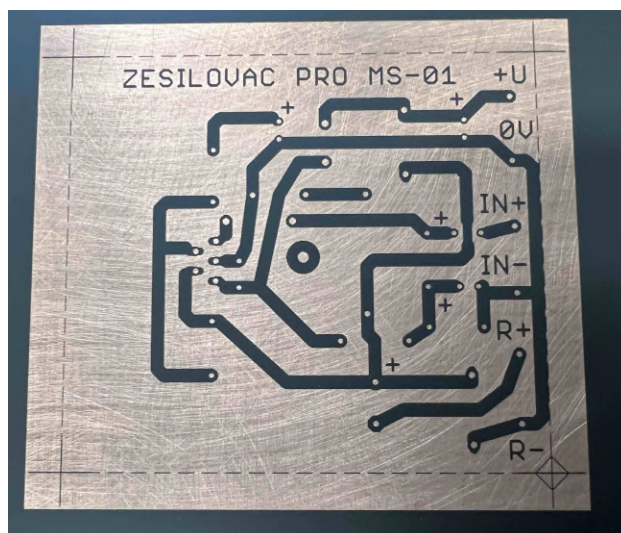
Vstupní signál je do zesilovače přiváděn přes oddělovací kondenzátor C7. Výstupní signál pro reproduktor je následně odebírán z pinu 4 přes vazební elektrolytický kondenzátor C6, jehož úkolem je blokovat stejnosměrnou složku.

- Zpětná vazba a zisk:

Celkový zisk zesilovače je primárně dán poměrem hodnot rezistorů v omezovací smyčce zpětné vazby (R4 a R5).

- Ochranné prvky:

Zapojení je na výstupu doplněno o usměrňovací diody D1 a D2 (typ KY132/80), které slouží jako ochranné prvky a spolehlivě chrání integrovaný obvod proti nebezpečným napěťovým špičkám.



Obrázek 4.4: Deska plošných spojů pro zesilovač

4.3 Výroba optické lavice

Pro úspěšnou realizaci mikrovlnných experimentů a demonstraci optických jevů je nezbytná stabilní a přesná mechanická základna — optická lavice. Její hlavní funkcí je zajištění přesného lineárního vedení a pevné fixace mikrovlnného vysílače, přijímače a veškerých pasivních prvků (jako jsou dielektrické čočky, hranoly či odrazové desky) v požadované ose.

Vzhledem k nárokům na mechanickou odolnost a přesnost výsledné učební pomůcky byla výroba těchto komponent zadána na zakázku do profesionální truhlářské dílny. Jako materiál bylo zvoleno kvalitní tvrdé jasanové dřevo, které zaručuje vysokou tvarovou stálost, tuhost a dlouhou životnost i při velmi častém používání ve výuce.

Výroba probíhala podle výkresové dokumentace, která je součástí příloh této práce. Mechanická soustava se skládá z následujících prvků:

- Kolejnice:

Základní ramena optické lavice o celkové délce 800 mm. Jsou opatřena středovou průchozí drážkou, která umožňuje plynulý posuv upevněných prvků. Kolejnice mají specificky tvarované konce pro vzájemné spojování do různých úhlů a sestav. Konstrukční detaily těchto prvků jsou vyobrazeny na obr. 4.5.



(a) Pravoúhlé zakončení s aretací



(b) Zakončení s rádiusem pro plynulé navazování

Obrázek 4.5: Detailní pohled na tvarové opracování konců kolejnic

- Posuvné jezdce:

Dřevěné bloky o rozměrech $80 \times 80 \times 40$ mm slouží jako základny pro samotné přístroje. Jsou ze spodní strany vyfrézovány tak, aby přesně kopírovaly profil kolejnic. Detailní pohled je na obr. 4.6.



Obrázek 4.6: Detailní pohled na spodní frézování posuvných jezdceů

- Výstupní kontrola a broušení:

Z truhlářské dílny byly díly dodány ve stavu hrubého opracování. Následně proběhla pečlivá kontrola parametrů podle výkresové dokumentace. Finální povrchová úprava a celkové zprovoznění mechaniky pak byly realizovány svépomocí. Stěžejním krokem bylo pečlivé ruční broušení všech ploch, hran a vnitřních drážek pomocí brusného papíru zrnitosti P80 a následně P120, viz obr 4.7. Tento krok byl naprosto nezbytný nejen z estetického, ale i z bezpečnostního hlediska (odstranění třísek a ostrých otřepů po frézování).



Obrázek 4.7: Příprava povrchu ručním broušením

- Lakování a finální úprava:

Pro zvýšení mechanické odolnosti a ochrany před vlhkostí či znečištěním během používání byly všechny dřevěné díly po primárním broušení ošetřeny vrstvou bezbarvého laku aplikovaného ve spreji, viz obr. 4.8. Vzhledem k tomu, že aplikace laku přirozeně způsobuje drobné zvednutí dřevních vláken, bylo po jeho úplném zaschnutí provedeno ještě finální lehké přebroušení. Tento poslední technologický krok zaručil perfektně hladký povrch a optimální kluzné vlastnosti celé sestavy. Díky tomu je zajištěn plynulý pohyb jezdců ve vodicích drážkách bez jakéhokoliv nežádoucího zasekávání.



Obrázek 4.8: Nanesení vrstvy ochranného laku

Výsledkem všech výše popsanych truhlářských a povrchových úprav je hotová mechanická základna optické lavice. Kompletní sada dokončených dílů, která je nyní připravena pro finální sestavení a osazení elektronickými moduly, viz obr. 4.9.



Obrázek 4.9: Kompletní sada dokončených dřevěných dílů optické lavice

Kapitola 5

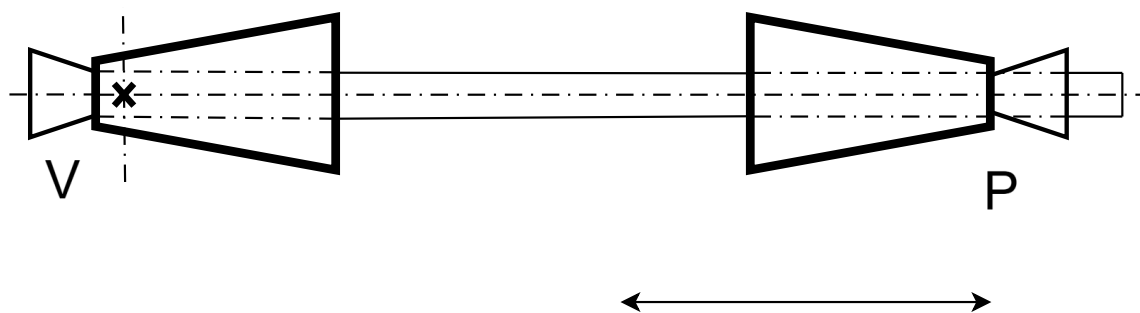
Tvorba úloh pro mikrovlnnou soupravu TESLA MS 01

Tato kapitola představuje praktické využití zrenovované mikrovlnné soupravy TESLA MS 01. Její náplní je soubor navržených laboratorních úloh, které slouží k názorné demonstraci základních vlastností elektromagnetického vlnění v centimetrovém pásmu. Každá úloha je koncipována tak, aby ji bylo možné snadno aplikovat v podmínkách běžné školní laboratoře, a obsahuje definovaný cíl, soupis pomůcek, metodiku měření a vyhodnocení reálně naměřených dat. Koncepce a základní uspořádání těchto experimentů vychází z dříve zpracovaných postupů určených pro tuto výukovou pomůcku (BĚLOHRADSKÝ, V., 1995).

5.1 Průchod elektromagnetické vlny různými materiály

Cíl úlohy:

Ověřit propustnost různých materiálů pro elektromagnetické vlnění v centimetrovém pásmu.



Obrázek 5.1: Schéma pokusu: Průchod elektromagnetické vlny různými materiály

Pomůcky:

Vysílač, přijímač, zdroj napětí, optická lavice, upevňovací stojan pro pasivní příslušenství, měřící přístroj, sada pasivních doplňků (deska z tvrzené tkaniny, deska z hliníku, deska z organického skla).

Postup:

Na optickou lavici umístíme vysílač a přijímač přímo proti sobě tak, aby osy obou trychtýřových antén ležely v jedné přímce a výškově se přesně kryly. Vzdálenost mezi prvky nastavíme s dostatečným rozstupem, aby do prostoru mezi ně bylo možné pohodlně vložit upevňovací stojan pro testované vzorky.

Před zahájením samotného testování materiálů zapneme napájecí zdroje a provedeme kontrolní měření. Na digitálním multimetru odečteme maximální referenční hodnotu signálu, který prochází volným prostorem (vzduchem) bez jakékoliv vložené překážky.

Následně do stojanu postupně upevňujeme desky z různých testovaných materiálů (např. kov, organické sklo, tvrzená tkanina). Vzorek do prostoru mezi anténami umísťujeme vždy striktně kolmo na směr šíření elektromagnetické vlny (tedy kolmo ke společné podélné ose vysílače a přijímače). Po vložení každého materiálu chvíli vyčkáme na ustálení a z displeje multimetru zaznameneáme aktuální hodnotu napětí. Získané údaje nám následně umožní objektivně vyhodnotit, jaká část signálu daným prostředím prostoupila.

Závěr:

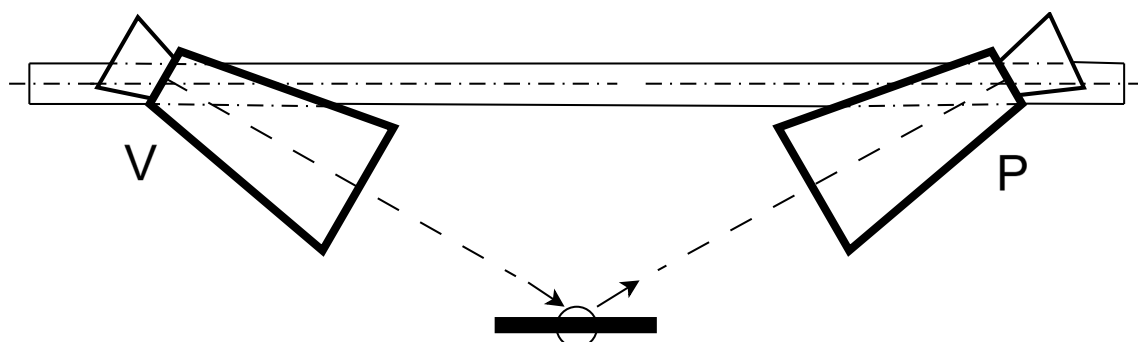
Z provedeného experimentu jasně vyplývá, že schopnost elektromagnetického vlnění prostupovat hmotou zásadně závisí na elektrických vlastnostech daného materiálu. Elektricky vodivá prostředí (jako je hliníková deska) tvoří pro mikrovlny téměř neprostupnou

překážku – vlna jimi neprojde, ale na rozhraní se odrazí (což je detailněji zkoumáno v následující úloze 5.2). Naproti tomu nevodivá dielektrika (organické sklo či tvrzená tkanina) podstatnou část signálu propustí, přičemž dochází pouze k jeho částečnému útlumu vlivem absorpce. Chování mikrovlnného záření tak představuje přímou analogii s optikou viditelného světla, kde látky podobně rozdělujeme na průhledné a neprůhledné.

5.2 Odraz elektromagnetického vlnění od různých materiálů

Cíl úlohy:

Demonstrovat odraz elektromagnetických vln od překážek a experimentálně porovnat odrazivost různých druhů materiálů.



Obrázek 5.2: Schéma pokusu: Odraz elektromagnetického vlnění od různých materiálů

Pomůcky:

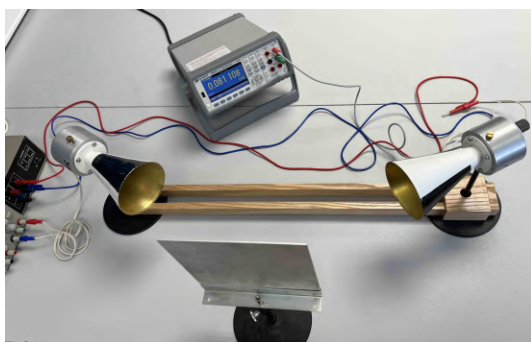
Vysílač, přijímač, zdroj napětí, optická lavice, upevňovací stojan pro pasivní příslušenství, měřicí přístroj, indikační prvek, sada pasivních doplňků (deska z tvrzené tkaniny, deska z hliníku, deska z organického skla).

Postup:

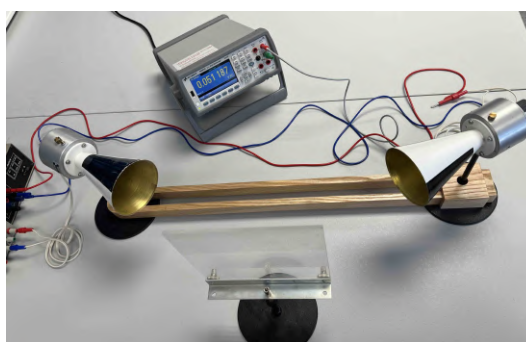
Před zahájením samotného pokusu s odrazem provedeme kalibraci neboli změření referenčního maxima. Vysílač a přijímač umístíme na optické lavici přímo proti sobě a na digitálním multimetru odečteme maximální hodnotu přeneseného signálu.

Následně sestavu uspořádáme pro měření odrazu: Vysílač a přijímač přesuneme tak, aby jejich osy svíraly určitý úhel (například tvar písmene V), a do průsečíku těchto os umístíme upevňovací stojan. Do stojanu postupně vkládáme desky z různých materiálů tak, aby fungovaly jako zrcadlo přeměřovávající mikrovlnný paprsek z vysílače do přijímače.

Při měření každého vzorku (hliník, tkanina, organické sklo) opatrně natáčíme stojan kolem jeho svislé osy, dokud na multimetru nenalezneme maximální hodnotu signálu. Tímto krokem prakticky naplňujeme platnost zákona odrazu (úhel dopadu se rovná úhlu odrazu). Nalezenou maximální hodnotu zaznamenáme. Pro kontrolu provedeme i měření bez vložené překážky.



(a) Odraz od kovové (hliníkové) desky



(b) Odraz od desky z organického skla (plexisklo)

Obrázek 5.3: Demonstrace odrazu elektromagnetického vlnění od různých materiálů

Závěr:

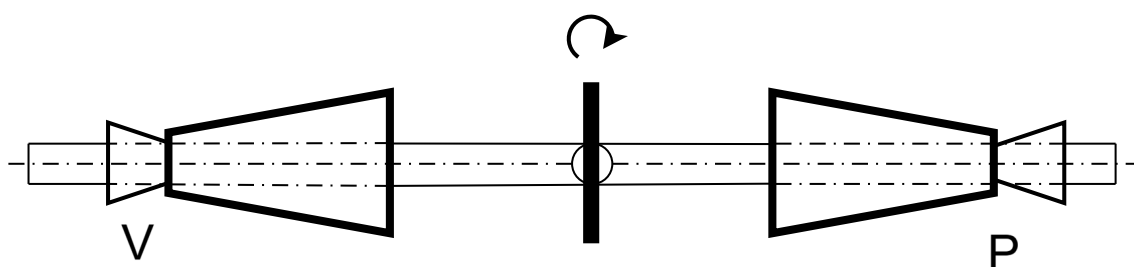
Z naměřených dat je jasné patrná odlišná interakce mikrovln s různými typy materiálů, přičemž k odrazu vlnění dochází v souladu se zákonem odrazu. Měření v přímém směru (hodnota 94,5 mV) slouží jako výchozí reference výkonu. Z testovaných vzorků vykazuje největší hodnotu odraženého signálu hliníková deska (81 mV). Jelikož je hliník elektricky vodivý materiál, mikrovlny jím neprostupují, ale téměř beze ztrát se od něj odrážejí (funguje jako dokonalé zrcadlo). Oproti tomu organické sklo (51 mV) a tvrzená tkanina (61 mV) jsou dielektrika. U těchto nevodivých materiálů se část vlnění odrazí zpět, avšak nezanedbatelná část energie materiálem prostoupí, případně se v něm absorbuje, což vede ke slabšímu odraženému signálu (teoretické principy šíření mikrovln v různých prostředích jsou detailněji rozebrány v 2.1.1. Kontrolní hodnota bez překážky (1,5 mV) potvrzuje,

že pokud v cestě nestojí žádný odrazový prvek, vlna uniká do volného prostoru a na přijímač dopadá pouze zanedbatelný šum pozadí.

5.3 Důkaz polarizace elektromagnetického vlnění

Cíl úlohy:

Ověřit, že elektromagnetické vlnění je lineárně polarizované.



Obrázek 5.4: Schéma pokusu: Polarizace elektromagnetického vlnění

Pomůcky:

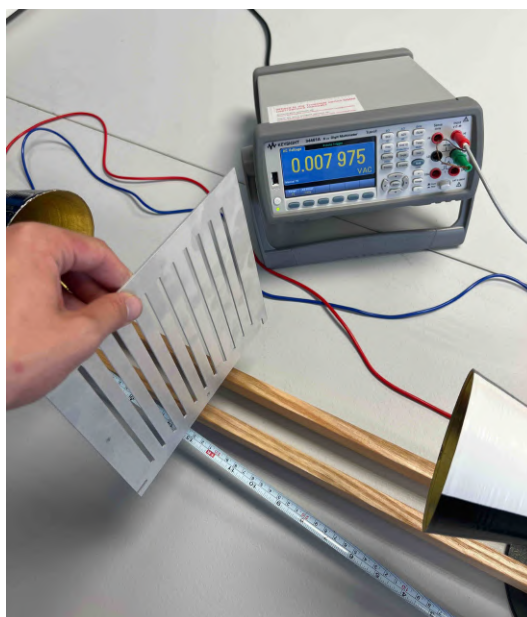
Vysílač, přijímač, zdroj napětí, optická lavice, upevňovací stojan pro pasivní příslušenství, kovová deska s mřížkou, měřicí přístroj, indikační prvek.

Postup:

Na optickou lavici umístíme vysílač a přijímač přímo proti sobě do jedné osy tak, aby obě antény měly shodnou orientaci. Po zapnutí napájecího zdroje nalezneme polohu s maximální výchylkou signálu na indikačním prvku. Následně do prostoru mezi vysílačem a přijímačem umístíme upevňovací stojan, do kterého vložíme desku s kovovou mřížkou. Zkoumáme dva extrémní stavy orientace této mřížky. Umístíme-li mřížku tak, aby její šterbiny směřovaly kolmo na směr elektrické složky vlny (vodorovně), mikrovlnné záření mřížkou projde. Umístíme-li ji naopak rovnoběžně s tímto směrem (svisle), žádný signál nezaznamenejeme. Při plynulém otáčení desky z jedné krajní polohy do druhé pak můžeme na přístroji pozorovat postupnou změnu intenzity signálu. Obměnou tohoto experimentu může být demonstrace polarizace bez použití mřížky.



(a) Vodorovná orientace mřížky (signál prochází)



(b) Svislá orientace mřížky (signál zablokován)

Obrázek 5.5: Demonstrace lineární polarizace mikrovln pomocí vodivé mřížky

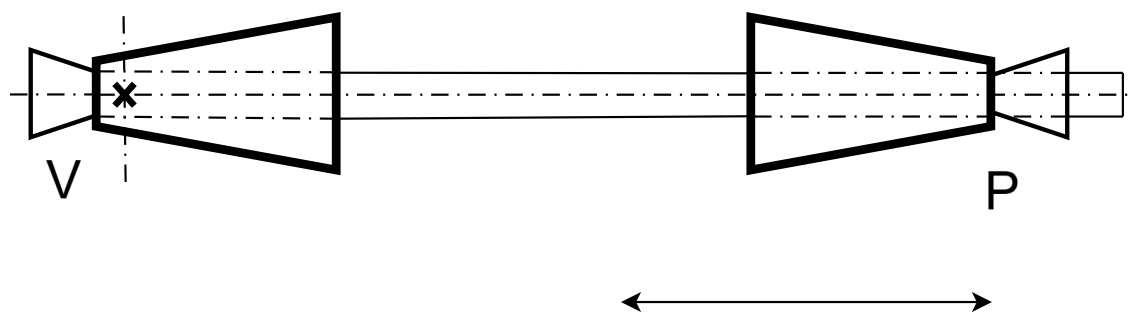
Závěr:

Výsledky pokusu jasně dokazují, že mikrovlnné záření je lineárně polarizované – to znamená, že elektrická složka vlny kmitá pouze v jedné rovině (v našem případě svisle). Experimentálně jsme ověřili, že pokud jsou kovové pruhy mřížky orientovány kolmo na směr tohoto kmitání (vodorovně), mikrovlnné záření mřížkou volně projde. Pokud však mřížku otočíme tak, že je směr kovových pruhů souhlasný se směrem kmitání vlny (svisle), dopadající energie je kovem pohlcována a odražena. Vlna přes mřížku v tomto uspořádání neprosteoupí.

5.4 Vznik stojaté vlny

Cíl úlohy:

Demonstrovat vznik stojatého vlnění pomocí interference postupující a odražené vlny a na základě naměřených dat určit vlnovou délku mikrovlnného záření.



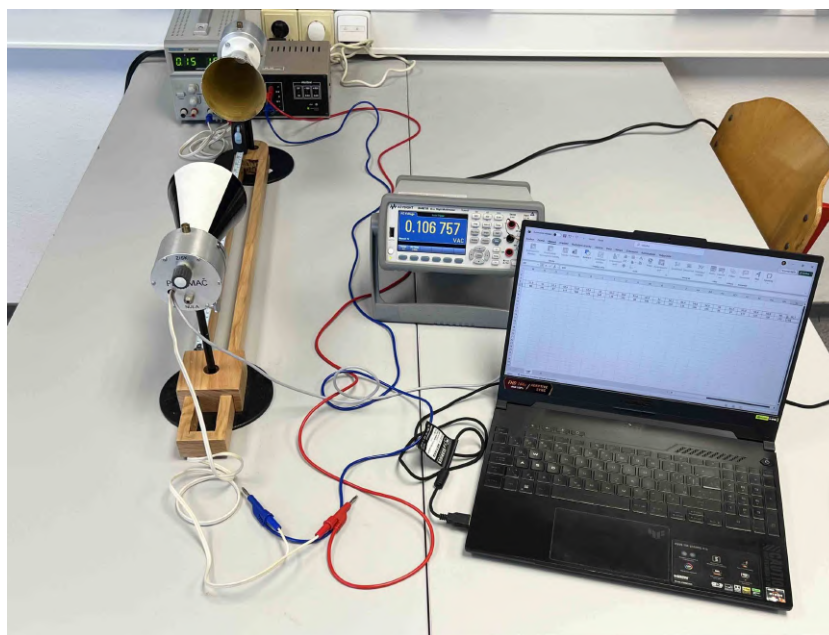
Obrázek 5.6: Schéma pokusu stojatá vlna

Pomůcky:

Vysílač, přijímač, zdroj napětí, optická lavice, měřicí přístroj, indikační prvek.

Postup:

Na optickou lavici umístíme vysílač a přijímač přímo proti sobě tak, aby osy trychtýřů ležely v jedné přímce. Zapneme napájecí zdroj a přijímač nastavíme do výchozí vzdálenosti 50 cm na stupnici lavice. Následně přijímač velmi pomalu a plynule posouváme (oddaľujeme) po kolejnici směrem od vysílače. Ve stanovených pravidelných intervalech (např. každé 2 mm) pečlivě odečítáme přesnou polohu přijímače na stupnici.



Obrázek 5.7: Celkový pohled na měřicí aparaturu pro průkaz stojaté vlny

Závěr:

Elektromagnetické záření má prokazatelně vlnový charakter, jehož jasným důkazem je právě vznik stojaté elektromagnetické vlny.

Kapitola 6

Závěr

Hlavním cílem této absolventské práce byla celková revitalizace, modernizace a znovuvvedení do provozu mikrovlnné soupravy TESLA MS 01. Původní výuková pomůcka sice představovala základ pro demonstraci vlastností elektromagnetického vlnění, avšak její řešení napájení bylo zastaralé. Původní sestavě navíc zcela chyběla optická lavice, což dříve velmi komplikovalo přesné zaměřování a polohování antén během měření. Cílem bylo tento stav napravit, navrhnout adekvátní technická řešení a následně vytvořit sadu praktických úloh, které prokáží plnou funkčnost zrenovovaného zařízení. Lze konstatovat, že všechny stanovené cíle práce byly úspěšně splněny.

Prvním a z technického hlediska nejnáročnějším úkolem byla náhrada zastaralých napájecích zdrojů Tesla BK 127. V rámci práce byl úspěšně navržen a sestaven komplexní napájecí zdroj. Toto moderní řešení sdružuje veškeré potřebné napájecí obvody pro mikrovlnný vysílač i přijímač do jednoho kompaktního celku, čímž se výrazně zjednodušila manipulace se soupravou a zvýšila se bezpečnost při měření. Dále se podařilo úspěšně vyřešit i mechanickou stránku experimentů – byla vyrobena optická lavice s posuvnými jezdci a upevňovacími prvky, která umožňuje přesné a plynulé nastavování polohy jednotlivých komponent.

Dosažené výsledky a plná funkčnost nového hardwaru byly následně ověřeny v praktické části práce. Zpracované byly čtyři laboratorní úlohy zaměřené na vlastnosti mikrovlnného záření v centimetrovém pásmu. Během reálných měření souprava potvrdila předpokládané teoretické jevy s vysokou mírou přesnosti.

Průchod elektromagnetické vlny: Praktickým měřením bylo ověřeno, že mikrovlny volně prostupují dielektrickými materiály, zatímco kovové překážky jejich průchodu zcela zabrání.

Odraz vlnění: Porovnáním odrazivosti různých materiálů bylo potvrzeno, že elek-

tricky vodivý hliník odráží mikrovlny s nejvyšší účinností (funguje jako zrcadlo), zatímco u dielektrik, jako je organické sklo či tvrzená tkanina, je odražený signál znatelně slabší vlivem částečné propustnosti a absorpce.

Důkaz polarizace: Pomocí kovové mřížky i vzájemného natáčení antén bylo jednoznačně prokázáno, že generované záření je lineárně polarizované.

Stojatá vlna: Naměřením přesných hodnot napětí v závislosti na vzdálenosti antén byl demonstrován vznik stojatého vlnění.

Z hlediska budoucího využití se otevírá široký prostor pro další rozšiřování soupravy i samotné výuky. Prezentovaný soubor laboratorních úloh představuje pouze zlomek možností, které zrenovovaná sestava nabízí. V praxi lze vytvořit a změřit desítky dalších experimentů. U nich by se studenti mohli zaměřit na detailní a komplexní zpracování naměřených dat, tvorbu přehledných tabulek a následné vyhodnocování závislostí pomocí grafů.

Na to přímo navazuje i možnost technického vylepšení. Z mechanického hlediska by bylo možné pomocí 3D tisku vyrobit další pasivní příslušenství, například další dielektrické čočky nebo různé hranoly. Z hlediska elektroniky pak nabízí systém obrovský potenciál pro celkovou digitalizaci měření. Stávající indikační přístroje by mohly být v budoucnu nahrazeny mikrokontrolérem (např. platformou Arduino), který by automaticky zaznamenával hodnoty napětí a polohy přijímače. Tím by se studentům výrazně usnadnil sběr dat do tabulek a získali by možnost vykreslovat požadované grafy v reálném čase přímo na monitoru počítače.

Realizace tohoto projektu propojila teoretické poznatky s cennou praktickou zkušeností v oblasti návrhu elektronických obvodů, mechanické konstrukce a samotného fyzikálního měření. Lze věřit, že revitalizovaná souprava TESLA MS 01 bude škole sloužit ještě řadu let a usnadní mnoha dalším studentům pochopení problematiky elektromagnetických vln.

Literatura

- BĚLOHRADSKÝ, V. (1995), ‘Pokusy s mikrovlnnou soupravou’, (Diplomová práce), Technická univerzita v Liberci.
- HVĚZDÁRNA VALAŠSKÉ MEZIŘÍČÍ (2012), *Stručný úvod do spektroskopie* [online]. [cit. 2026-08-09], [⟨https://www.astrovm.cz/spektroskopie.pdf⟩](https://www.astrovm.cz/spektroskopie.pdf).
- KADLČÁK, J. A PROSTECKÝ, M. (1996), *Požadavky ke zkouškám operátorů amatérských radiových stanic*, Český radioklub. ISBN 80-902161-0-2.
- MAŤÁTKO, J. (2012), *Elektronika*, Praha: IDEA SERVIS. ISBN 978-80-85970-64-7.
- REICHL, J. A VŠETIČKA, M. (2006), *Encyklopedie Fyziky* [online]. [cit. 2026-08-10], [⟨http://fyzika.jreichl.com/⟩](http://fyzika.jreichl.com/).
- STMICROELECTRONICS (1998), *TDA2030: 14W Hi-Fi Audio Amplifier* [online]. [cit. 2026-08-10], [⟨https://www.alldatasheet.com/tda2030.html⟩](https://www.alldatasheet.com/tda2030.html).
- TEXAS INSTRUMENTS (2003a), *LM7815 Series 3-Terminal Positive Regulators* [online]. [cit. 2026-08-10], [⟨https://www.alldatasheet.com/lm7815.html⟩](https://www.alldatasheet.com/lm7815.html).
- TEXAS INSTRUMENTS (2003b), *LM7915 Series 3-Terminal Negative Regulators* [online]. [cit. 2026-08-10], [⟨https://www.alldatasheet.com/lm7915.html⟩](https://www.alldatasheet.com/lm7915.html).

Příloha A

Obsah přiloženého DVD

K této práci je přiloženo DVD s následující adresářovou strukturou.

- Absolventská práce v $\text{\LaTeX}$ 2_ε
- Fotodokumentace
- Manuály
- Schéma zapojení elektroniky
- Výkresová dokumentace
- Kolar_AP_2025_2026.pdf – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

AutoCAD 2026 $\langle$ <https://www.autodesk.com/cz/products/autocad/overview> $\rangle$

EAGLE 7.7.0 $\langle$ <https://www.autodesk.com/products/eagle/> $\rangle$

Draw.io $\langle$ <https://app.diagrams.net/> $\rangle$

GravoStyle V8 $\langle$ <https://www.gravotech.com/> $\rangle$

L^AT_EX 2 ϵ $\langle$ <http://www.miktex.org/> $\rangle$

TeXstudio $\langle$ <http://www.texstudio.org/> $\rangle$

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný (Open Source / Freeware), nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor toho času studoval a vytvořil tuto práci.

Příloha C

Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
nastudování informací k AP	2 týdny	01.12.2025	01.12.2025
popis struktury a technický popis soupravy	1 týden	07.12.2025	13.01.2026
předělání schémat vysílače a přijímače	1 měsíc	07.01.2026	30.03.2026
výroba optické lavice	2 měsíce	07.03.2026	02.06.2026
povrchová úprava optické lavice	1 týden	14.03.2026	23.06.2026
výroba sondy, zesilovače a zdroje	1 měsíc	14.04.2026	20.05.2026
tvorba úloh	1 týden	21.04.2026	28.06.2026
AP: kompletní text	1 měsíc	21.05.2026	10.08.2026

Příloha D

Schémata zapojení

Tato příloha obsahuje kompletní dokumentaci elektronických obvodů a technických výkresů mikrovlnné soupravy TESLA MS 01. Jedná se o elektronická schémata vysílače, přijímače, napájecího zdroje a zesilovače, která byla vygenerována z návrhového prostředí EAGLE 7.7.0. A technické výkresy optické lavice byly tvořeny v prostředí AutoCAD 2026.

