



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra biomedicínské techniky

Návrh a realizace funkčního vzorku FM UWB radaru v laboratorních podmínkách

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Mikuláš Lichtenberg

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Kučera

Kladno 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Mikuláš Lichtenberg**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Návrh a realizace funkčního vzorku FM UWB radaru v laboratorních podmínkách**
Téma anglicky: Design and Development of Functional Sample of FM UWB Radar in Laboratory Conditions

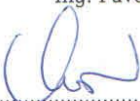
Zásady pro vypracování:

Popište princip funkce frekvenčně modulovaného UWB radaru pro snímání srdeční frekvence. Uvedte též legislativní a fyzikální omezení takového UWB radaru. Proveďte srovnání jednotlivých HW koncepcí a to včetně nízkopříkonového zapojení. Navrhněte schéma základního FM UWB radaru. Navržený radar realizujte a v laboratorních podmínkách ověřte jeho funkčnost.


Seznam odborné literatury:

- [1] B. Gupta, D. Valente, E. Cianca, and R. Prasad, FM-UWB for radar and communications in medical applications, roc. 1st Int. Symp. Appl. Sci. Biomed. and Commun. Technol., ISABEL'08, ročník 1, číslo 1, 2008, 1-5 s.
- [2] Igor Immoreev, Teb-Ilo Tao, UWB Radar for Patient Monitoring, IEEE A&E SYSTEMS MAGAZINE, ročník 1, číslo 1, 2008, Listopad
- [3] Nao Shimomura, Stepped-FM UWB Sensor System for Health-care Support, 2013 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), ročník 1, číslo 1, 2013
- [4] Gregory L. Charvat, Small and Short-Range Radar Systems, ed. 1, CRC Press, 2014, 427 s., ISBN 9781439865996

zadání platné do: 11.09.2016
Vedoucí: Ing. Lukáš Kučera
Konzultant: Ing. Pavel Smrčka, Ph.D.


.....
vedoucí katedry / pracoviště

l. s.


.....
děkan

V Kladně dne 23.02.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem:

„Návrh a realizace funkčního vzorku FM UWB radaru v laboratorních podmínkách“

vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k závěrečné zprávě.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 19. 5. 2016

.....

Mikuláš Lichtenberg

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Lukášovi Kučerovi za čas, rady, ochotu a podporu, kterou mi poskytoval při práci na této bakalářské práci, zároveň bych rád poděkoval Ing. Tomáši Veselému a Ing. Pavlovi Smrčkovi, Ph.D. za poskytnuté rady ve chvílích bezradnosti.

Název bakalářské práce:

Návrh a realizace funkčního vzorku FM UWB radaru v laboratorních podmínkách

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem, realizací a laboratorním ověřením základní funkčnosti FM-UWB radaru. Dále řeší jeho fyzikální a legislativní omezení, vybírá jednotlivé součástky a antény pro UWB radar.

Klíčová slova

UWB, radar, frekvenční modulace, detekce tepové frekvence, bezkontaktní monitoring

Bachelor's Thesis title:

Design and development of functional sample of FM UWB radar in laboratory conditions

Abstract

Bachelor thesis is presenting a desing and realization of FM UWB radar sample and verifying it's function. Furthermore it aresses it's physical and legislative litimations, chooses it's components and antenas for UWB radar.

Keywords

UWB, radar, frequency modulation, heart rate detection, contactless monitoring

Obsah

Seznam obrázků.....	2
Seznam zkratk.....	5
Úvod	6
1. UWB technologie	7
2. Přehled současné problematiky UWB radarů.....	10
3. Druhy UWB radarů a jejich legislativa	17
3.1. IR UWB radar	18
3.2. Random noise UWB radar	19
3.3. FM UWB radar.....	19
4. Návrh UWB radaru pro snímání tepové frekvence.....	20
5. Realizace	26
5.1. Antény.....	47
6. Ověření funkčnosti UWB radaru.....	54
7. Diskuze	67
Závěr	68
Zdroje	69
Přílohy	76

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Zobrazení závislosti času, S/Š a šířky pásma UWB systémů.....	8
Obr. č. 2: Spektrální masky dle CEPT, FCC a Japonska.....	18
Obr. č. 3: Schéma průběhu signálu v FM UWB radaru.....	21
Obr. č. 4: Obecné blokové schéma zapojení UWB radaru.....	22
Obr. č. 5: Příklad konkrétního schématu FM UWB radaru	22
Obr. č. 6: Útlumový článek.....	24
Obr. č. 7: Schéma pro součástku SI52112-B5.....	26
Obr. č. 8: Hotový tištěný spoj pro součástku SI52112-B5.....	27
Obr. č. 9: Schéma pro součástku MAX2871.....	28
Obr. č. 10 Hotový tištěný spoj pro součástku MAX2871.....	29
Obr. č. 11: Schéma pro součástku AG201-63G.....	30
Obr. č. 12: Hotový tištěný spoj pro součástku AG201-63G	30
Obr. č. 13: Schéma pro součástku AG203-63G	31
Obr. č. 14: Hotový tištěný spoj pro součástku AG203-63G	31
Obr. č. 15: Schéma pro součástku AG503-63G.....	32
Obr. č. 16: Hotový tištěný spoj pro součástku AG503-63G	32
Obr. č. 17: Schéma pro součástku AVT-51663-TR1G.....	33
Obr. č. 18: Hotový tištěný spoj pro součástku AVT-51663-TR1G	33
Obr. č. 19: Schéma pro součástku MGA-545P8.....	34
Obr. č. 20: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-545P8.....	34
Obr. č. 21: Schéma pro součástku MGA-62563.....	35
Obr. č. 22: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-62563.....	35
Obr. č. 23: Schéma pro součástku MGA-64135.....	36
Obr. č. 24: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-64135.....	36
Obr. č. 25: Schéma pro součástku MGA-71543.....	37
Obr. č. 26: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-71543.....	37
Obr. č. 27: Schéma pro součástku MGA-82563.....	38
Obr. č. 28 Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-82563.....	38
Obr. č. 29: Schéma pro součástku RF3376.....	39
Obr. č. 30: Hotový tištěný spoj pro součástku RF3376.....	39
Obr. č. 31: Schéma pro součástku VMMK-2203.....	40
Obr. č. 32: Hotový tištěný spoj pro součástku VMMK-2203.....	40

Obr. č. 33: Schéma pro součástku VMMK-2503.....	41
Obr. č. 34: Hotový tištěný spoj pro součástku VMMK-2503.....	41
Obr. č. 35: Schéma pro součástku CP0603AXXXXANTR.....	43
Obr. č. 36: Hotový tištěný spoj pro součástku CP0603AXXXXANTR.....	43
Obr. č. 37: Schéma pro součástku LTC5510.....	44
Obr. č. 38: Hotový tištěný spoj pro součástku LTC5510.....	44
Obr. č. 39: Jednotlivé propojené moduly UWB radaru 1.....	46
Obr. č. 40: Jednotlivé propojené moduly UWB radaru 2.....	46
Obr. č. 41: Spirální antény.....	47
Obr. č. 42: Foto Zítovy antény.....	48
Obr. č. 43: Anténa navrhovaná Marindrou.....	49
Obr. č. 44: Foto Marindrových antény.....	49
Obr. č. 45: Kumarova anténa „Svastika“.....	50
Obr. č. 46: Kumarova anténa „V“.....	51
Obr. č. 47: Foto Kumarových antén.....	51
Obr. č. 48: Klemmova anténa č. 1.....	52
Obr. č. 49: Klemmova anténa č. 2.....	52
Obr. č. 50: Foto Klemmovy antény č. 1.....	53
Obr. č. 51: Foto Klemmovy antény č. 1.....	53
Obr. č. 52: Ověřovací aparatura.....	54
Obr. č. 53: Ověření součástky SI52112-B5.....	55
Obr. č. 54: Výsledný signál součástky SI52112-B5.....	55
Obr. č. 55: Ověření součástky MGA-64135.....	56
Obr. č. 56: Výsledný signál součástky MGA-64135.....	56
Obr. č. 57: Ověření součástky VMMK-2503.....	57
Obr. č. 58: Výsledný signál součástky VMMK-2503.....	57
Obr. č. 59: Ověření součástky VMMK-2203.....	58
Obr. č. 60: Výsledný signál součástky VMMK-2203.....	58
Obr. č. 61: Ověření součástky MGA71543.....	59
Obr. č. 62: Výsledný signál součástky MGA71543.....	59
Obr. č. 63: Ověření součástky AG201-63G.....	60
Obr. č. 64: Výsledný signál součástky AG201-63G.....	60
Obr. č. 65: Ověření součástky AG503-86G.....	61

Obr. č. 66: Výsledný signál součástky AG503-63G.....	61
Obr. č. 67: Ověření součástky MGA-62563.....	62
Obr. č. 68: Výsledný signál součástky MGA-62563.....	62
Obr. č. 69: Ověření součástky RF3376.....	63
Obr. č. 70: Výsledný signál součástky RF3376.....	63
Obr. č. 71: Ověření součástky AG203-63G.....	64
Obr. č. 72: Výsledný signál součástky AG203-63G.....	64
Obr. č. 73: Ověření součástky MGA82563.....	65
Obr. č. 74: Výsledný signál součástky MGA82563.....	65
Obr. č. 75: Ověření základního zapojení UWB radaru.....	66
Obr. č. 76: Výsledný přijímaný signál základního zapojení UWB radaru.....	66

Seznam zkratek

UWB	– ultra wide band	– širokopásmový (radar)
FM	– frequency modulated	– frekvenčně modulovaný (radar)
IR	– Impulse response	– odpovídající na impuls (radar)
CMOS	– Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	– doplňující se kov-oxid-polovodič
FCC	– Federal communications commision	– federální komise pro komunikaci
A/D	– analog –to- digital	– analogově – číslicový

Úvod

Důvodem výběru mého tématu byl zájem pokračovat ve spolupráci s detašovaným pracovištěm fakulty na Albertově, kde jsem již dříve dokončil semestrální projekt a týmový projekt. Téma UWB radarů je aktivně řešeno na pracovišti a tato bakalářská práce je jeho součástí.

Cílem práce je seznámit se s technickými parametry, omezeními a možnostmi využití UWB radarů v biomedicínském inženýrství, zpracovat konceptuální návrh dílčích částí UWB radaru pro snímání tepové frekvence, dále konkrétní návrh FM UWB radaru, jeho realizace a ověření.

Při studii jednotlivých metod měření srdeční frekvence je třeba zmínit, že většina kontinuálních a v praxi používaných metod je zaměřena na kontaktní měření srdeční frekvence za pomoci EKG svodů, hrudních pásů, či fotopletysmografické sondy a tudíž omezuje pacienta v komfortu a pohybu při jejich sledování. Výjimku tvoří snímání tepové frekvence za pomoci snímání pacienta infračervenou kamerou, nebo využití kamerového záznamu a následné Fourierovy transformace barevných součástí obrazu, zejména zeleného [1]. Využití těchto metod nepřináší stejné problémy jako kontaktní měření, ale má také svá omezení, zejména nemožnost měřit veličiny v reálném čase a nutnost zachovat pacienta v klidu.

UWB technologie představuje významný posun v detekci životních funkcí především co se týká pohodlí pacienta – jedná se o bezdrátovou technologii, která nevyžaduje přímý tělesný kontakt s pacientem a proto mu umožňuje volný pohyb po pokoji. Další výhodou je její prokázaná zdravotní nezávadnost díky malé vyzařované energii v celém frekvenčním pásmu.

1. UWB technologie

V následující kapitole osvětluji UWB technologii, představuji její využití v Biomedicínském inženýrství a porovnávám jí s dalšími metodami sledování tepové frekvence.

UWB technologie se dá využít k několika účelům a to snímání dat, přenášení informací detekci vzdálenosti a detekci směru. UWB zařízení přenáší informace v širokém pásmu (>500 MHz) a umožňuje rychlý přenos informací na krátké vzdálenosti. Největší výhodou této technologie je malá vyzařovaná energie (-41,3 dBm/MHz pro rozsah 3,1 až 10 GHz), malá spotřeba energie a dobrá propojitelnost s již existujícími technologiemi. Snímání pomocí UWB radarů probíhá na podobném principu jako u klasických radarů a to sice na zachytávání odražených vln. Měřením jejich zpoždění lze určit vzdálenost překážky, díky Dopplerově jevu lze určit směr a rychlost pohybu sledovaného objektu. Sledování tepové frekvence je možné díky pohybu srdce, který vytváří dopplerův jev na odražených vlnách. Jednotlivé technologie UWB radarů rozebírám v dalších kapitolách. UWB radary se v medicíně experimentálně ve formě příspěvků objevují až posledních pár let, přesto byly pokusy s radary zahájeny již v roce 1970 [1], ale z důvodu nedostatečně rozvinuté technologie a legislativních omezení bylo od nich upuštěno.

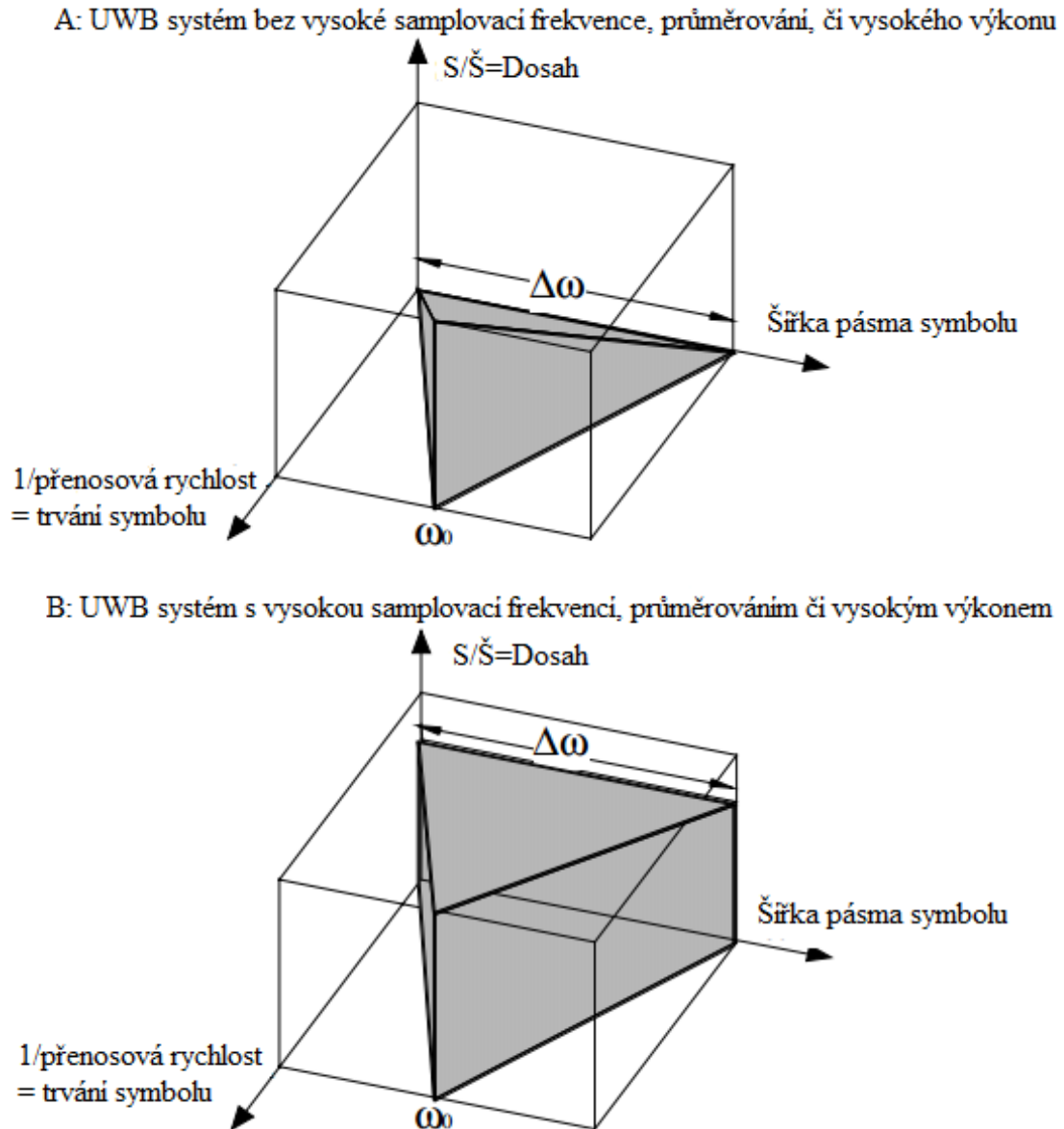
První zaznamenané použití UWB radaru v medicíně bylo v roce 1993 [4]. Americké patenty zdůrazňují, že použitý výkon ($1\mu\text{W}$) je zhruba o třetinu nižší než většina mezinárodních standardů pro vystavování lidí mikrovlnným zařízením, což dělá UWB radar medicínsky nezávadným [5]. První pokusy použít UWB radar pro detekci srdeční frekvence byly provedeny na univerzitě Tor Vergata [3]. Prototyp je založen na propagačním modelu, který zahrnuje tloušťku, impedanci, lineární útlum a rychlost vlny šesti vrstvami tkáně.

Na obrázku č. 1 v sekci A je možno vidět závislost šířky pásma, trvání a maximální intenzity pulzu (vyjádřené v poměru signál/šum – S/Š). Přičemž když se snižuje doba trvání pulzu, zvyšuje se přenos a S/Š se s frekvencí snižuje. Navíc se S/Š snižuje na hodnotu pod limit frekvenčně selektivních přijímačů, díky čemuž mohou UWB systémy pracovat v prostředí těchto přijímačů bez rušení. Metody pro přijímání tohoto signálu jsou popsány v části B obrázku č. 2 a jsou to tyto:

1. Rychlosamplující přijímač, zachycující nesynchronní podobu celé energie signálu v minimálním počtu samplů.
2. Průměrování signálu nebo jeho filtrace, které snižuje množství dat

- Zvýšení síly signálu do takové míry, které může způsobit rušení s ostatními elektronickými systémy.

UWB systém jako celek mění délku pulzu za šířku pásma a poměr signálu a šumu.[2]



Obrázek č. 1: Zobrazení závislosti času, S/\bar{S} a šířky pásma UWB systémů.[2]

Dalším důležitým parametrem je fakt, že u UWB radarových systémů je délka pulzu kratší než cíl, zatímco u klasických radarů, které používají pulz delší než cíl, je tento cíl rozptylujícím bodem u UWB radarů používajících impulzy kratší než cíl, se jejich signál rozloží do jednotlivých rozptýlení mikro-komponentů cíle a může být vyjádřen maticí rozptýlení. Navíc v závislosti na poměru velikosti signálu a cíle mohou vznikat tři druhy odrazů:

1. Brzká (optická) odpověď
2. Rezonanční odpověď
3. Pozdní odpověď

Zatímco brzká odpověď je závislá na vlastnostech cíle, rezonanční a pozdní odpovědi jsou nezávislé na vlastnostech cíle při uvažování harmonických komponentů v odpovědi cíle a zároveň závislé ve velikosti amplitudy těchto odpovědí. Každý mikro-komponent, skládající dohromady makro-odpověď může obsahovat všechny tři tyto odpovědi v matici rozptýlení, rozdělené časově. [2]

2. Přehled současné problematiky UWB radarů

V této kapitole jsem se zaměřil na rešerši současného stavu problematiky UWB radarů. Čerpal jsem především ze zahraničních vědeckých a odborných článků. Zdrojem těchto článků byly hlavně databáze IEEExplore a ACM. Jednotlivé články pocházejí z let 2002 až 2014.

Ultra nízko-napěťové UWB pro kontinuální biomedicínské bezdrátové monitorování

Článek pojednává o využití polovodičových senzorů v biomedicíně, jejich miniaturizaci, náhradu kabelů jinými přenosovými možnostmi, náhradu dlouhodobého monitorování EKG za pomoci pulzního UWB radaru. Největší problém představuje podle autorů napájení bezdrátového systému [12].

UWB radar pracující v rámci legislativy FCC pro detekci srdeční a dechové frekvence přes zeď

Článek pojednává o využití UWB radarů pro medicínské monitorování v pásmu vymezeném americkou komisí pro komunikaci (3,1 GHz až 10,6 GHz) s pracující s energií -41 dbm/MHz. Článek dále řeší detekci lidského těla přes zeď s výsledky podporujícími možnost využití radaru i pro detekci mimo přímou viditelnost radaru [13].

Implementace a analýza odhadu dechové frekvence s použitím impulzního UWB

Článek se zabývá detekcí srdeční a tepové frekvence za pomoci impulzního UWB radaru při přítomnosti překážek mezi radarem a cílem. Článek se snaží vytvořit základ pro tvorbu filtračních algoritmů umožňující detekci tepové a srdeční frekvence a jejich interpretaci s co nejmenším rušením. Článek řeší matematické vyjádření filtrace signálu [14].

Studie proveditelnosti nízkonákladového UWB pulzního radaru na silikonovém čipu pro monitoring srdce

Článek řeší možnost integrace UWB radaru do za pomoci 90 nm CMOS technologie a dále cenu a možnost instalace tohoto senzoru na zdi (nemocnice). Výsledky simulací ukázaly, že

cena a využitelnost tohoto řešení je výhodná a může být použita pro monitorování pacientů [15].

Nositelný systém UWB radaru pro zdravotnictví a jeho využití v zlepšení bezpečnosti záchranářů

Článek se zabývá integrací UWB radaru na čipu (viz [6]) a vysílání přenosu signálu za pomoci radiového modulu. Je navrženo umístění modulů na lidské tělo a vyřešeno umístění antén a napájecího systému. Signál vytvářený UWB radarem odpovídá americké legislativě (FCC). Článek vidí využití tohoto řešení například při monitorování záchranářů v nebezpečném prostředí [16].

Stabilizace vzorce UWB antény na tištěném spoji

Článek řeší stabilizaci signálu a impedance za pomoci antény na tištěném plošném spoji za použití jednoduchého čtyřúhelníkového vysílače. Článek nabízí řešení rušení pro nižší UWB pásmo (3,1 až 5 GHz) a obsahuje konfiguraci antén pro radary s úzce zaměřeným paprskem [17].

Odhad lidské dechové frekvence s použitím na těle nošeného UWB radaru

Článek navrhuje využití UWB systému pro monitorování vitálních funkcí za pomoci jednoduchého systému připnutého buď k oblečení, či peřinám monitorované osoby. Článek navrhuje využití jednoduché a levné látkové UWB antény. Článek dále simuluje připojení tohoto systému a jednoduchý algoritmus na detekci srdečních a dechových frekvencí [18].

UWB 3,1 – 10,6 GHz CMOS vysílač pro pulzní radary

Článek navrhuje stavební bloky pro vysílač UWB radaru na čipu a minimálními napájecími požadavky (kategorie nano-power). Generátor vytváří monocyklické pulzy s trváním 250 ps a 1V peak to peak amplitudou. Generátor tvoří sinusoidní monocykly a je aktivován zápornou hranou aktivačního signálu z mikrokontroleru. Tato aktivace může být zdržena o 1 až 3 ns. v 32 různých úrovních [19].

Optimalizační kritéria designu medicínských UWB radarů v souladu s regulačními požadavky

Článek popisuje metody výběru parametrů pro pulzní UWB radar pro detekci srdeční a dechové frekvence tak, aby vybrané parametry – frekvence, vyzařovaná energie a šířka pásma, byly v hranicích stanovených legislativou FCC. Dále je nalezena vzorkovací frekvence a časy, kdy je třeba monitorovat vracející se signál [20].

Uniplanární UWB anténa pro UWB systémy

Článek popisuje vývoj a výrobu uniplanární antény pro frekvence 3,1 ž 10,6 GHz. Anténa překonává problém vzájemného rušení při propojení vysílače a antény a dokáže přenášet dostatek dat na použití s UWB radarem, má lineární charakteristiku a rozměry 1,2 palce na 1,4 palce, tloušťku 0,025 palce a relativní dielektrickou konstantu 10,2. Její plochá konstrukce je vhodná pro využití s integrovanými UWB radary [21].

Neinvazivní monitoring dechu s použitím IR-UWB radaru

Článek využívá UWB IR systému pro měření vitálních funkcí za pomoci dvou antén. Dále vyzdvihuje ekologickou nenáročnost UWB radaru, díky jeho minimálním elektromagnetickým emisím. Článek dále navrhuje frekvence, přenos, sílu vysílání a anténu tohoto UWB radaru. Článek také definuje frekvence, na kterých je možné detekovat dechový rytmus bez použití vysokorychlostního AD převodníku a navíc umožňuje monitorování více pacientů najednou [22].

UWB radar pro monitorování pacientů

Článek představuje kompletní UWB systém realizovaný za pomoci „trychtýřové“ antény, srovnává jeho přesnost s klasickým měřením EKG a dechové frekvence. Zabývá se časovou odchylkou detekce UWB radarem od detekce za pomoci elektrod, která je způsobena časovou prodlevou mezi vznikem potenciálu v srdci a jeho pohybem. Po časové korekci bylo zjištěno, že hodnoty spolu souhlasí z cca 97% pravděpodobností [23].

Nový FM UWB systém pro monitoring životních funkcí a jeho porovnání s IR UWB

Článek navrhuje řešení monitorování pacientů za pomoci FM UWB radaru a srovnává tento systém s IR UWB radary. Výsledky srovnání ukazují, že FM UWB radar (kontinuální) může dosahovat stejných výsledků jako IR UWB radar při použití nižšího výkonu a tudíž i nižší spotřeby elektrické energie. Výsledky dále potvrzují, že FM UWB radar je schopen dosáhnout rozlišení v řádu milimetrů, což je dostatečné pro monitorování životních funkcí [24].

UWB radar pro detekci pohybu

Článek využívá pulzní UWB radar k detekci dechové frekvence člověka a psa přes překážky. (1 až 3 železobetonové zdi). Navržené algoritmy za pomoci FFT zobrazují spektrum signálu a dechová frekvence se ukazuje jako vysoký pík ve frekvenční charakteristice na 0,5 Hz. Tento článek se nezabývá monitorováním životních funkcí, pouze jejich detekcí a jeho využití je např. při závalech [25].

Designové problémy při monitorování životních funkcí IR-UWB radarem

Článek pojednává o využití frekvenčních zádrží v rozmezí od 1 do 3 Hz pro zjednodušení rozlišení dechové a tepové frekvence detekované IR UWB radarem. Článek navrhuje algoritmus, který dokáže rozlišit mezi jednotlivými blízkými frekvencemi [26].

Všechno, co jsi vždycky chtěl vědět o UWB radaru

Článek popisuje kompletní design prototypu UWB radaru včetně popisu jednotlivých součástí, zapojení, využití a blokových schémat. Článek také popisuje výrobu antén, jejich ladění a ozkoušení UWB radaru [27].

UWB radary v medicíně

Článek řeší využití UWB radarů v biomedicíně, udává impedance jednotlivých tkání a jejich relaci k UWB radarům. Navrhuje využití pro monitorování kojenců a nemocničních pacientů.

Dále navrhuje připojení místo antény infračervenou diodu a místo přijímače fotodiodu. Při tomto zapojení je možné sledovat procesy probíhající v lidské lebce (saturace kyslíkem – jako funkce činnosti mozkových center) bez potřeby použití jiných zobrazovacích systémů [27].

Textilní UWB antény pro bezdrátové tělové sítě

Článek představuje textilní anténu kompatibilní s UWB radary. Probírá její přenosovou a vysílací charakteristiku. Výhody jsou flexibilita, velmi malá tloušťka a možnost integrace např. do povlečení nemocničních lůžek, či přímo do oblečení [28].

UWB radar pracující v rámci omezení FCC pro sledování tepové a dechové frekvence

Článek využívá UWB radaru o frekvencích mezi 3.1 až 10.6 GHz při -41 dmb/Mhz pro snímání tepové a dechové frekvence a jeho využití při snímání tohoto radaru pro sledování parametrů přes zeď [35].

Generátory Gaussových pulsů pro UWB vysílače

Článek představuje výpočty pro odhadování měřeného spektra pro silno a slabo pulsné UWB vysílače pro frekvence od 3.1 GHz do 10.6 GHz [36].

Přehled medicínské UWB literatury

Článek podává přehledně historii sledování tepové a dechové frekvence, UWB radarů a využití klasických radarů pro medicínské účely [37].

Analýza a simulace algoritmů pro detekci životních funkcí za pomoci UWB radaru

Článek představuje teoretické modely pro monitorování tepové a dechové frekvence při použití UWB radaru. Soustředí se na zdůraznění efektu relevantních parametrů, jako například vzorkovací frekvenci a schopnost extrahovat užitečná data z přijímaných signálů [38].

Přesný a robustní algoritmus pro detekci tepové a dechové frekvence při použití IR-UWB radaru.

Článek představuje přesný a robustní algoritmus pro detekci tepové a dechové frekvence při použití IR-UWB radaru ve frekvencích od 3.6 GHz pro použití v rušném prostředí bez jakéhokoliv absorbování signálu [39].

Stabilizace signálu UWB antény na tištěném spoji

Článek představuje pseudo-monopólní anténu na tištěném spoji pro stabilizaci UWB signálu, za použití jednoduchého trojúhelníkového vysílače [40].

Celosvětový přehled a standardizace UWB technologie

Článek se zabývá detailním přehledem současného stavu UWB regulace a její světové standardizace, shrnuje současné nároky a produkty, vydané po světě a navrhuje, jak harmonizovat jednotlivé požadavky [41].

Neinvazivní sledování dechové frekvence za použití IR UWB radaru

Článek vyzdvihuje využití IR UWB radarů pro detekci dechové frekvence z důvodu možnosti využít jej při sledování pacientů pod pokrývkami a bez nutnosti fyzického připojení [42].

Jednoduchý bezdrátový systém pro sledování dechových pohybů za použití IR-UWB odhadů.

Článek představuje jednoduché schéma pro bezdrátové sledování dechových pohybů u lidí, překonává problémy vysoké úrovně šumu k signálu a navrhuje možnosti jak zabránit šumu v pozadí [43].

Adaptabilní algoritmus pro zpracování signálu pro dálkovou detekci srdeční frekvence za použití UWB vln založené na principiální analýze komponentů

Článek se zabývá specifickým algoritmem pro detekci tepové frekvence u lidí za použití adaptabilního filtru namísto statického. Algoritmus je schopen detekovat změny v srdeční frekvenci a přizpůsobit filtr jejím změnám [44].

Nová rugbyová anténa pro krátko-dosahové UWB radarové systémy.

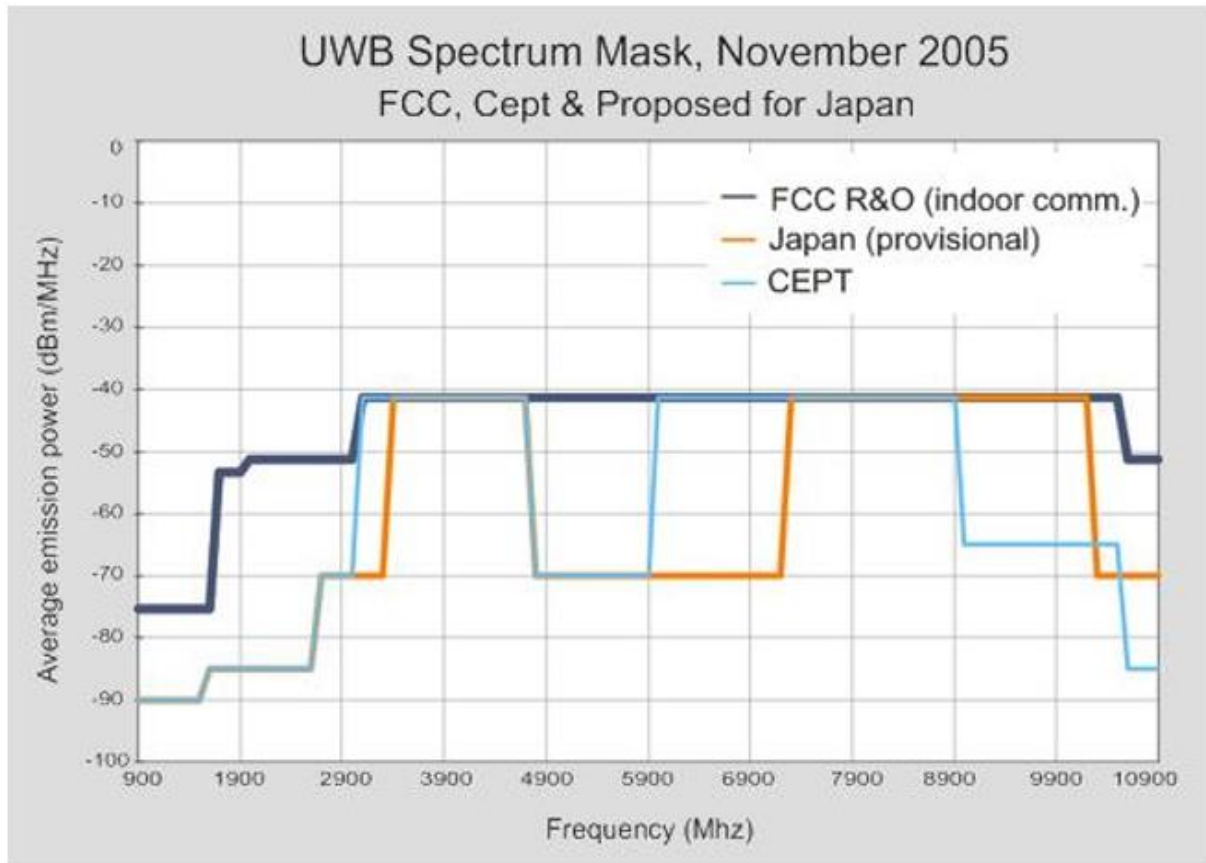
Článek představuje design a výkonové charakteristiky pro monostatický UWB radarový systém, který obsahuje novou anténu ve tvaru rugbyového míče, pracující na frekvencích od 0.1 do 20 GHz [45].

3. Druhy UWB radarů a jejich legislativa

V následující kapitole představuji jednotlivé druhy UWB radarů, shrnuji jejich využitelnost a představuji legislativu, jenž je upravuje.

Výsledky analýzy současného stavu ukázaly, že se zatím podařilo vyvinout UWB radar založený na třech principech, které rozebírám v dalších kapitolách. Jednotlivé koncepce UWB radarů se objevují v literatuře již od roku 1980[3], avšak realizace těchto technologií byla omezena legislativně, hlavně americkou FCC, která v roce 2002 povolila nelicencované využití frekvenčního pásma 3,1 – 10,6 GHz pro UWB vysílače a stanovila omezení jejich hustoty výkonu na $-41,3\text{dBm/MHz}$, přičemž jako UWB vysílače jsou definovány přístroje, které vysílají s šířkou pásma, alespoň 500 MHz, nebo o 20 % střední frekvence [30]. Při pohledu na UWB technologie je zřejmé, že musí zasahovat do již používaných technologií (WI-FI, GSM), byly proto definovány spektrální masky limitující výkon v daném frekvenčním pásmu.

Česká republika jako člen EU se musela podřídit nařízení CEPT ERC/REC 70-03, které upravuje UWB technologii a učinila tak v roce 2014, všeobecným oprávněním Českého telekomunikačního úřadu VO-R/10/05.2014-3 [31].



Obrázek č. 2: Spektrální masky dle CEPT, FCC a Japonska [48]

3.1. IR UWB radar

IR UWB radar, neboli impulse – response UWB radar, je UWB radar, který pro detekci hledaných veličin používá velmi krátké impulzy (zpravidla o délce jedné pikosekundy), přičemž využívá Gaussovského signálu, či jeho derivace [6]. Výhodou je možnost použít tyto radary i na velmi rychle se pohybující cíle, které by u FM – UWB radaru způsobily posunutí a zkreslení přijatých frekvencí díky Dopplerově jevu – u velmi rychle se pohybujících cílů se mísí Dopplerův efekt vzniklý z rychlosti cíle a Dopplerův efekt vzniklý vnitřními pohyby (např. tlukot srdce, pohyb plic) a dochází k posunutí detekované pozice vůči skutečné. [7].

Nevýhodou je nutnost vzorkovat vracející se signál velmi vysokými frekvencemi – pro navrhovaný radar vysílající v pásmu 2,3 až 6 GHz se tato frekvence na základě Kotelnikova teorému pohybuje od 5,6 až 12 GHz, což se v současné době pohybuje mimo hranice realizace.

3.2. Random noise UWB radar

Druhou možností jak realizovat UWB radar je využití random noise UWB radar. Tento typ radaru nejprve vygeneruje náhodný šum, který vyšle anténou a vzniklé odrazy zachytává a porovnává spektra vyslaného a přijatého signálu. Tyto radary poskytují dobré rozlišení a detekční schopnost a jejich využití se dá najít především při detekci lidského těla za překážkou (např. při závalech), ovšem jejich výroba je nesmírně složitá z důvodu nutnosti přesné výroby random noise generátoru a k němu korespondujícího přijímače [8].

3.3. FM UWB radar

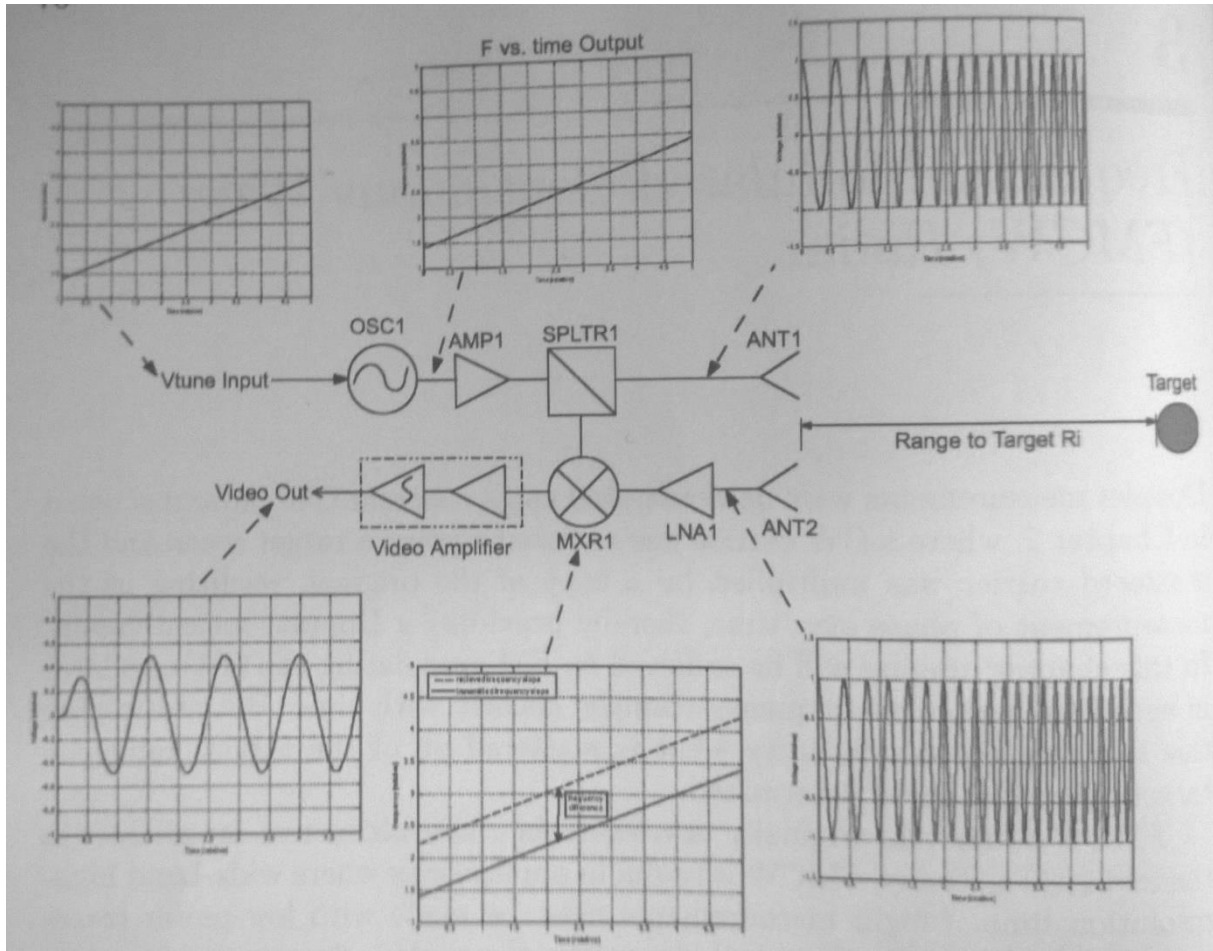
Poslední možností jak realizovat UWB radar je použít frekvenčně modulovaný UWB radar. Tato koncepce využívá Dopplerova efektu vzniklého při odražení vyslané vlny od pohybujícího se tělesa, v našem případě se jedná o srdce a hrudník pacienta. Při využití této metody se vyhneme vysokým vzorkovacím frekvencím díky tomu, že stačí detekovat změny na původním signálu, které se projevují odchylkami v nižším frekvenčním pásmu. Tyto radary využívají sinusového signálu s narůstající frekvencí [9].

4. Návrh UWB radaru pro snímání tepové frekvence

V této kapitole představuji návrh FM UWB radaru pro snímání tepové frekvence. Postupuji od obecného schématu, k příkladu konkrétního zapojení, uvádím příklady jednotlivých součástek a v tabulce představuji použité součástky.

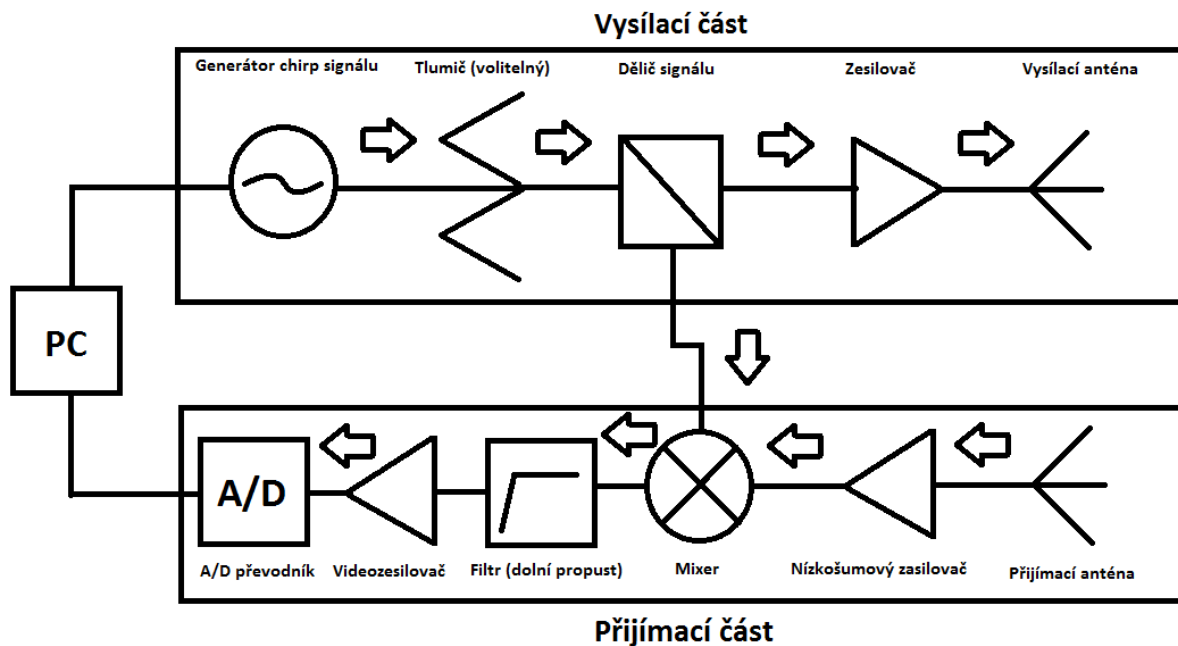
Níže na obrázku č. 2 můžeme vidět průběh signálu v FM – UWB radaru, kde OSC1 je napětíově řízený oscilátor, který na výstupu vytváří frekvenci, která je lineárně závislá na vstupním napětí (V_{tune}). Frekvenční modulace je dosaženo změnou V_{tune} v průběhu času, v tomto případě je modulována lineární ramp signálem (napětím). Výstupem OSC1 je sinusoidní signál, který mění svoji frekvenci v čase, tedy takzvaný chirp signál. Tento signál je zesílen zesilovačem AMP1 a přiveden do obvodu SPLTR1, kde polovina je odvedena na anténu (ANT1) a polovina do LO portu sčítacího bodu (MXR1) [7].

Signál vycházející z antény má počáteční frekvenci nižší a postupně se zvyšuje. Tento signál prostupuje prostorem a odráží se od případných překážek (pacientů) zpět k radaru, kde je přijímán anténou (ANT2). Tento signál je spožděnou verzí signálu vycházejícího z antény ANT1. Přijímaný signál je dále zesílen nízko-šumovým zesilovačem LNA1 a ve sčítacím obvodu je od něho odečten původní signál. Získaný signál ukazuje frekvenční rozdíl, který je přímo úměrný vzdálenosti (R_i) cíle od kterého se vlna odrazila. Vzdálenost cíle se dá získat za pomoci Fourierovy transformace [7].



Obrázek č. 3: Schéma průběhu signálu v FM UWB radaru [7]

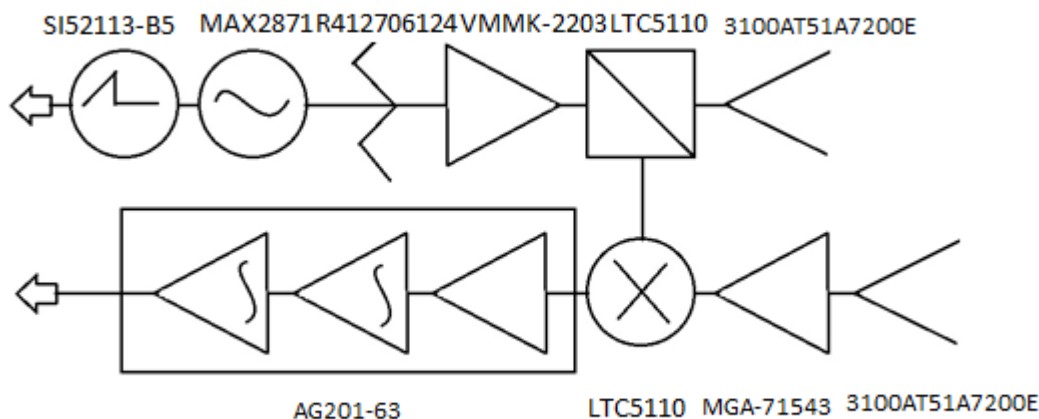
Po rozhodnutí využít FM UWB radar jsem vypracoval přehled současného stavu (viz kapitola 2), na základě kterého jsem začal hledat vyhovující zapojení a součástky pro budoucí UWB radar. Obecné blokové schéma zapojení FM UWB radaru je zobrazeno na obrázku č. 4:



Obrázek 4: Obecné blokové schéma zapojení FM UWB radaru [7]

Pro konkrétní návrh FM UWB radaru jsem využil obecného schématu. Jednotlivé součástky byly vybrány tak, aby odpovídaly požadavkům na funkční UWB radar – musejí pracovat na dostatečně vysoké frekvenci, aby obsáhly celý signál, v našem konkrétním případě jsem po důkladné analýze trhu s dostupnými součástkami zjistil, že maximální dosažitelná frekvence je 6 GHz.

Pro generování signálu jsem využil součástky MAX2871,



Obrázek č. 5: Příklad konkrétního schématu FM UWB radaru

Vhledem k možnostem trhu a inovacím v UWB technologii jsem se po konzultaci s vedoucím rozhodl realizovat UWB radar jako modulární systém, s jednoduše vyměnitelnými komponenty pro usnadnění jeho ověření. Jednotlivé komponenty uvádím v následující tabulce č. 1 spolu s jejich parametry, rozebírám jejich parametry a umístění v UWB radaru a jednotlivá schémata spolu s tištěnými spoji a fotodokumentací jsou uvedena v následující kapitole.

Generátor

Pro generování signálu jsem vybral součástku MAX2871 od společnosti Maxim integrated. Jedná se o generátor signálu schopný pracovat na frekvencích od 23,5 MHz do 6,0 GHz a umožňuje signálu, které může být hardwarově vypnut. Pro generování vstupního signálu pro generátor MAX2871 byla využita součástka SI52113-B5, která mění základní 25 MHz signál získaný z krystalu na 100 MHz signál kompatibilní s generátorem MAX2871.

Zesilovač

Nejdůležitějším hodnotícím kritériem pro výběr zesilovačů byla schopnost práce při vysoké frekvenci 6GHz a nízké hodnoty šumu. Těmito kritériím vyhovovaly zesilovače od firem Avago Technologies (MGA-545P8, MGA-32563, MGA-71543, MGA-82563, VMMK-2203 a VMMK-2503), Triquint (AG201-63G, AG203-63G, AG503-86G), Broadcom Limited (AVT-51663-TR1G) a RFMD (RFMD RF3376). Jednotlivé zesilovače jsou napájeny ze samostatných konektorů přítomných na každém modulu a využívají pro redukci šumu kondenzátorů.

Útlumový článek

Pro útlumový článek byla vybrána součástka od firmy Radiall R412706124, o hodnotách 1 až 6 dB.



Obrázek č. 6: Útlumový článek.

Mixer

Jako mixer byla vybrána součástka LTC5510 od firmy Linear technology pracující na frekvencích od 1 MHz do 6 GHz a napájena 3,3 Volty, která využívá symetrizačního členu pro převod signálu mezi symetrickým a nesymetrickým stavem.

Dělič signálu

Pro dělič signálu jsem vybral součástku CP0603AXXXXANTR umožňující odečtení vysílaného a přijímaného signálu a tím zobrazení změn vyvolaných pohybem sledovaného objektu (srdce).

Tabulka č. 1: Použité součástky a jejich parametry

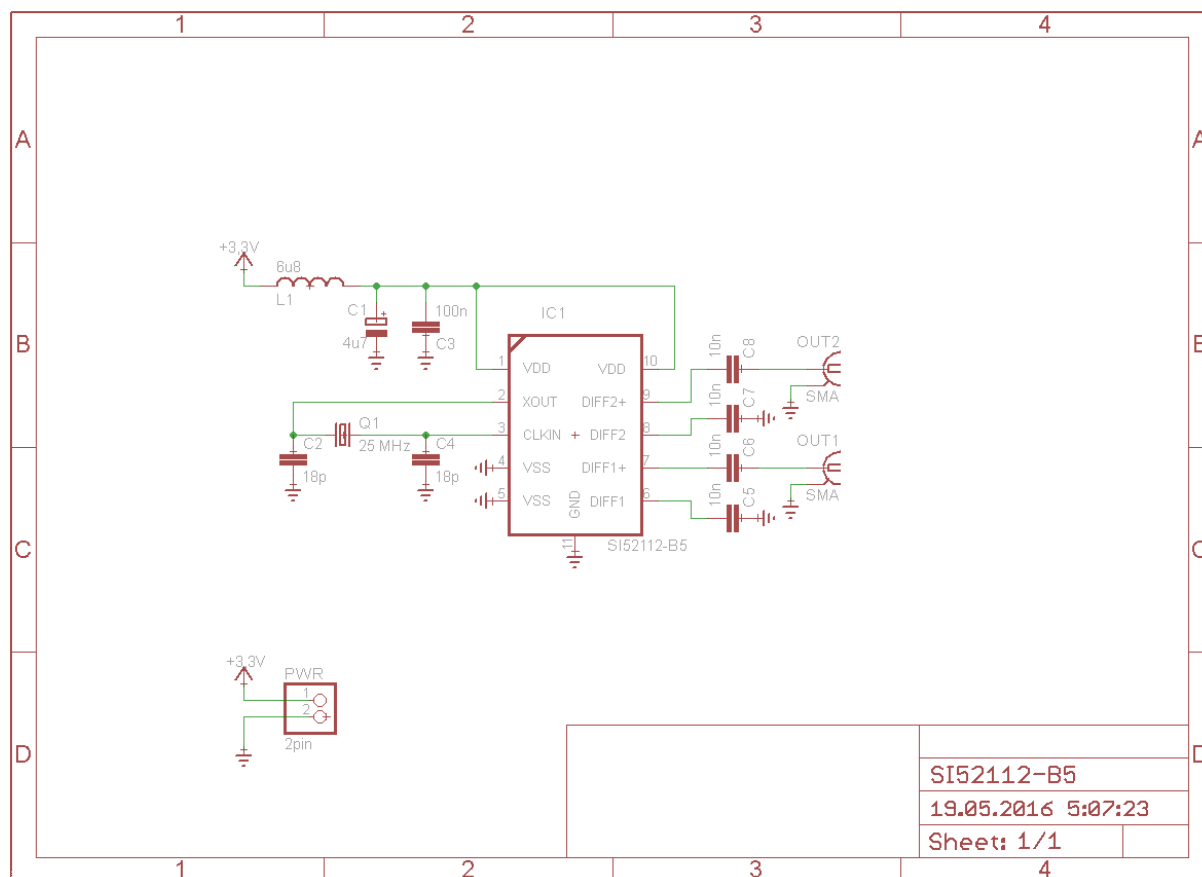
Název	Typ	Výrobce	U napájecí	Cena
MAX2871	generátor	Maxim Integrated	3,3 až 5 V	8,80 €
SI52113-B5	generátor	Silicon Labs	3.3 V	2,85 €
R412706124	tlumič signálu	Radiall	není	37,26 €
RFMD RF3376	zesilovač	RFMD	4.2 V	13,40 €
AG201-63G	zesilovač	Triquint	4 V	1,43 €
AG203-63G	zesilovač	Triquint	4.1 V	1,43 €
AG503-86G	zesilovač	Triquint	5 V	3,60 €
AVT-51663-TR1G	zesilovač	Broadcom Limited	5 V	0,60 €
MGA-545P8	zesilovač	Avago Technologies	3.3 V	3,30 €
MGA-62563	zesilovač	Avago Technologies	3 V	2,20 €
MGA-64135	zesilovač	Avago Technologies	5 V	7,20 €
MGA-71543	zesilovač	Avago Technologies	4.2 V	2,30 €
MGA-82563	zesilovač	Avago Technologies	5 V	3,60 €
WMMK-2203	zesilovač	Avago Technologies	5 V	2,95 €
VMMK-2503	zesilovač	Avago Technologies	5 V	6,20 €
LTC5510	mixer	Linear technology	3.3 V	6,35 €
CP0603AXXXXANTR	dělič signálu	AVX	není	9,90 €
3100AT51A7200E	anténa	Johanson Technology	není	2,55 €

5. Realizace

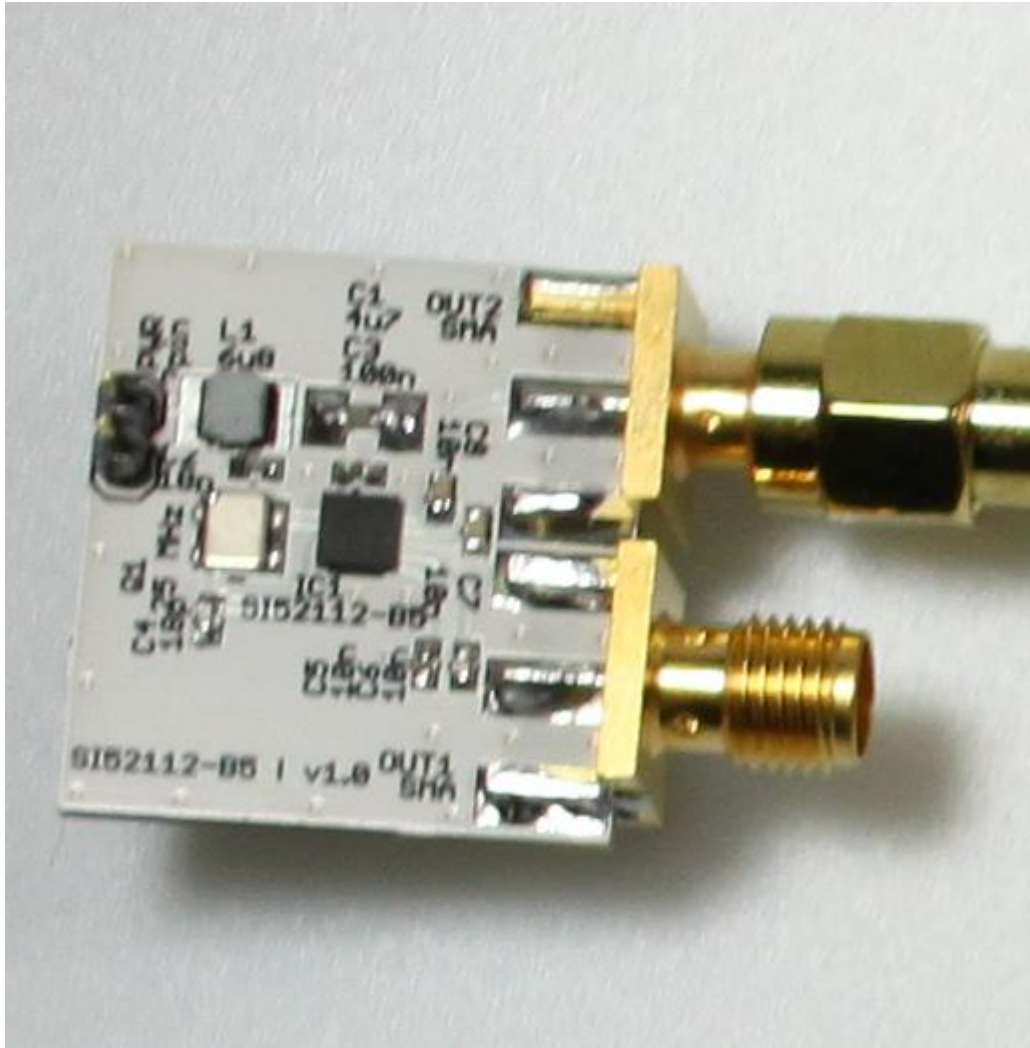
Realizaci navrženého UWB radaru jsem provedl na detašovaném pracovišti FBMI Albertov a skládala se z postupného návrhu schémat a realizace tištěných spojů pro jednotlivé modulární součástky a antény UWB radaru. Při realizaci jsem využil software CadSoft EAGLE.

Nejprve jsem na základě rešerše navrhl a nechal vyrobít jednotlivé antény pro UWB radar, přičemž jednotlivé antény jsou popsány v následující podkapitole, dále jsem pro každou součástku vytvořil schéma a plán tištěného spoje, který jsem následně nechal vyrobit firmou Printed. Výsledný tištěný spoj jsem osadil součástkami a ověřil jeho funkčnost. V další podkapitách uvádím jednotlivá schémata, tištěné spoje a fotodokumentaci jednotlivých modulů.

Generátor

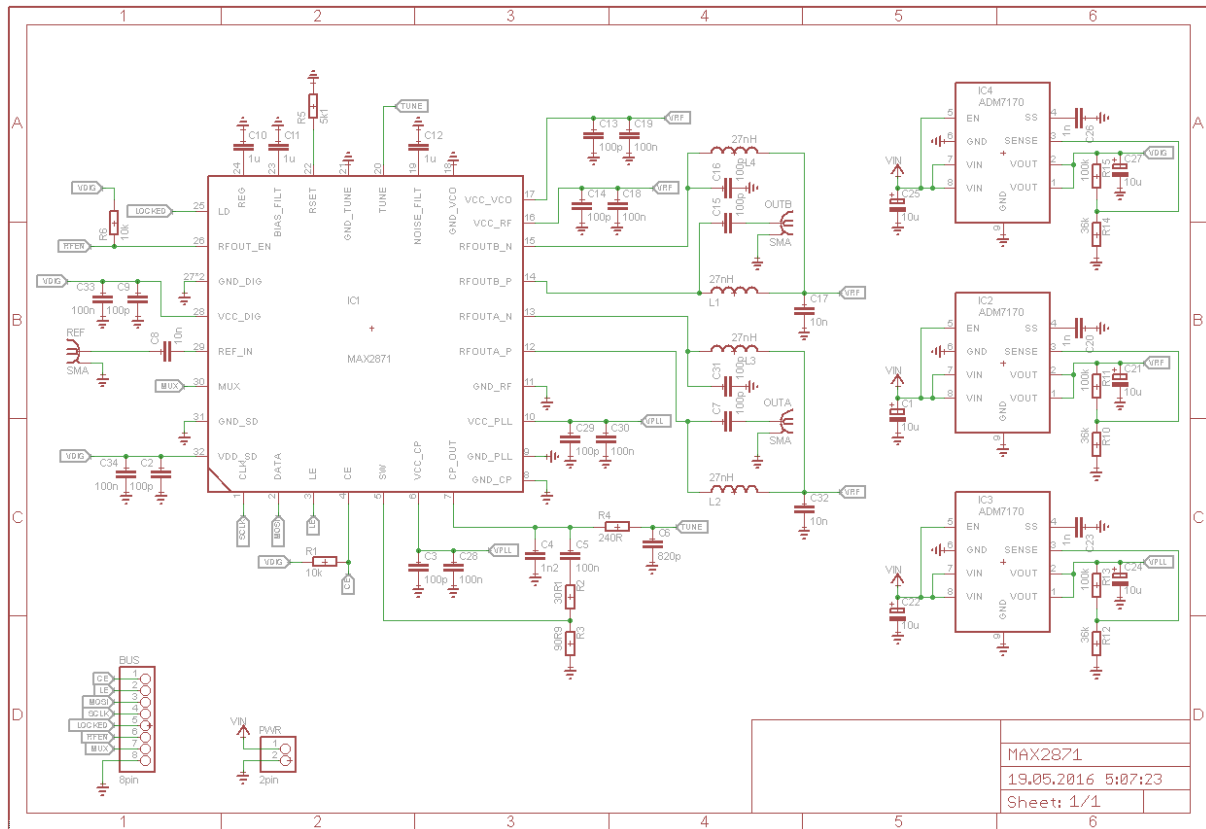


Obrázek č. 7: Schéma pro součástku SI52112-B5

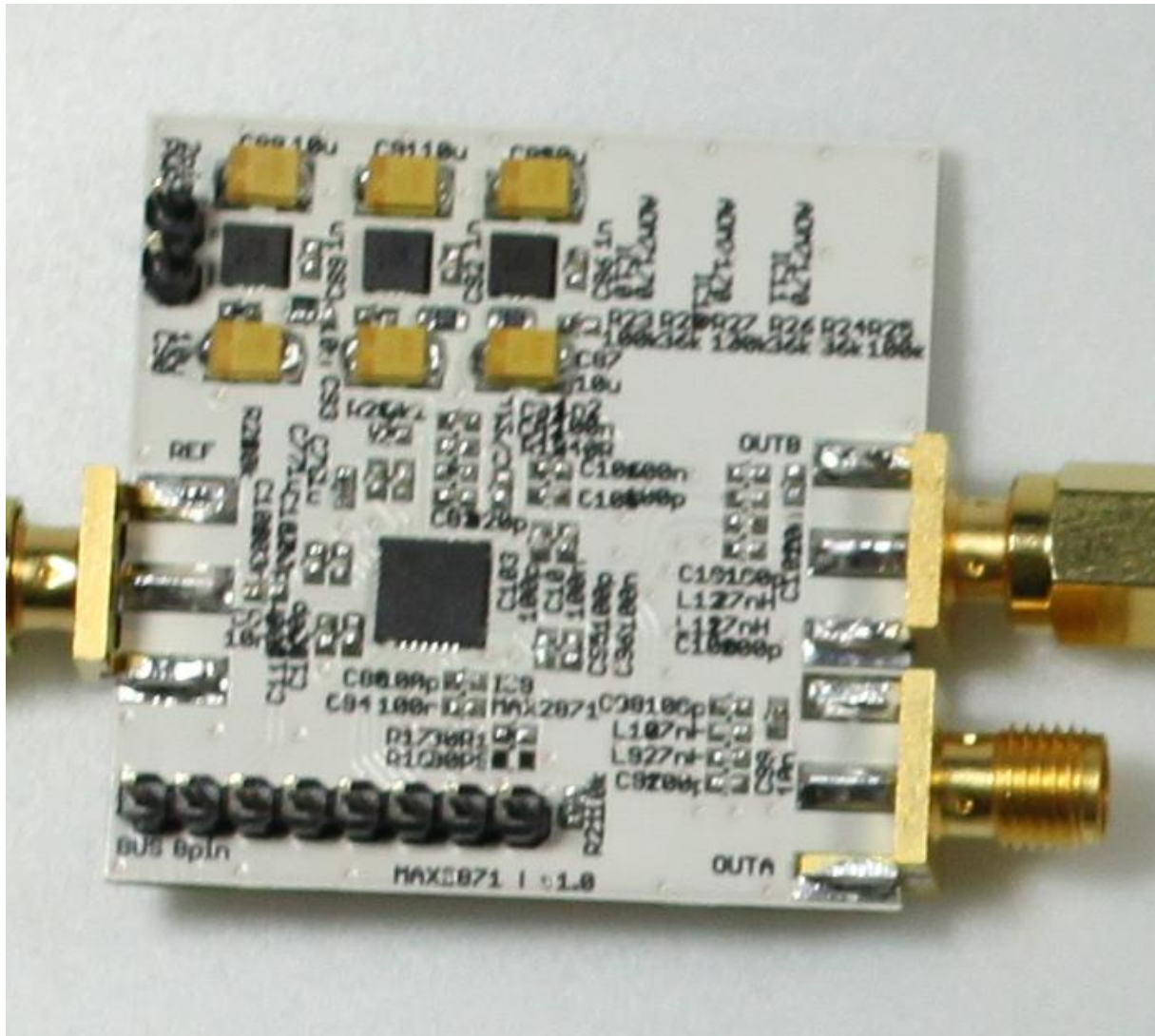


Obrázek č. 8: Hotový tištěný spoj pro součástku SI52112-B5

Součástka SI52112-B5 slouží jako generátor základního signálu pro UWB radar o frekvenci 100 MHz. Pro generování tohoto signálu využívá základního signálu 25 MHz generovaného krystalem. Celý systém je napájen napětím 3.3 V. Generátor umožňuje připojení dvou výstupů.



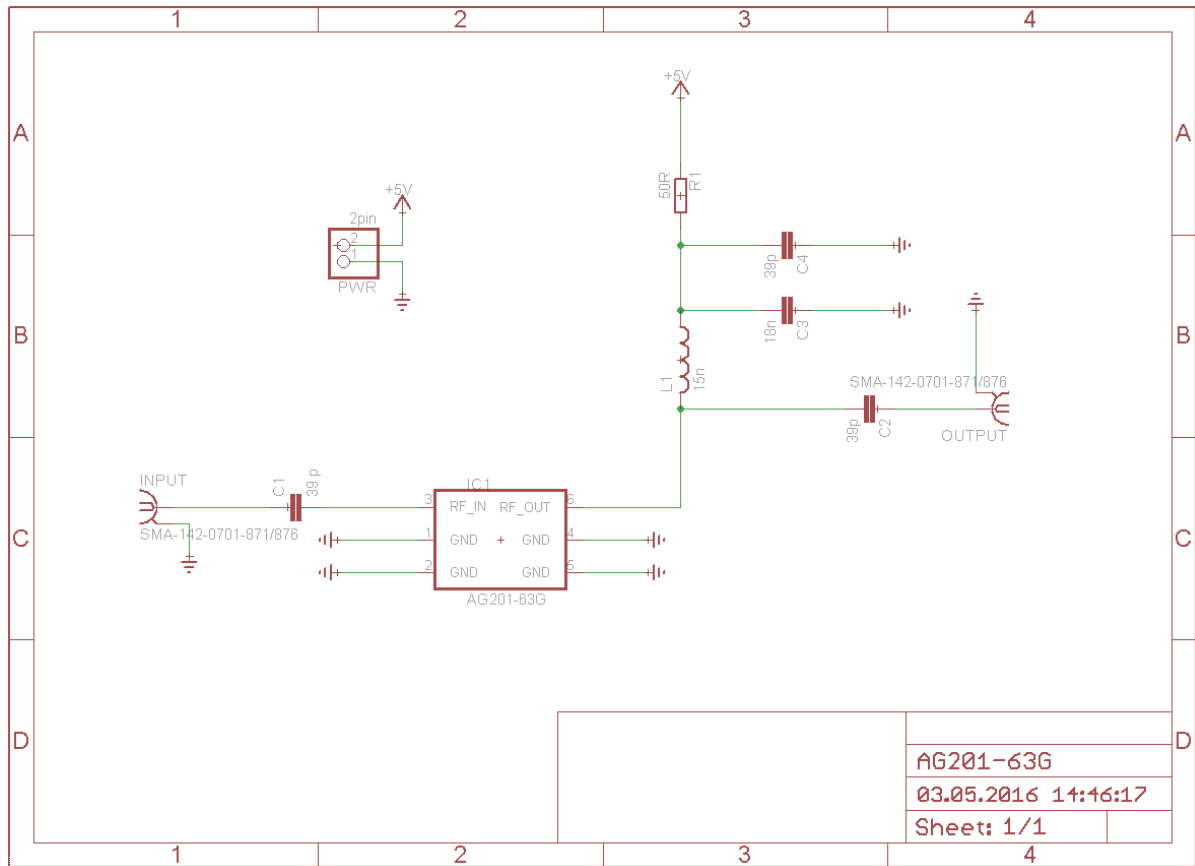
Obrázek č. 9: Schéma pro součástku MAX2871



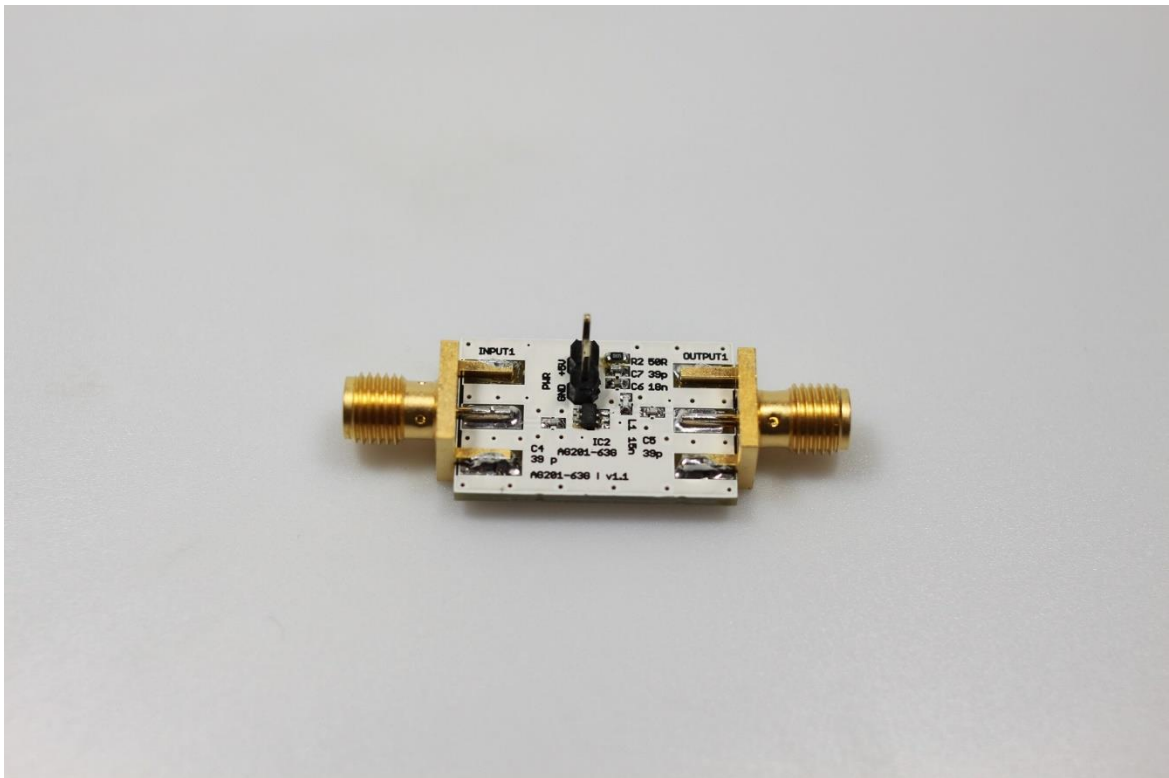
Obrázek č. 10: Hotový tištěný spoj pro součástku MAX2871

Součástka MAX2871 slouží jako generátor vysokofrekvenčního chirp signálu, je napájena trojicí lineárních regulátorů ADM7170 a umožňuje generování signálů až do 6GHz a je kontrolována přes SPI interface. Generátor umožňuje připojení dvou výstupů.

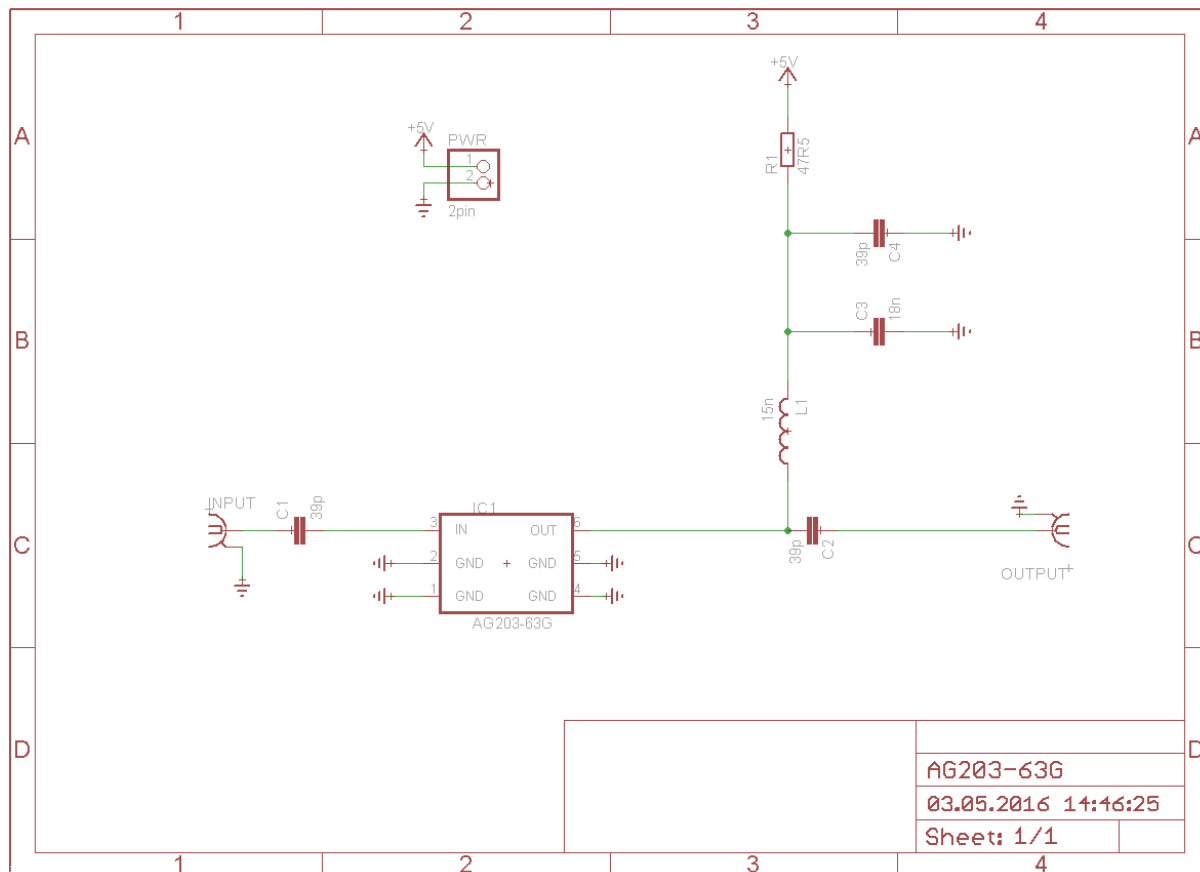
Zesilovače



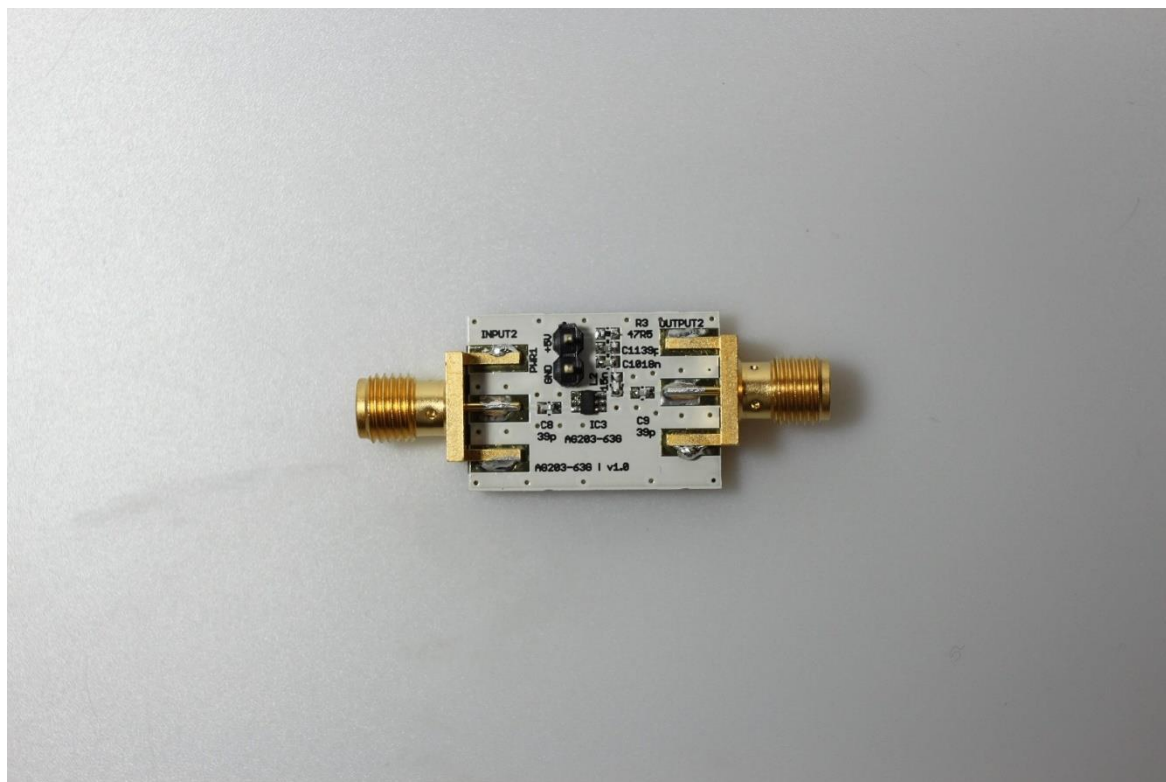
Obrázek č. 11: Schéma pro součástku AG201-63G



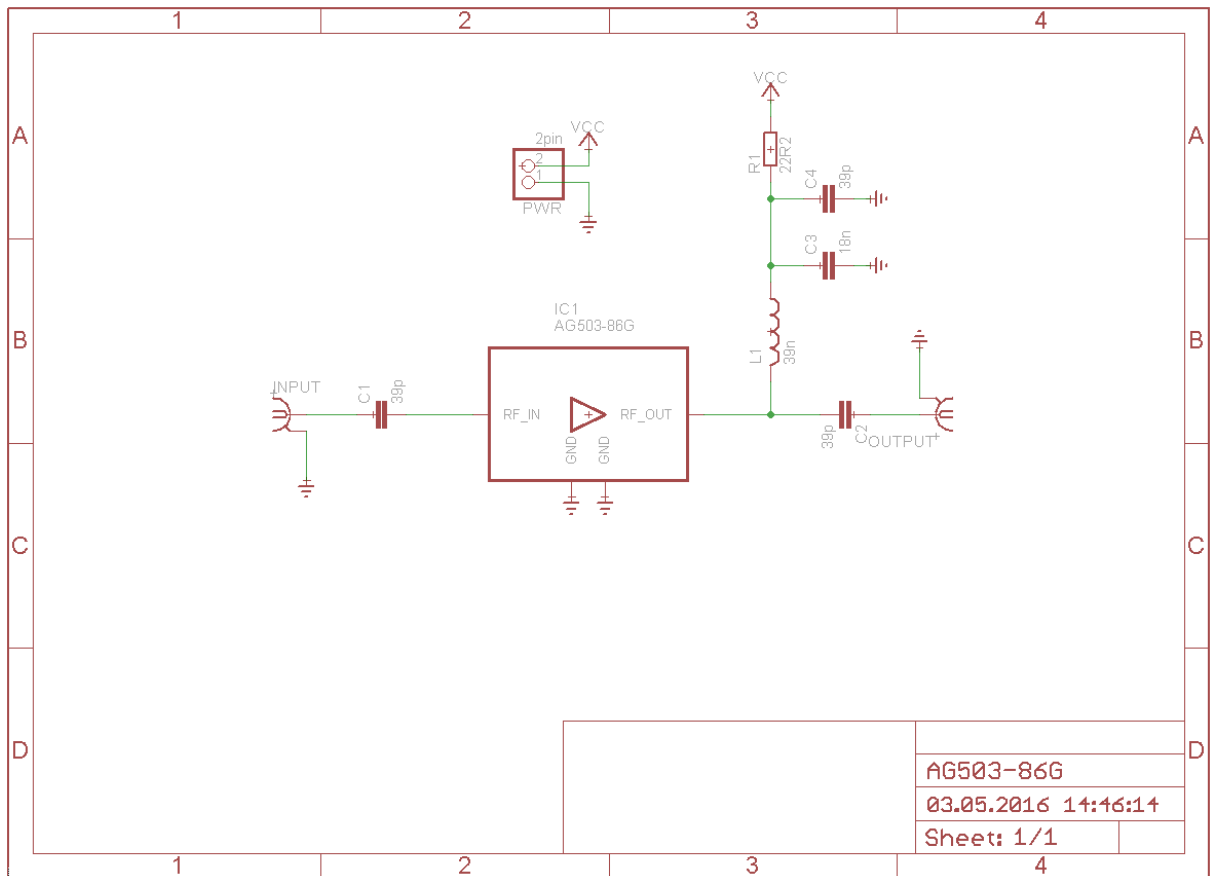
Obrázek č. 12: Hotový tištěný spoj pro součástku AG201-63G



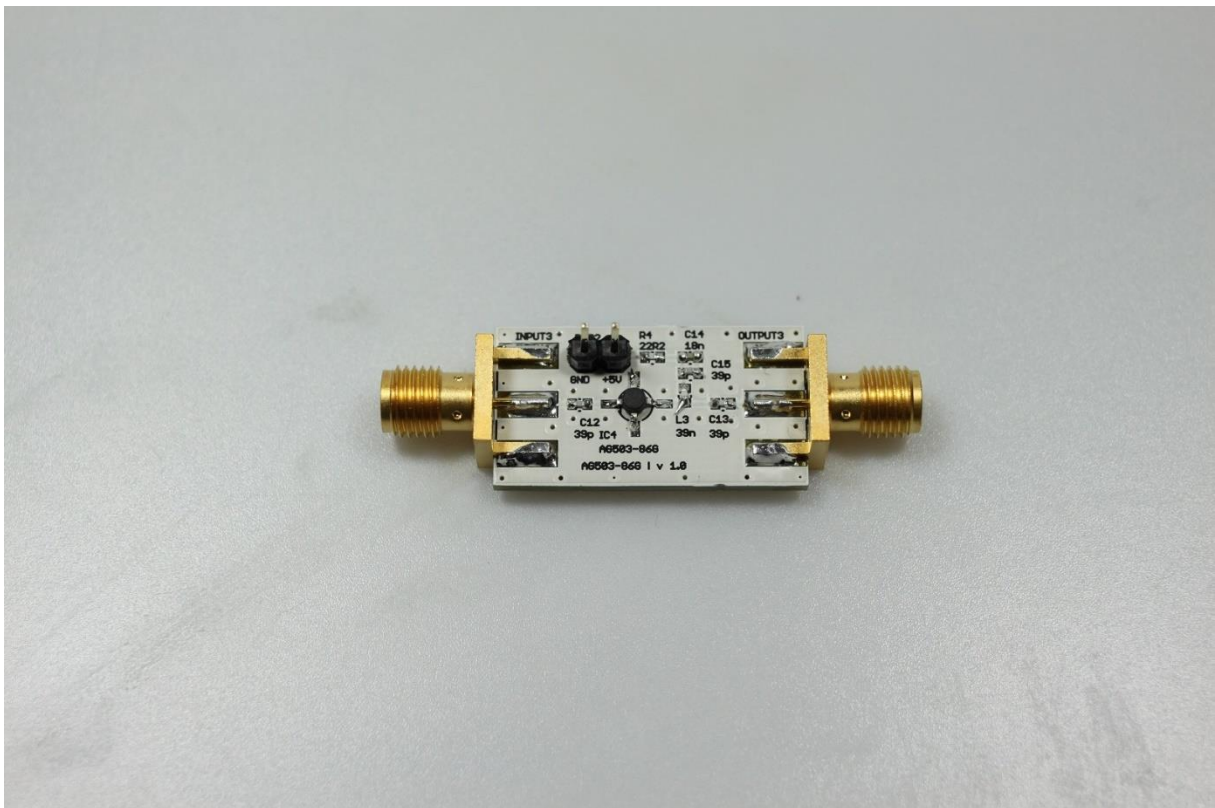
Obrázek č. 13: Schéma pro součástku AG203-63G



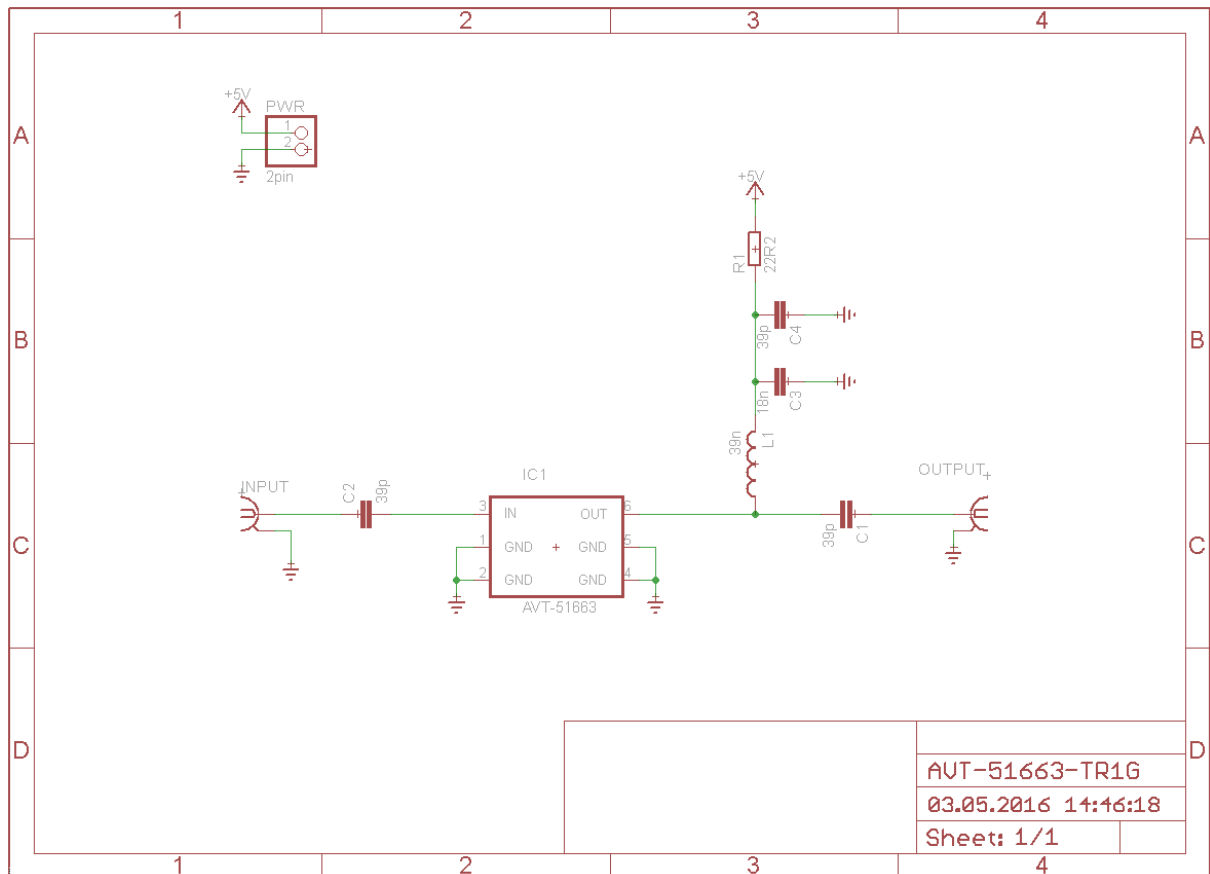
Obrázek č. 14: Hotový tištěný spoj pro součástku AG203-63G



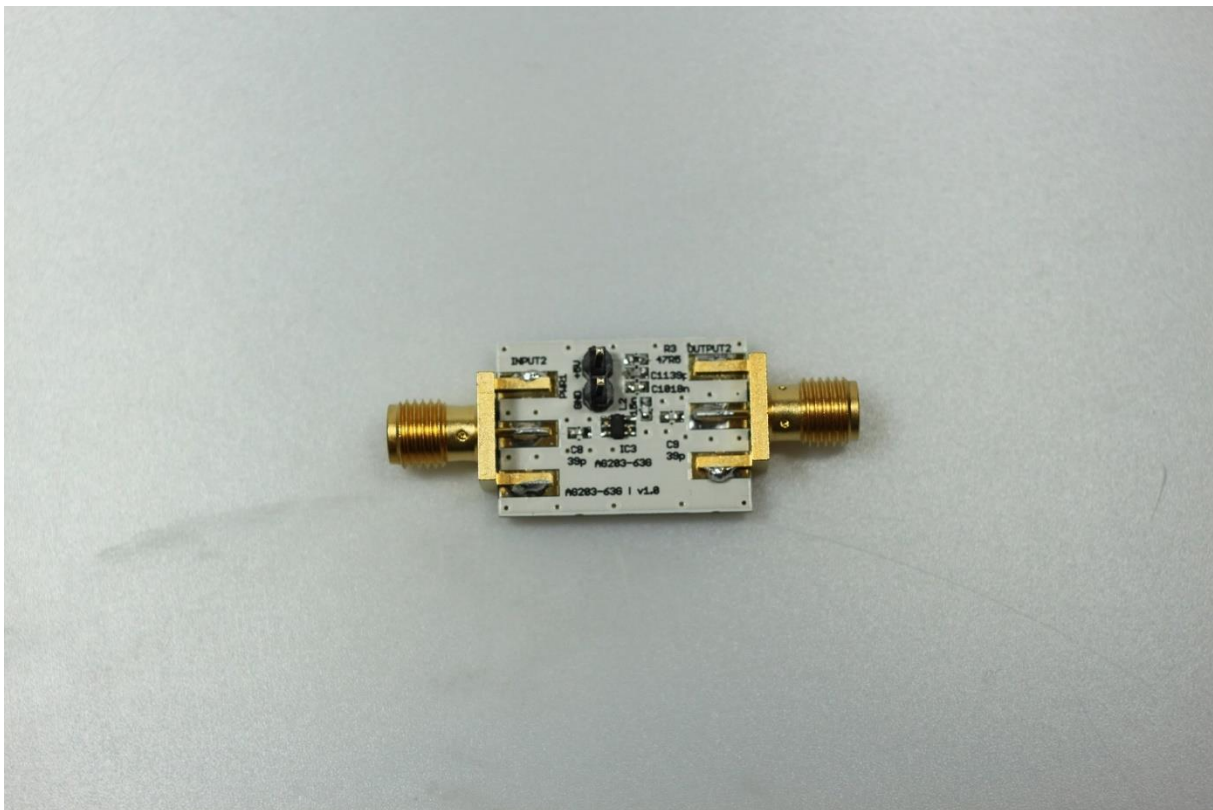
Obrázek č. 15: Schéma pro součástku AG503-86G



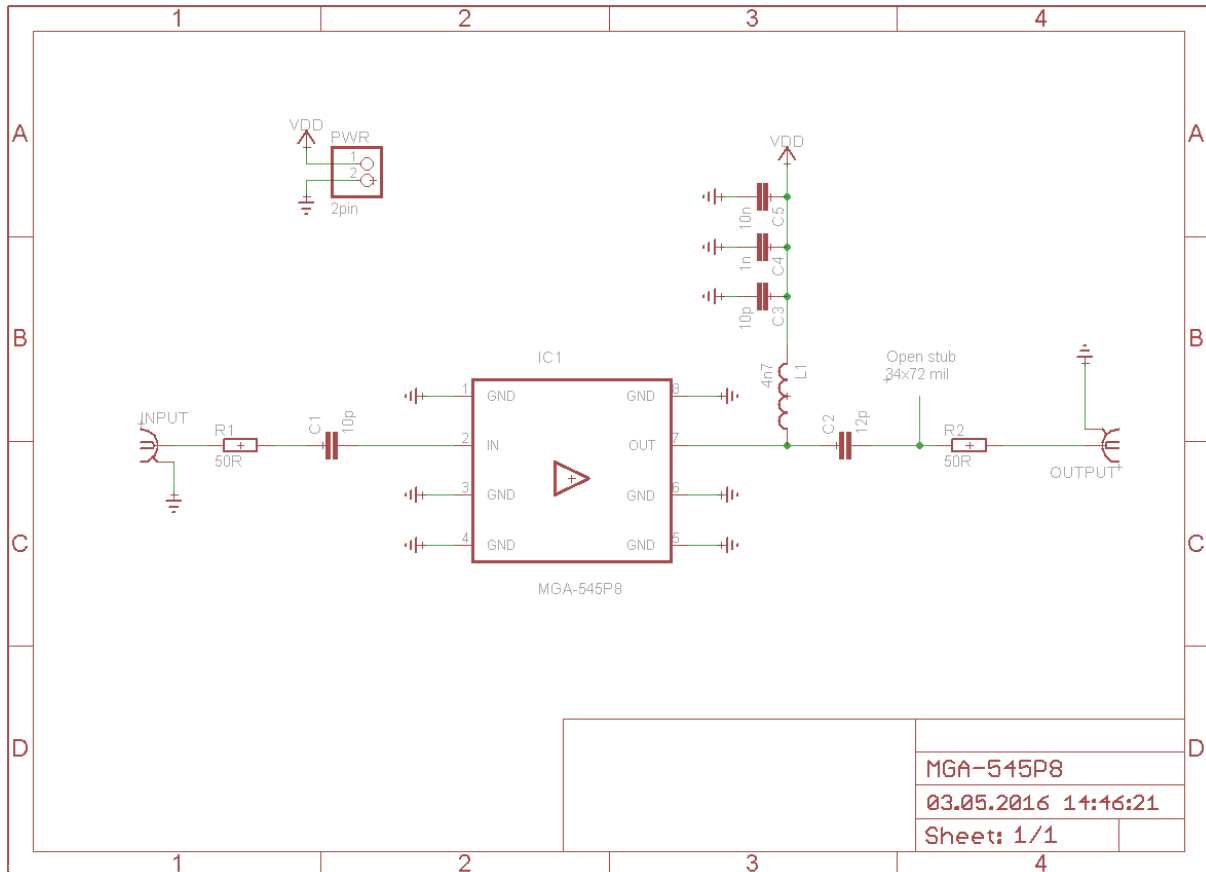
Obrázek č. 16: Hotový tištěný spoj pro součástku AG503-86G



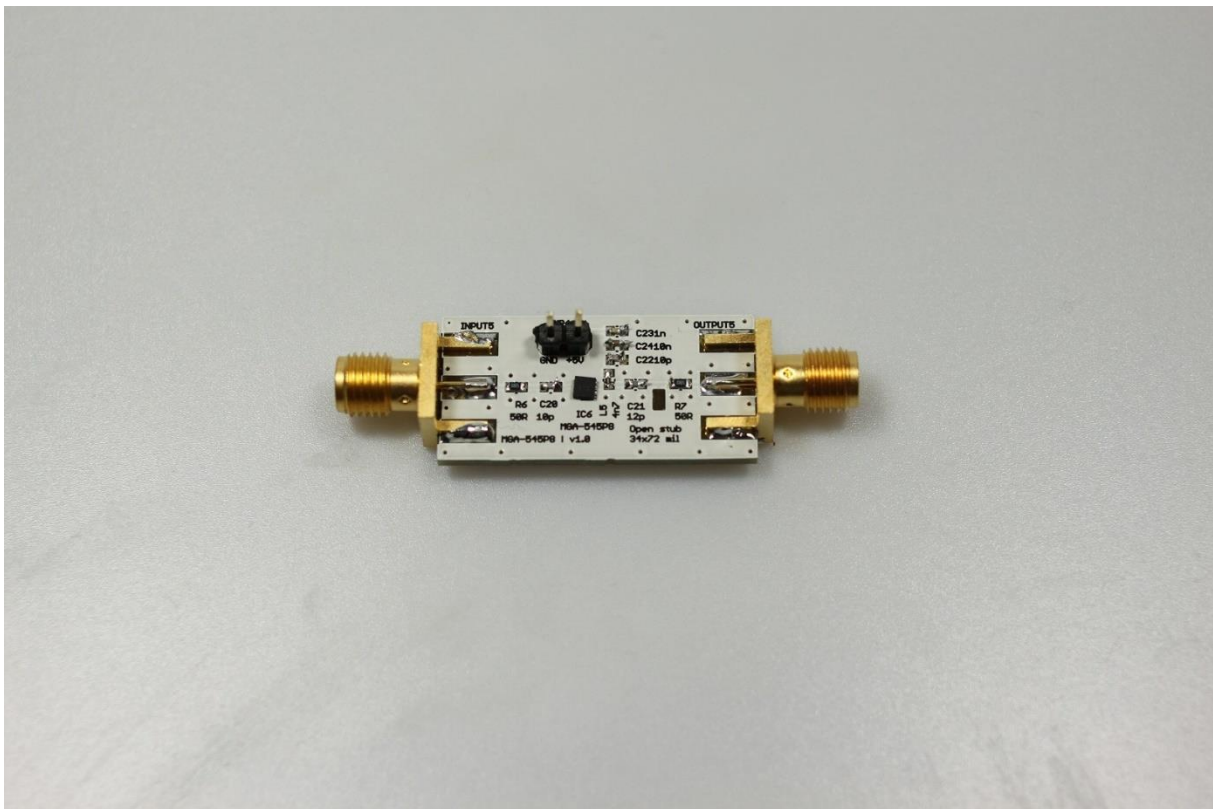
Obrázek č. 17: Schéma pro součástku AVT-51663-TR1G



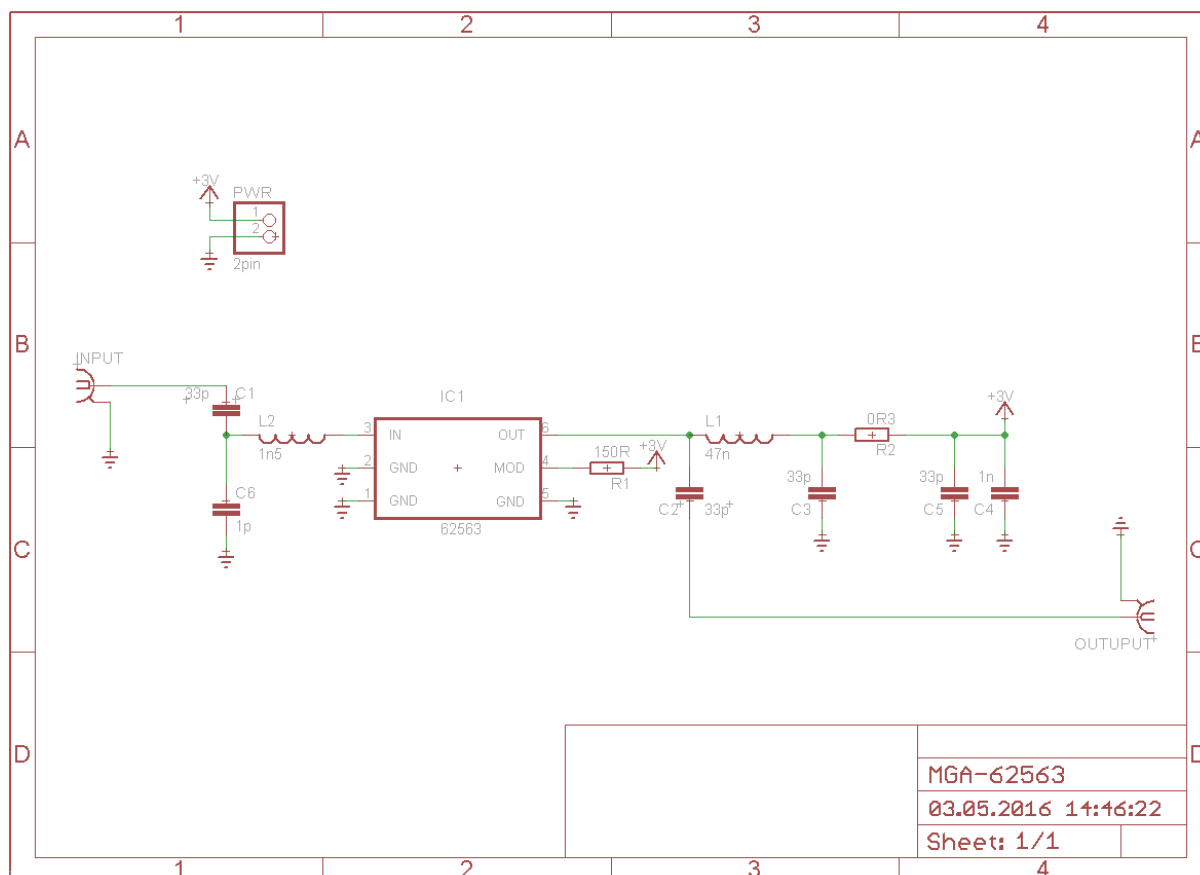
Obrázek č. 18: Hotový tištěný spoj pro součástku AVT-51663-TR1G



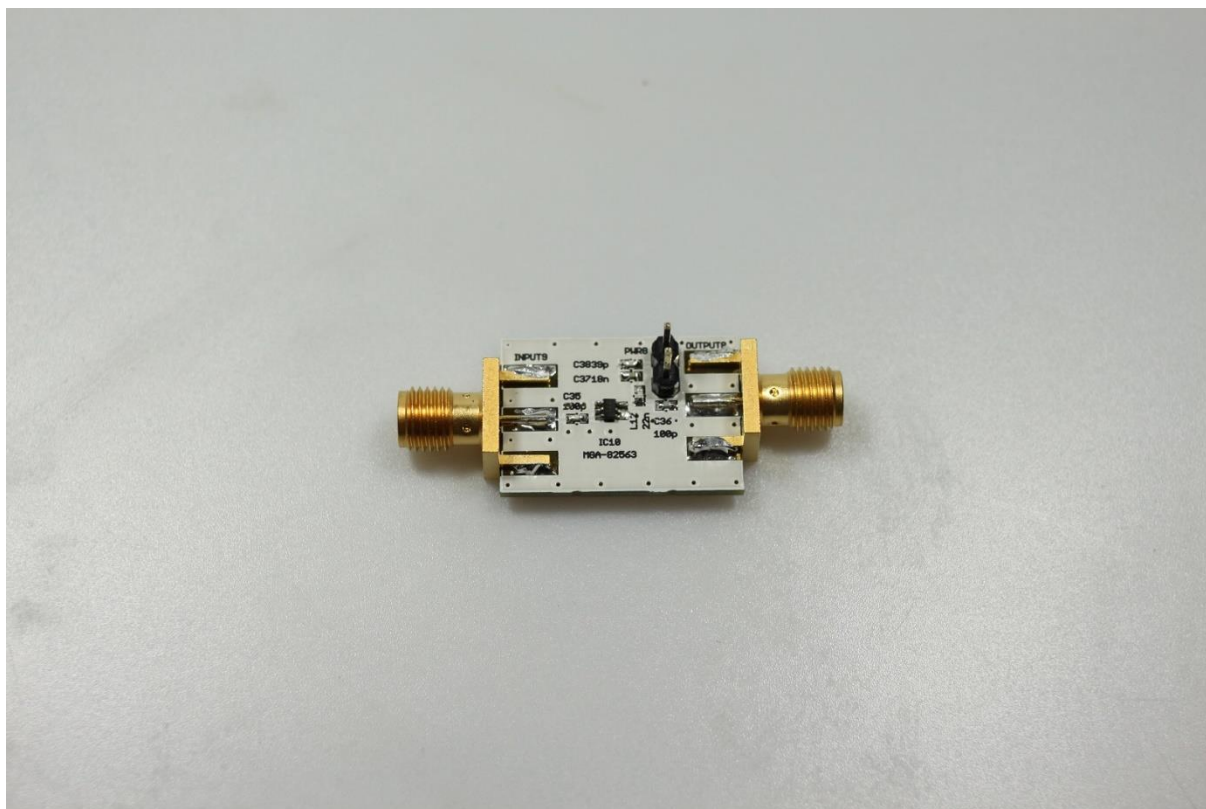
Obrázek č. 19: Schéma pro součástku MGA-545P8



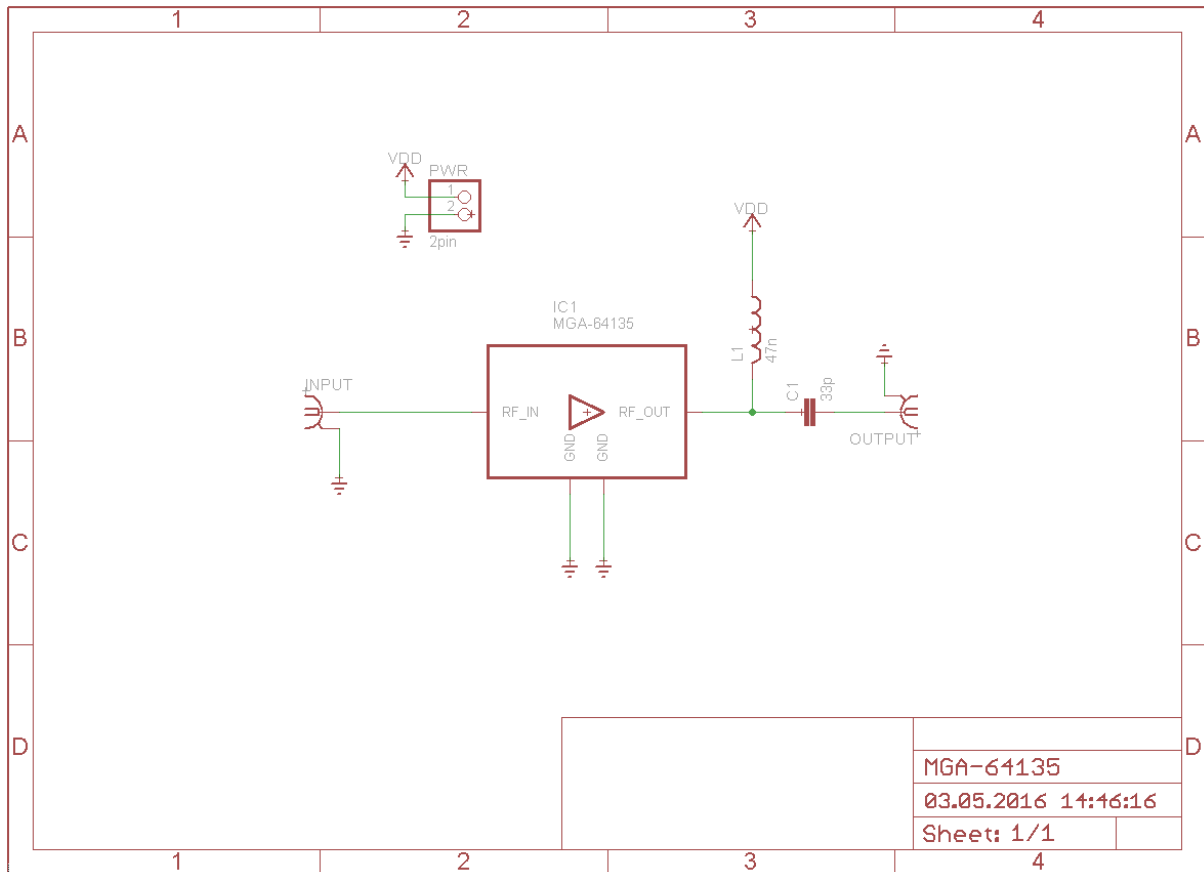
Obrázek č. 20: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-545P8



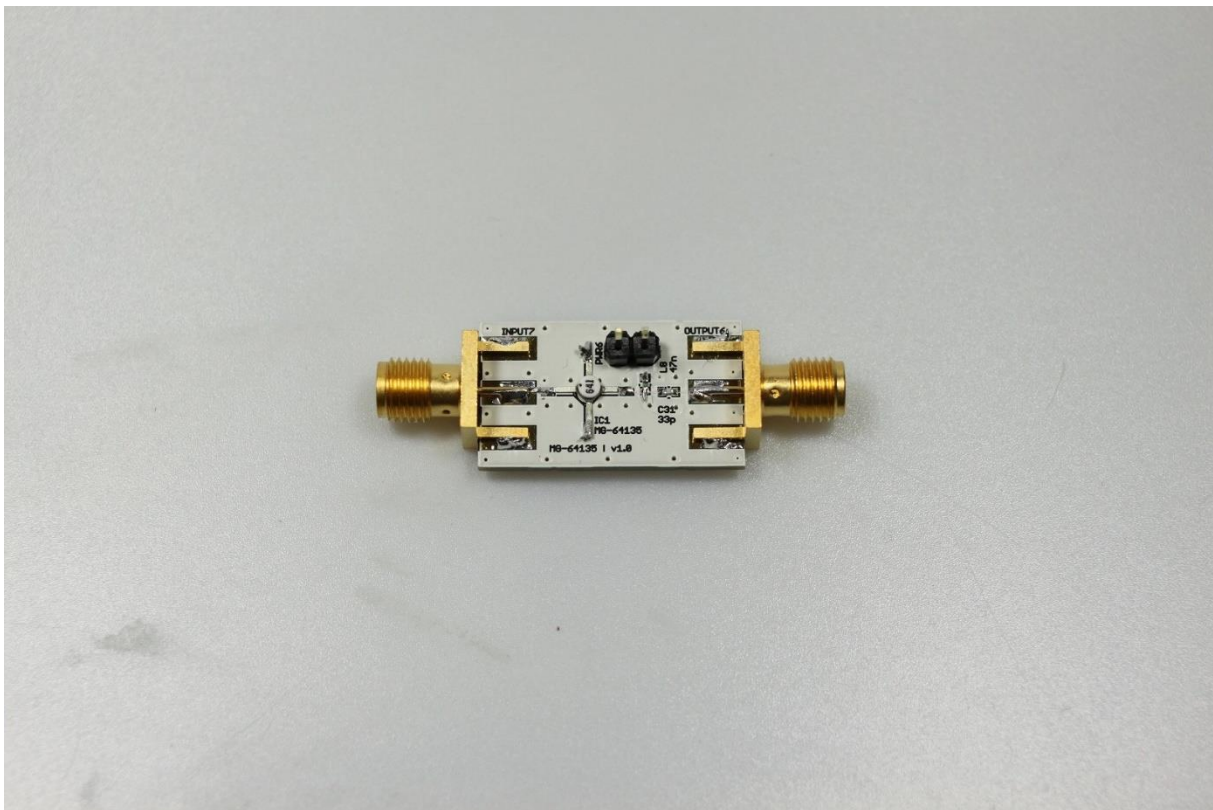
Obrázek č. 21: Schéma pro součástku MGA-62563



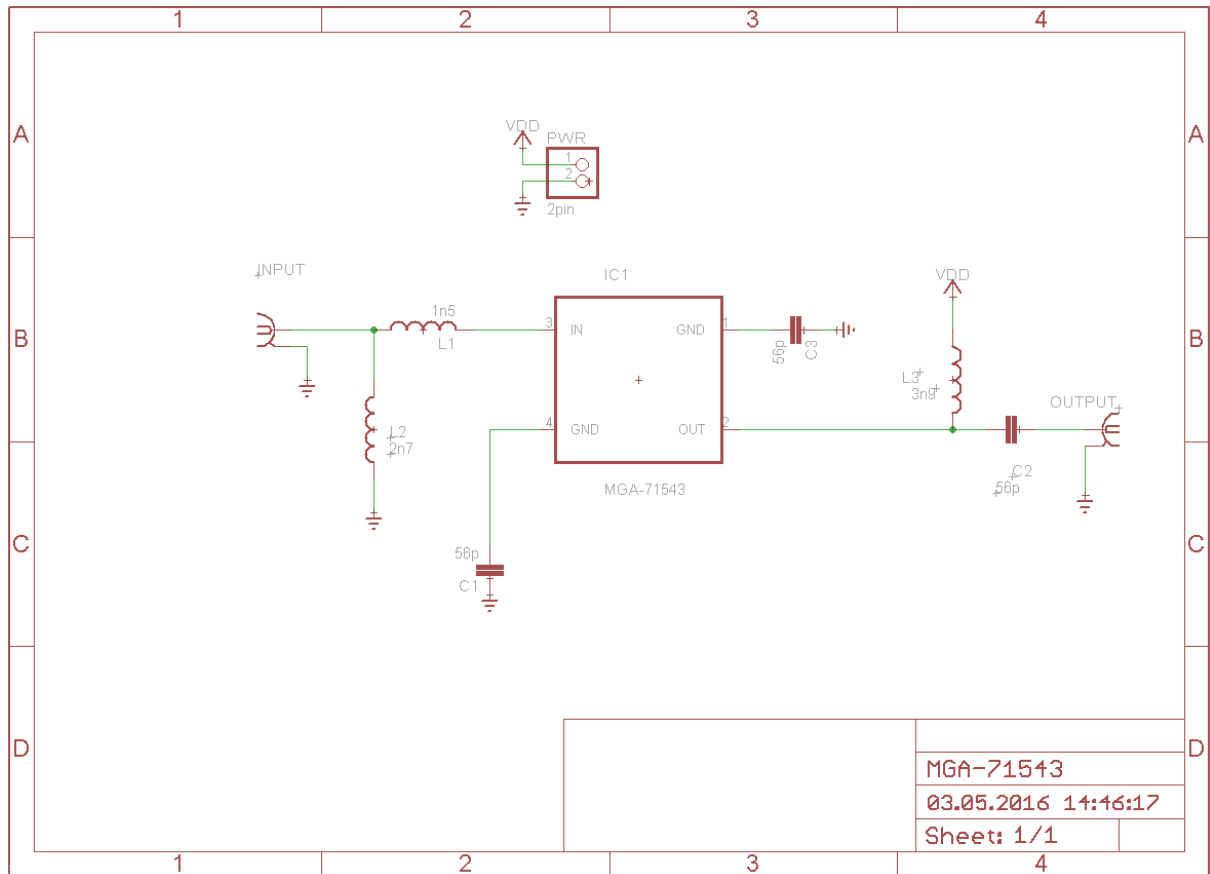
Obrázek č. 22: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-62563



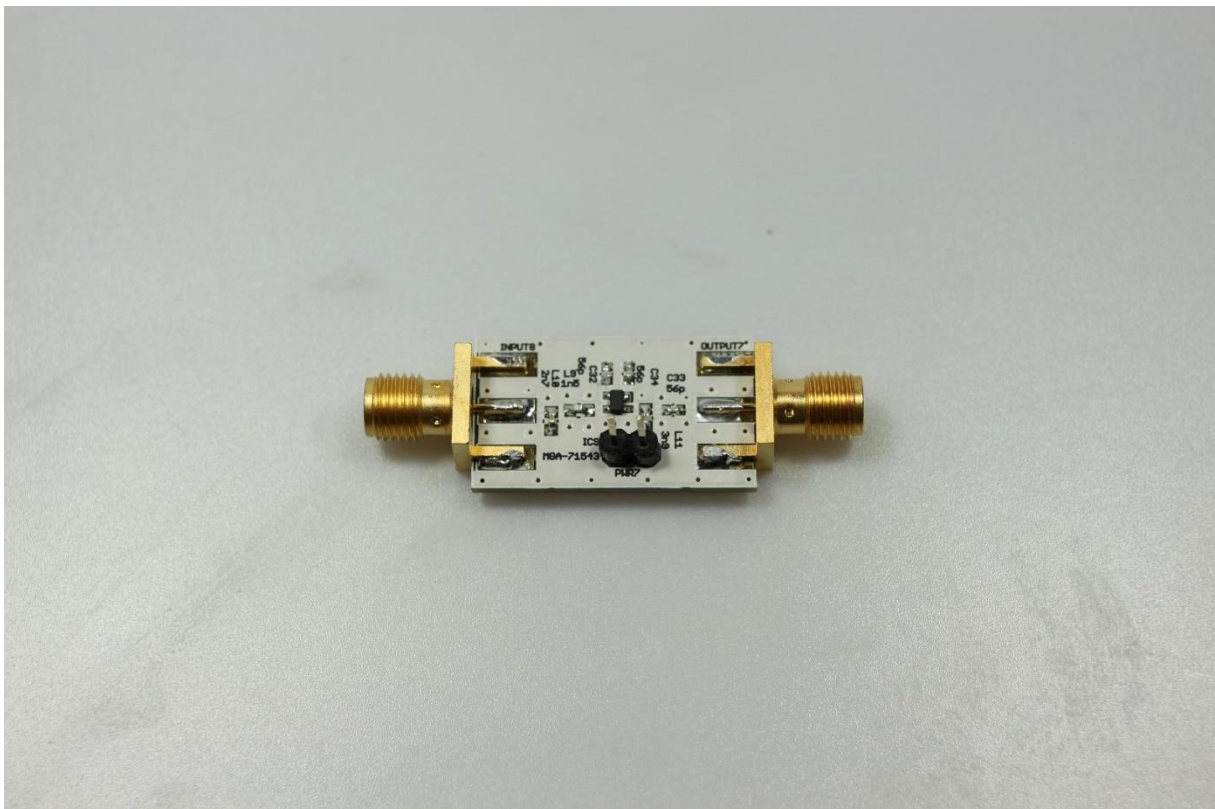
Obrázek č. 23: Schéma pro součástku MGA-64135



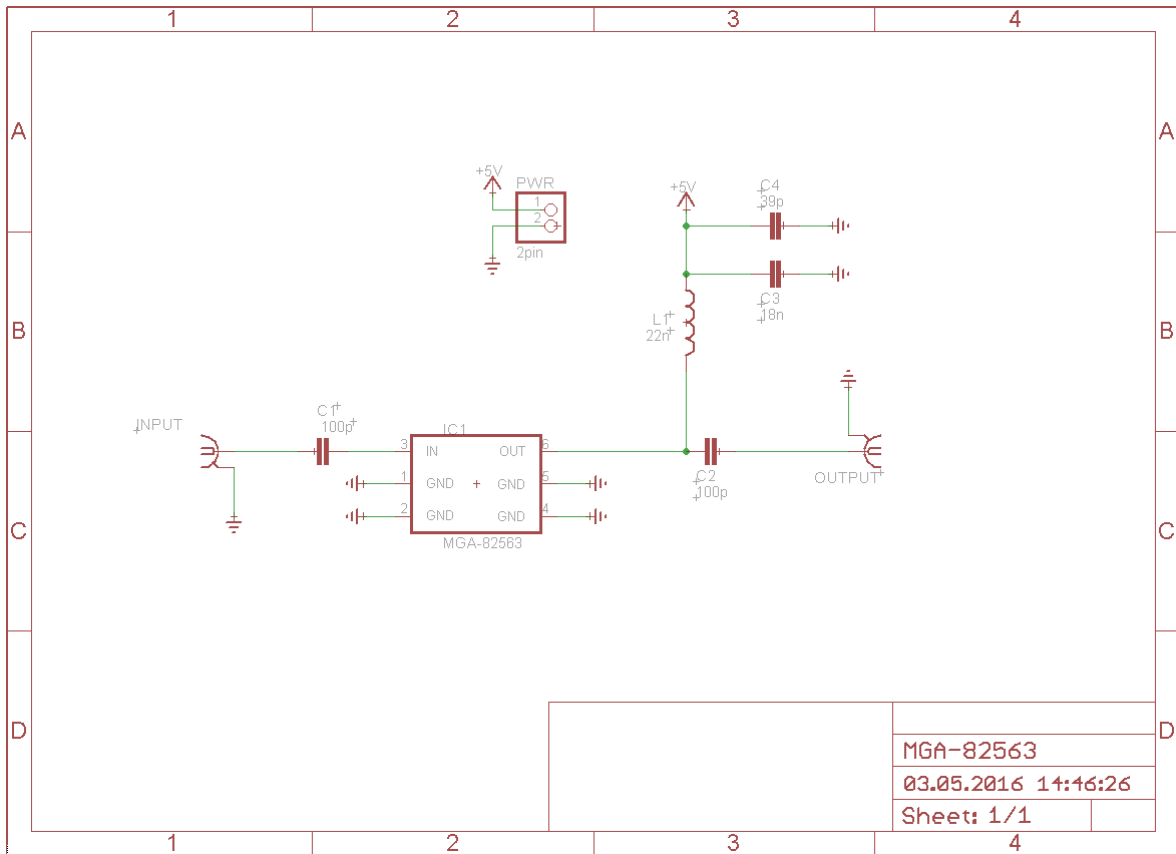
Obrázek č. 24: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-64135



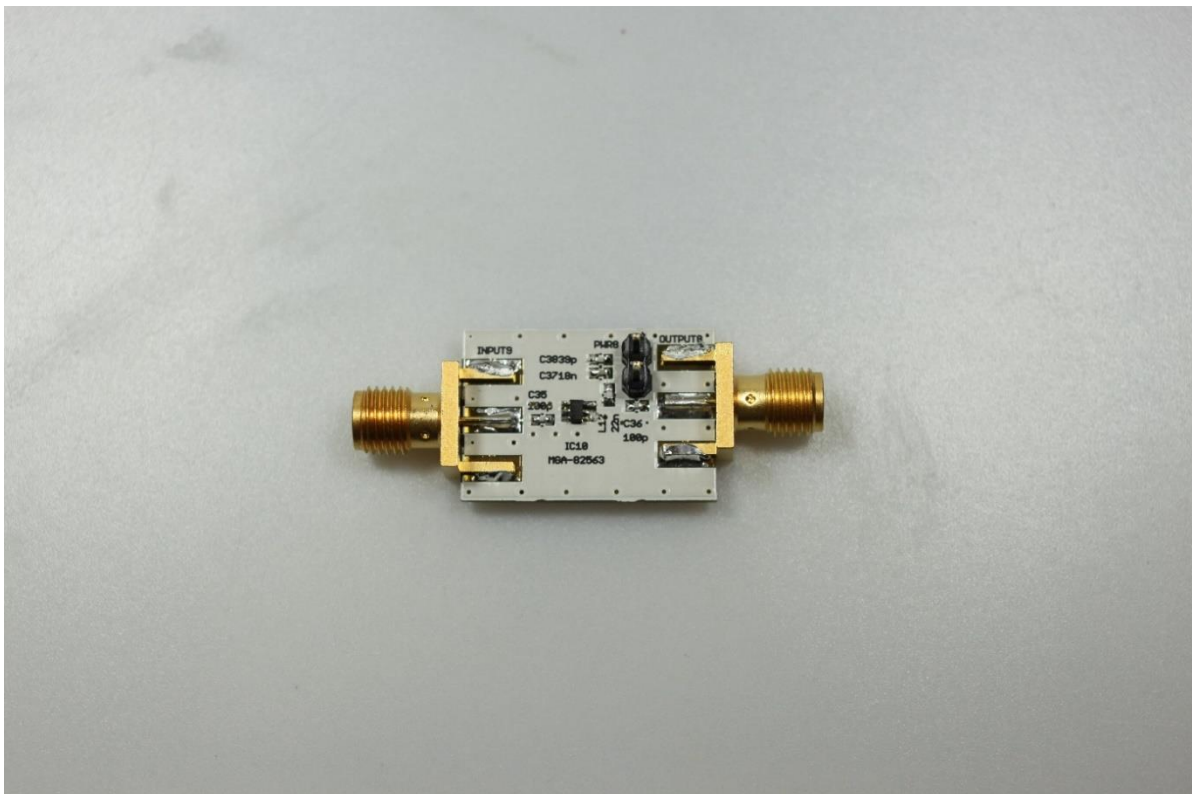
Obrázek č. 25: Schéma pro součástku MGA-71543



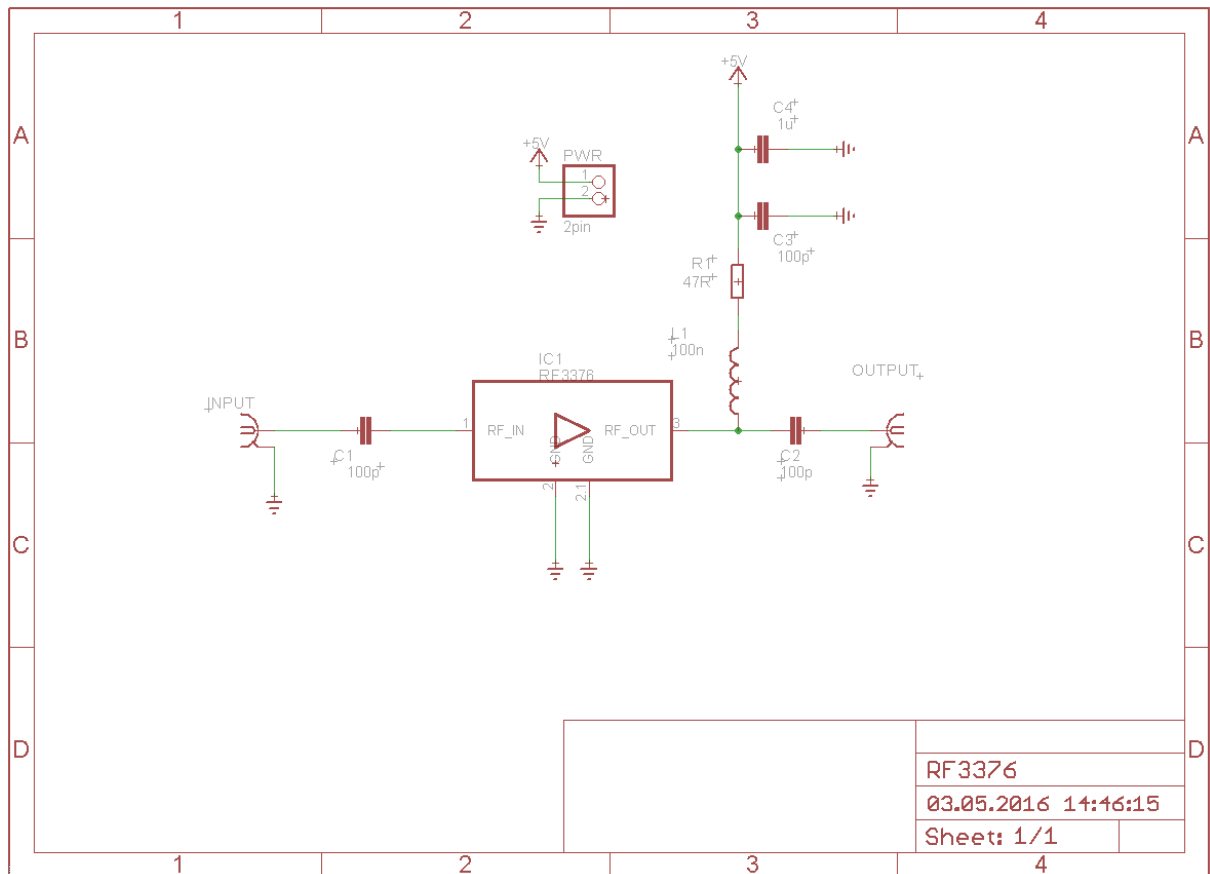
Obrázek č. 26: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA-71543



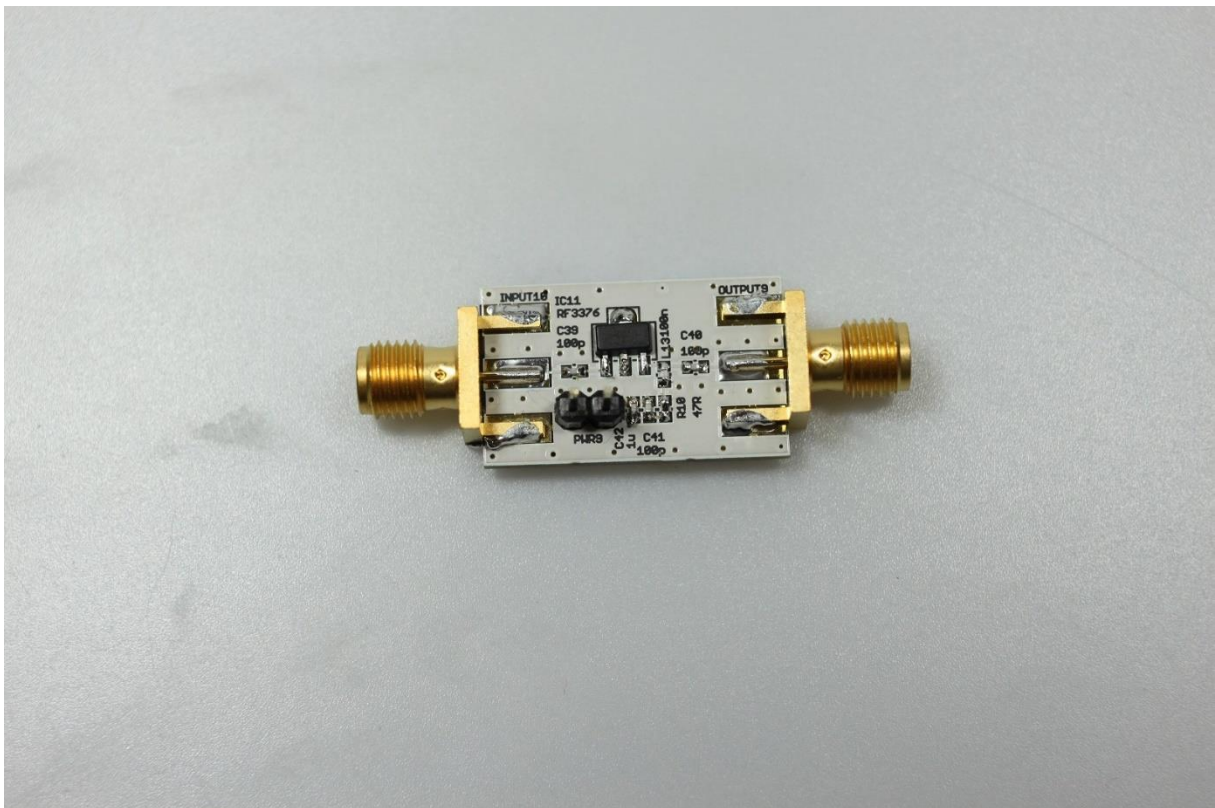
Obrázek č. 27: Schéma pro součástku MGA 82653



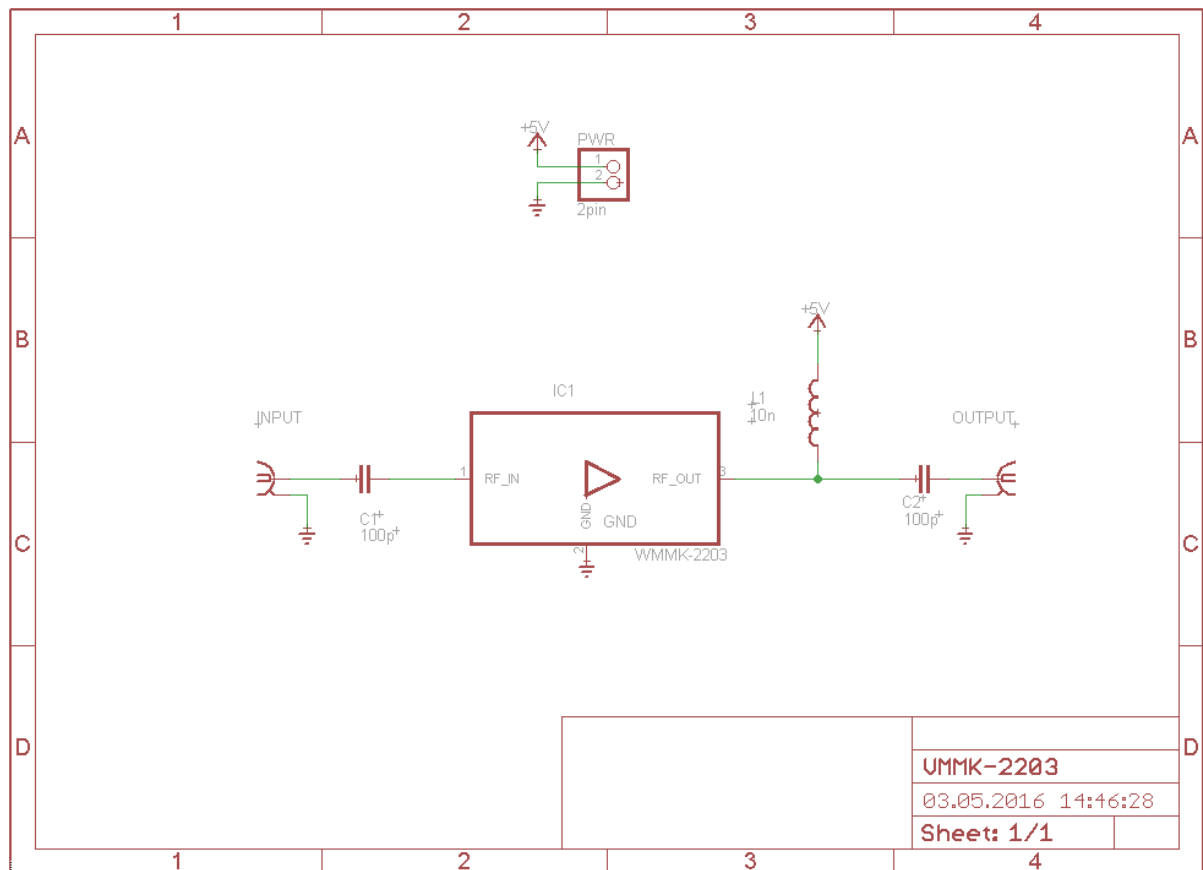
Obrázek č. 28: Hotový tištěný spoj pro součástku MGA 82653



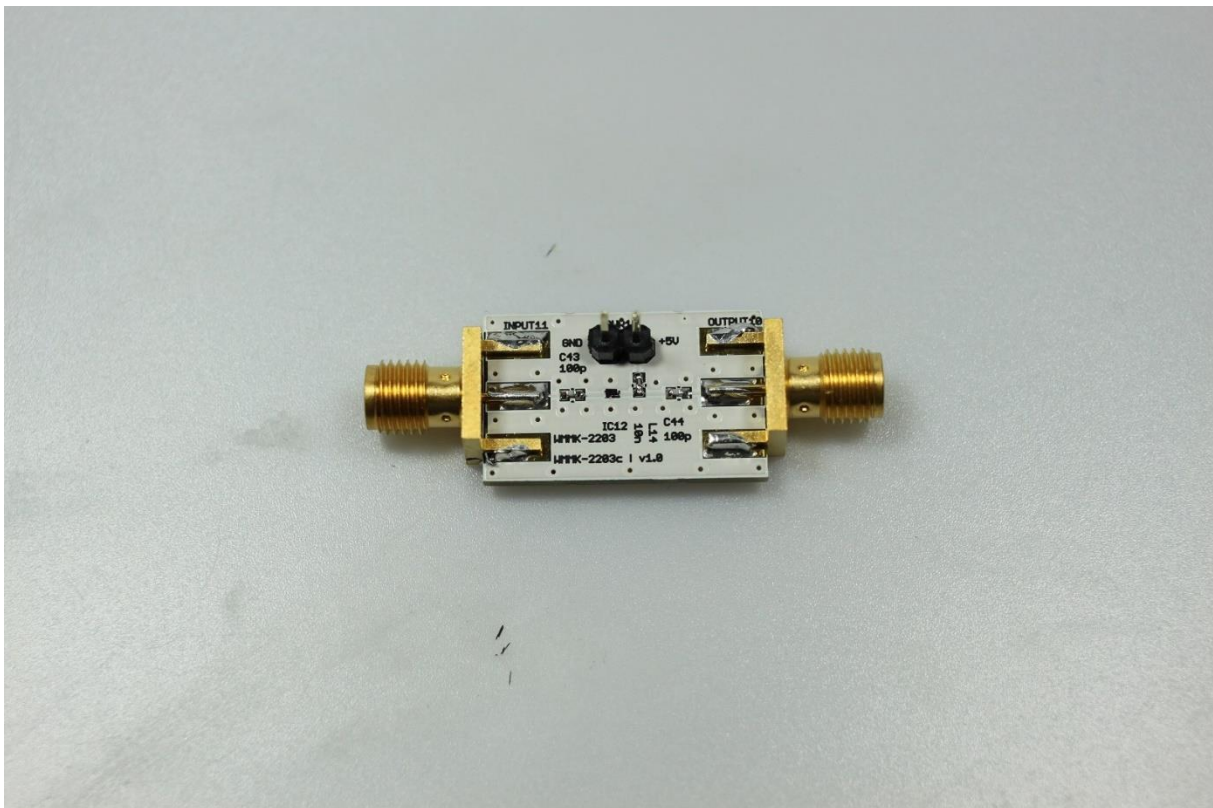
Obrázek č. 29: Schéma pro součástku RF 3376



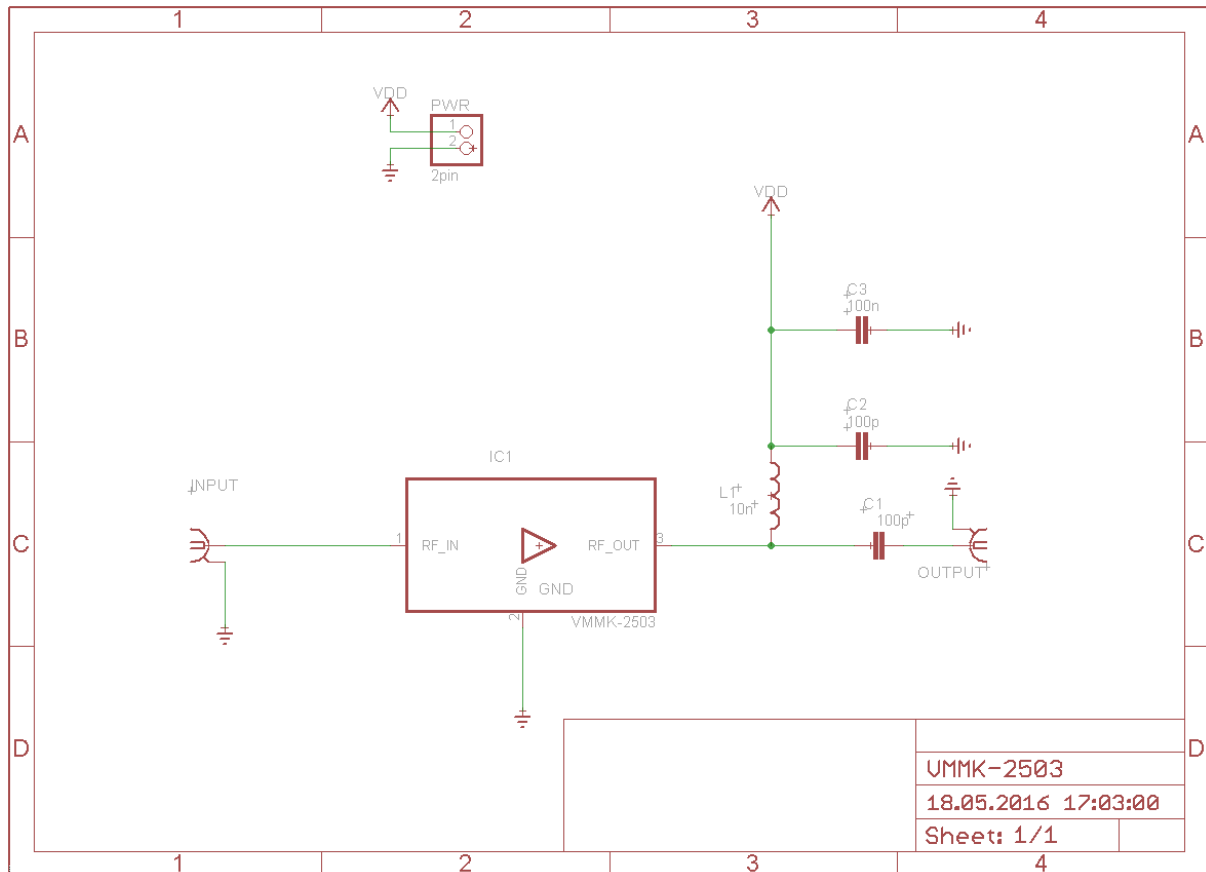
Obrázek č. 30: Hotový tištěný spoj pro součástku RF3376



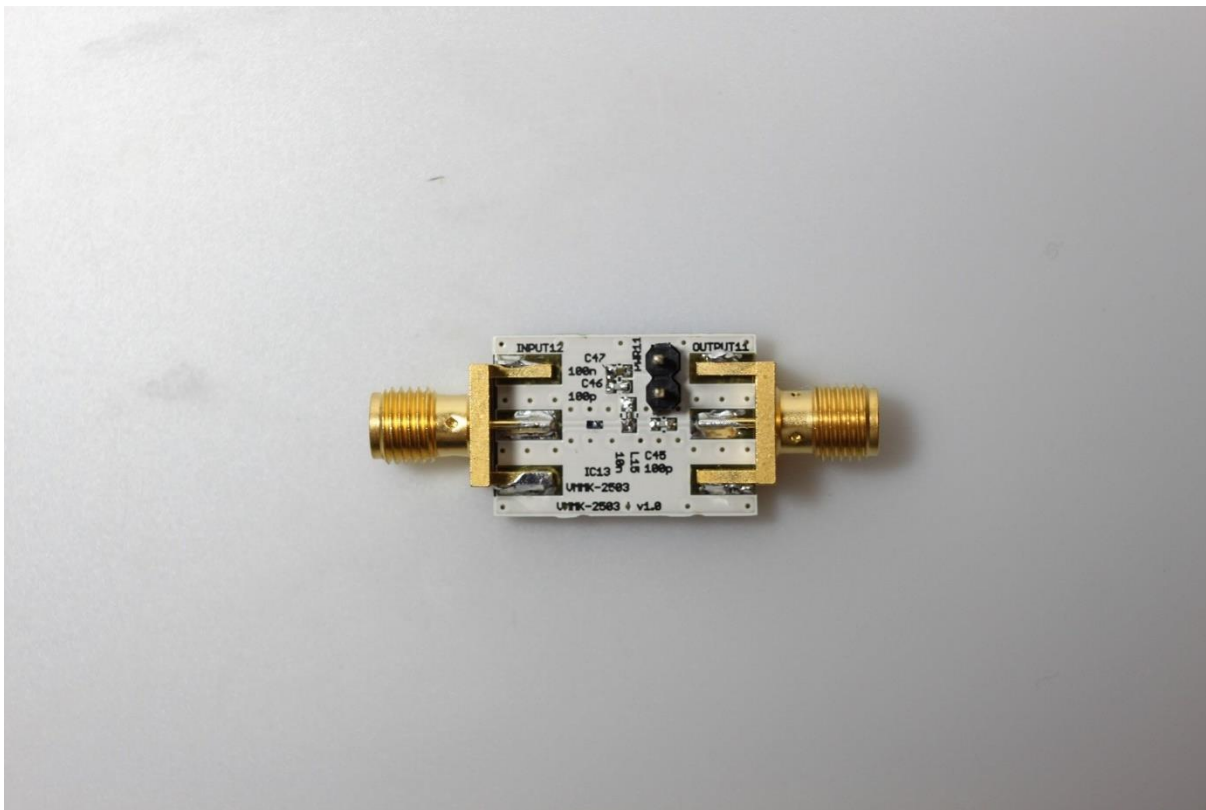
Obrázek č. 31: Schéma pro součástku VMMK-2203



Obrázek č. 32: Hotový tištěný spoj pro součástku VMMK-2203



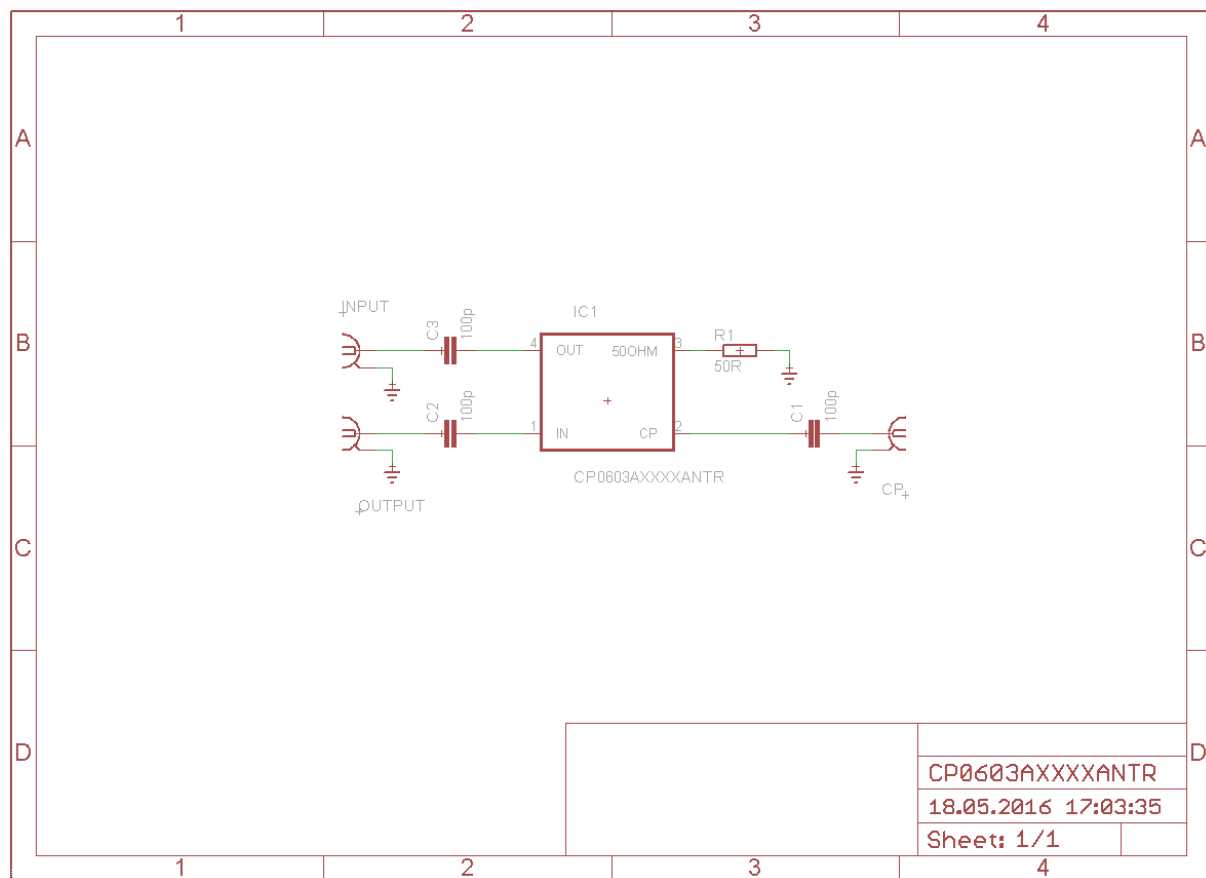
Obrázek č. 33: Schéma pro součástku VMMK-2503



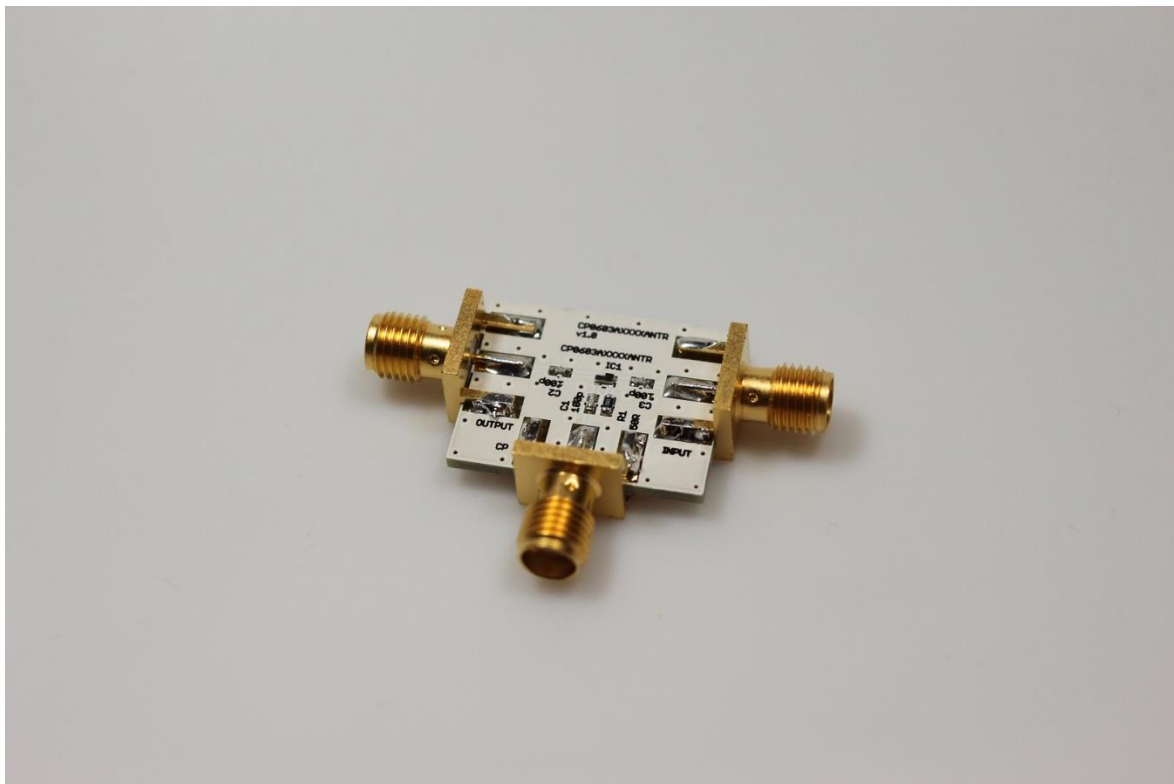
Obrázek č. 34: Hotový tištěný spoj pro součástku VMMK-2503

Jednotlivé zesilovače byly vybrány na základě jejich frekvenčního rozsahu (od 2 do 6 GHz) a napájecího napětí (3,3 až 5V) umožňující jejich paralelní zapojení na jeden zdroj elektrické energie. Zvláštní pozornost byla věnována zesilovači AG503-86G, který slouží jako nízkošumový zesilovač připojený za přijímací anténu a zesilovačům RF3376, VMMK-2203 a VMMK-2503, které sloužily jako zesilovače s dostatečně širokým pracovním pásmem pro zesílení konečného signálu.

Dělič signálu

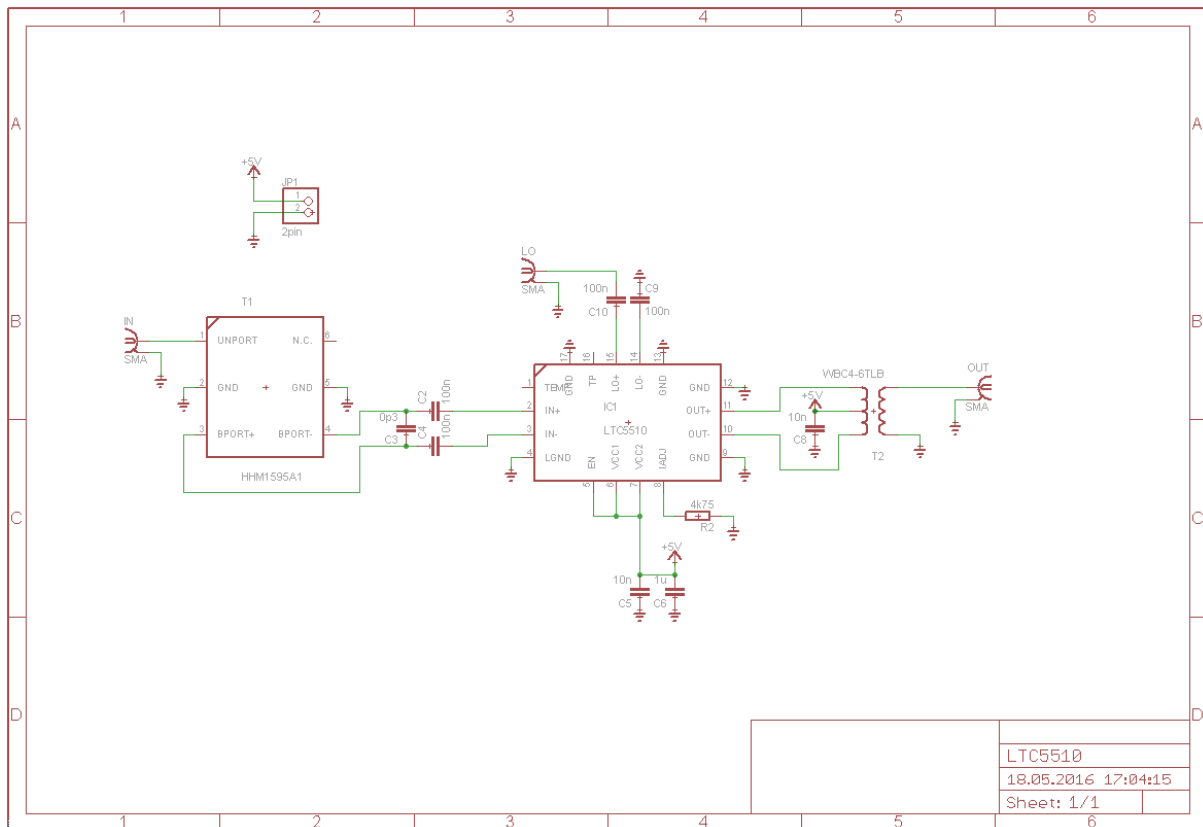


Obrázek č. 35: Schéma pro součástku CP0603AXXXXANTR

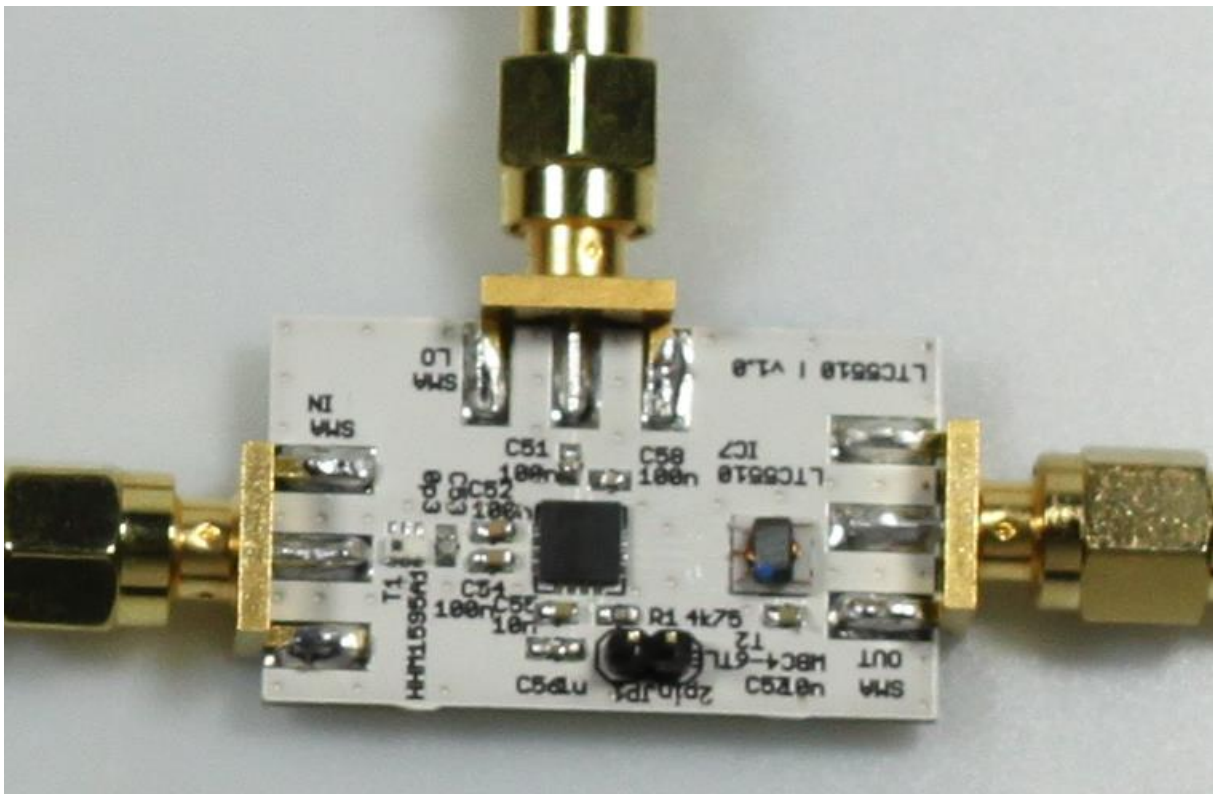


Obrázek č. 36: Hotový tištěný spoj pro součástku CP0603AXXXXANTR

Mixer



Obrázek č 37: Schéma pro součástku LTC5510



Obrázek č. 38: Hotový tištěný spoj pro součástku LTC5510

Jako mixer byla vybrána součástka LTC5510, napájena 3,3 V a využívající pro přizpůsobení impedancetakzvaný přizpůsobovací (symetrizační) člen, viditelný na obrázku č. 38 vpravo.

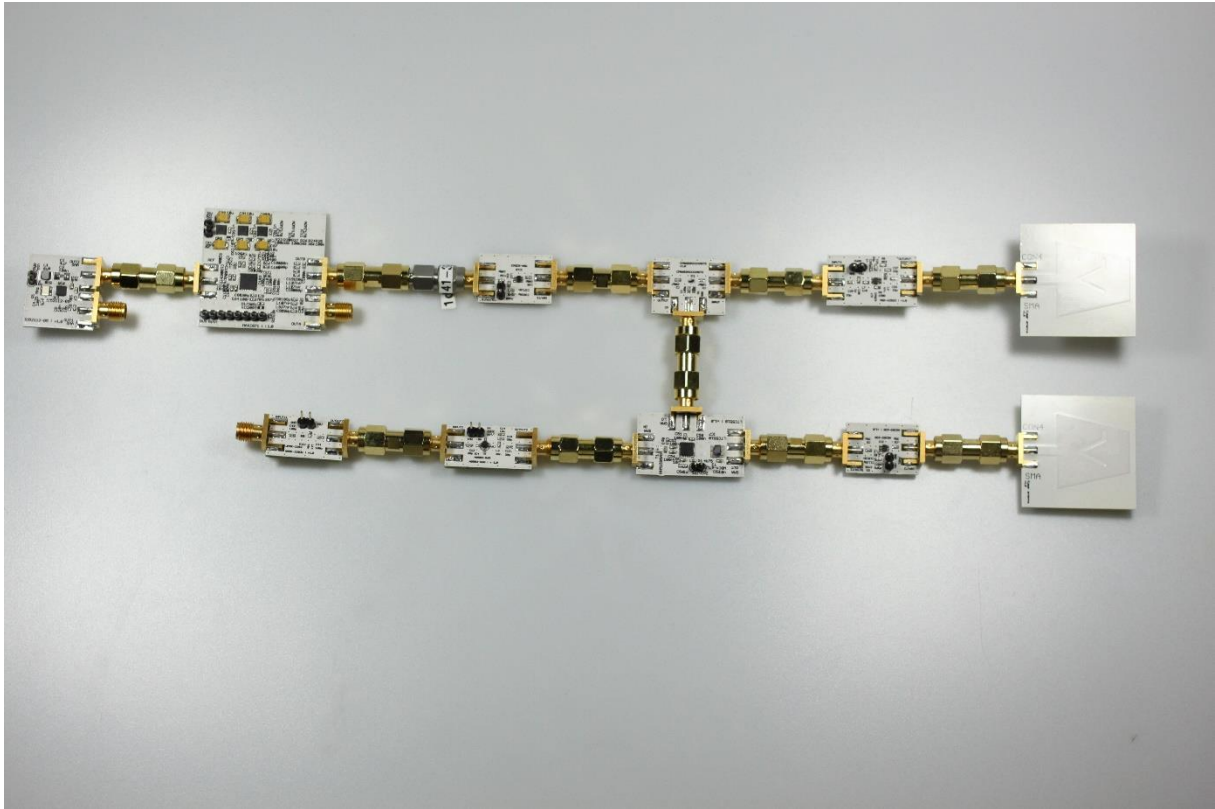
Jednotlivé desky jsem ručně osázel pasivními komponenty v pouzdrech velikosti 0603 a 0402 a v případě generátorů speciálními vysokokapacitními kondenzátory v pouzdrech SMC_B. Dále jsem na jednotlivé desky připájel jednotlivé integrované obvody, pro které jsem vytvořil pouzdra v prostředí EAGLE. Posledním krokem bylo připájení dvoupinových napájecích konektorů a koaxiálních konektorů pro vedení signálu. Po osazení všech komponent za pomoci pájecí pasty, horkého vzduchu a mikropájkky byly komponenty očištěny v ultrazvukové lázni, omyty čistou vodou a vysušeny ve vysoušecí komoře.

Po dokončení všech jednotlivých tištěných spojů jsem mohl přistoupit k sestavení modulárního UWB radaru z jednotlivých komponent, následného připojení antén a ověření jednotlivých částí radaru. Na obrázcích č. 8 a 9 jsou vidět dvě různé konfigurace navrženého modulárního UWB radaru. Tyto konfigurace jsou zapojeny dle schématu obecného návrhu UWB radaru uvedeného v kapitole č. 4.

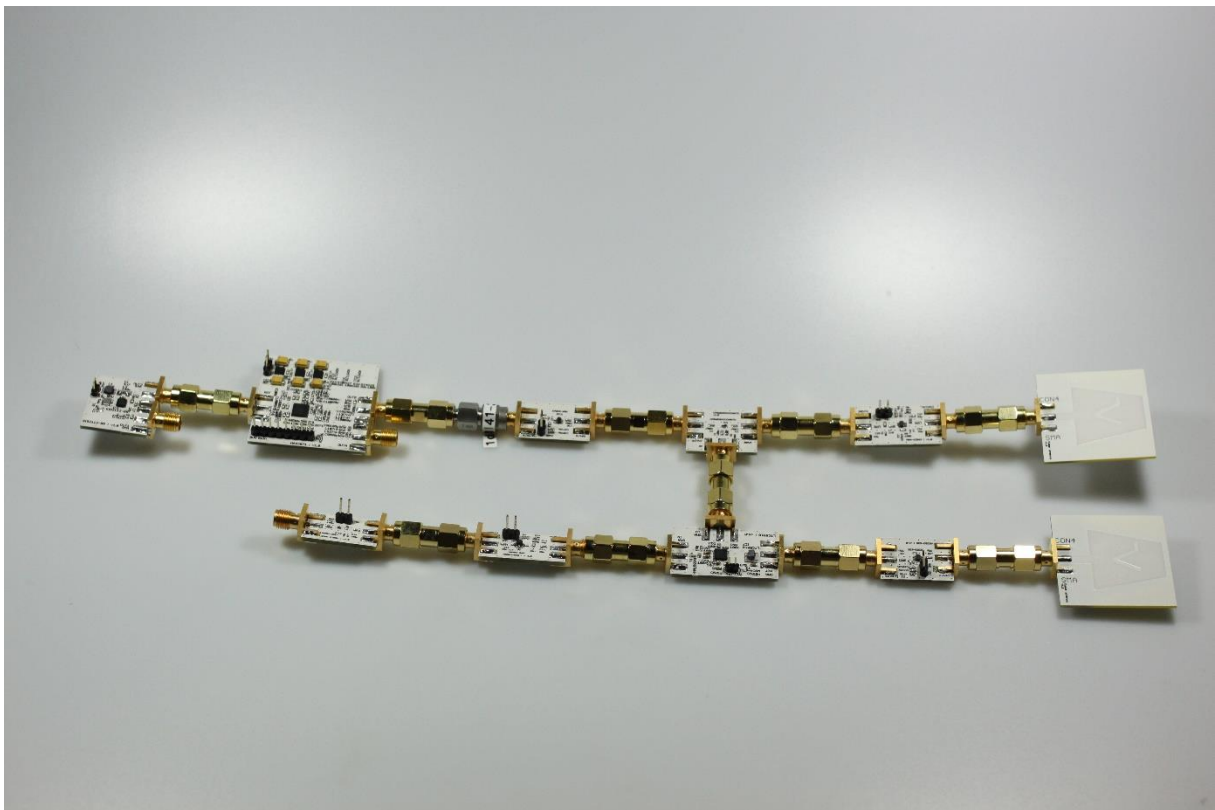
Zleva doprava se ve vysílací části jedná o generátor základního signálu SI-52112-B5, který generuje základní signál 100 MHz, dále je zapojen generátor MAX2871, který základní signál převádí na vysokofrekvenční. Následuje útlumový článek (1dB) a zesilovač AVT-51663-TR1G, dále dělič signálu CP0603AXXXXANTR, rozdělující signál na vysílací anténu a do mixeru, předposledním členem vysílací části je zesilovač MGA62563, posledním článkem vysílací části je anténa, v tomto případě Kumarova anténa „V.“

V přijímací části začíná systém Kumarovou anténou „V,“ dále pokračuje nízkošumovým zesilovačem AG503-86G, který vede signál do mixeru LTC5510, ze kterého je signál veden do dvojice zesilovačů VMMK-2503 a VMMK-2203, za které je již možné připojit osciloskop, či A/D převodník pro další zpracování signálu v PC.

Kompletní fotodokumentace jednotlivých modulů je obsažena v příloze na CD.



Obrázek č. 39: Jednotlivé propojené moduly UWB radaru 1

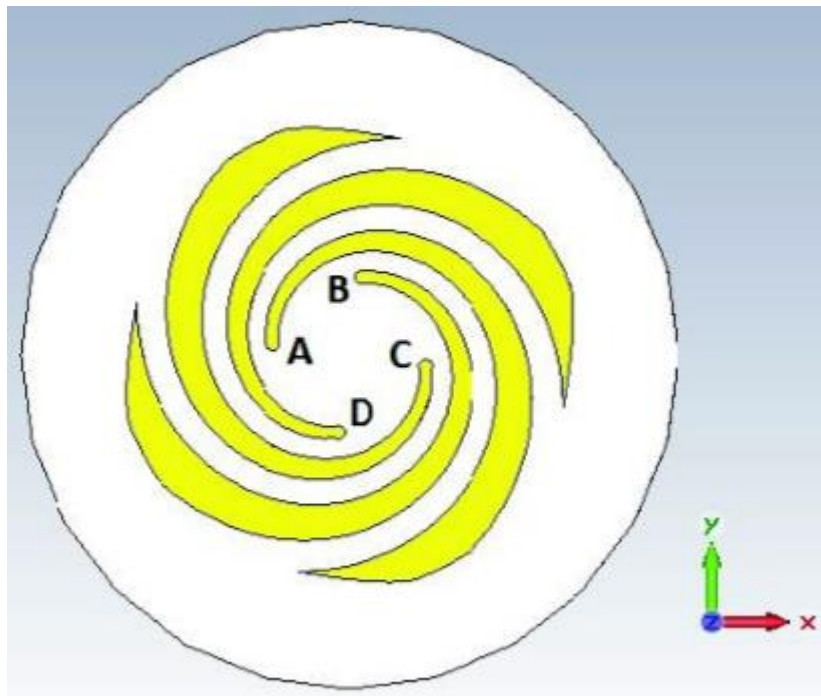


Obrázek č. 40: Jednotlivé propojené moduly UWB radaru 2

5.1. Antény

V následující kapitole popisují jednotlivé antény k mému UWB radaru, jejich parametry a výrobu.

Jednou z nepostradatelných součástí UWB radaru jsou vysílací a přijímací antény. U většiny nalezených prací byly využity takzvané „trychtýřovité“ antény, které poskytují dobré směrování signálu v laboratorních podmínkách, avšak pro využití v reálné aplikaci jsou nevhodné pro svoji velikost. Naštěstí se v poslední době začaly vyskytovat v literatuře články představující miniaturizované antény pro UWB využití. Při aplikaci mého UWB radaru jsem využil antény Zita, která se skládá ze dvou spirálních dipólů, funkčních v pásmech od 3 do 12 GHz a vzájemnou vazbou -20dB. Anténa vyzařuje kolmo na její umístění a byla testována na radaru určeném pro detekci tepové frekvence [32].

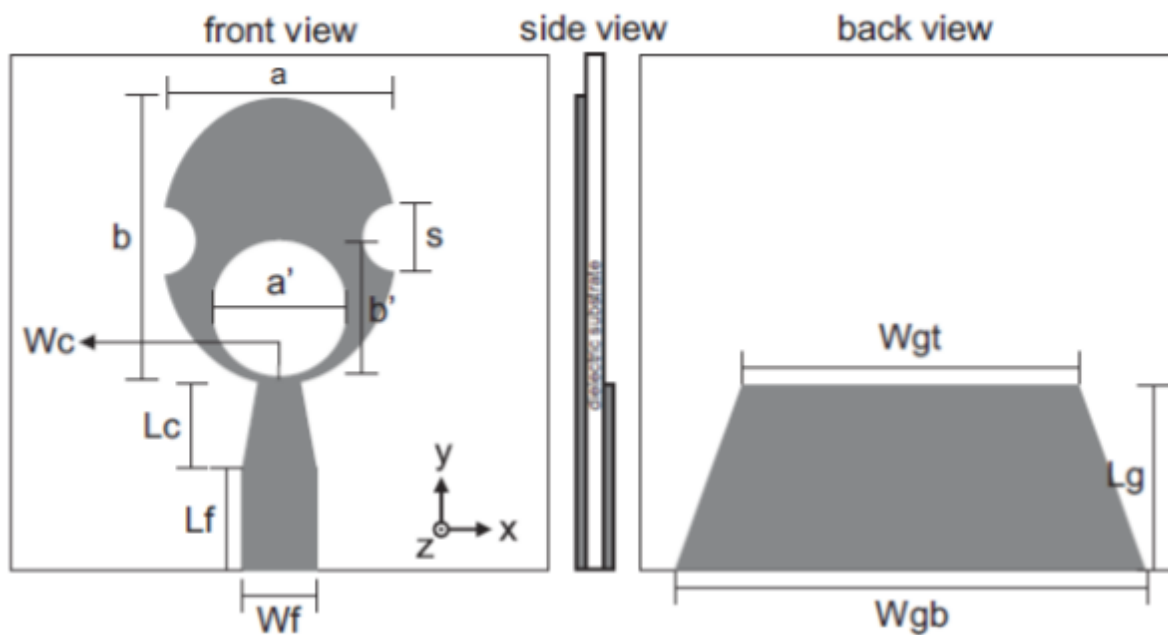


Obrázek č. 41: Spirální antény [31]



Obrázek č. 42: Foto Zitovy antény

Jako další možnost jsem našel anténu Marindry [34], který na základě požadavků UWB technologie vytvořil funkční planární eliptický monopól a provedl ověření jeho vlastností, které nevykazovaly chyby.



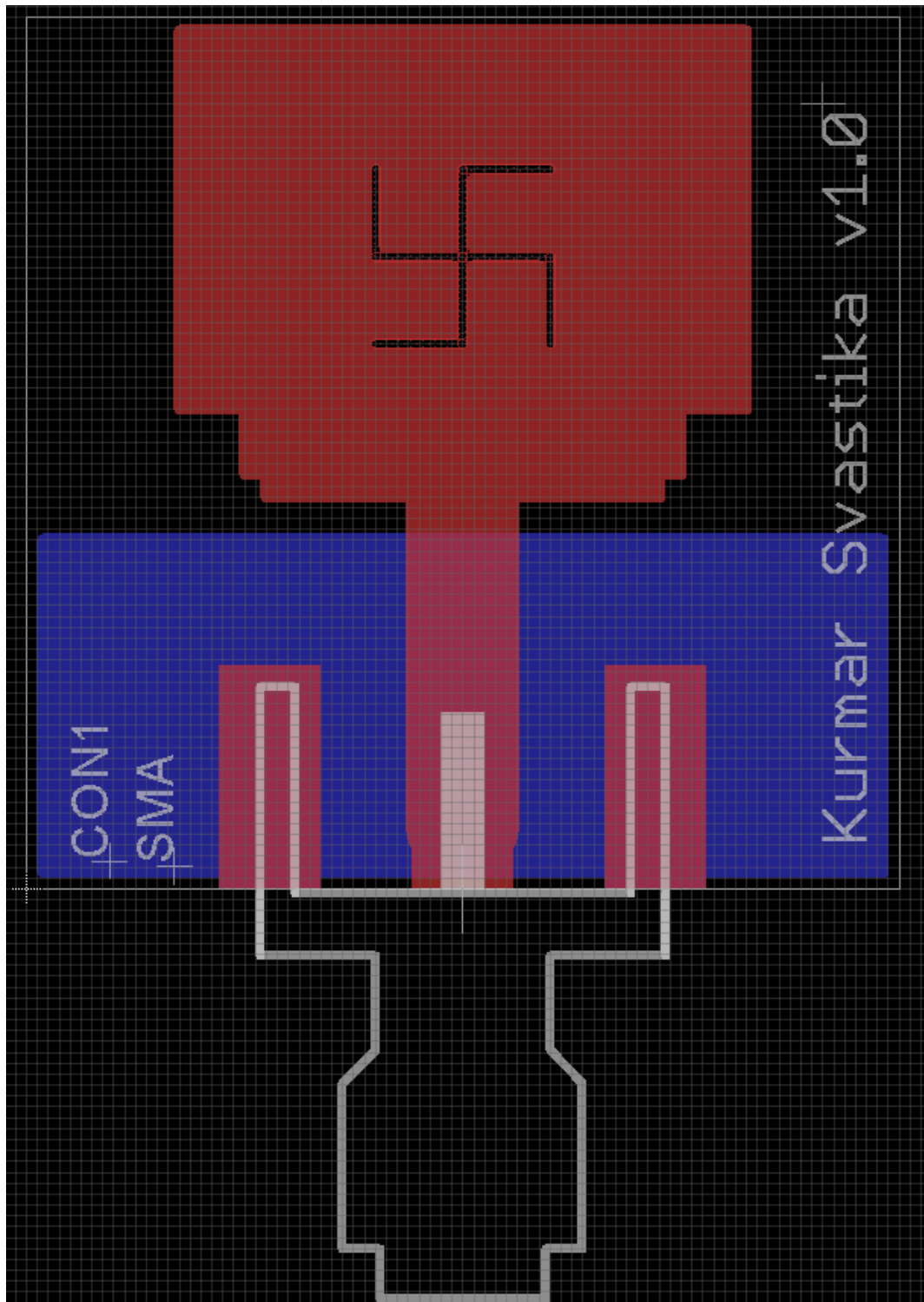
Obrázek č. 43: Anténa navrhovaná Marindrou [34]



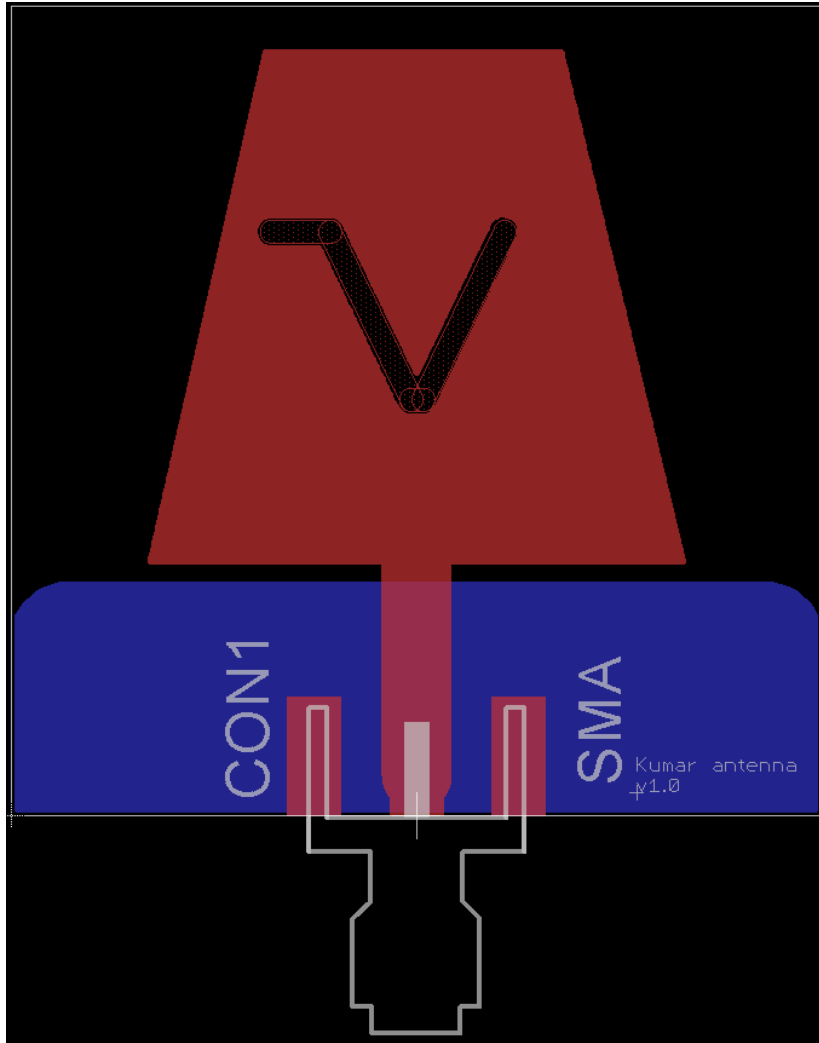
Obrázek č. 44: Foto Marindrový Antény

Jedním z nejvýznamnějších přispěvatelů do oblasti antén UWB technologie je Kumar, od kterého jsem převzal design dvou kompaktních planárních UWB antén o rozměrech 35x35

mm, respektive 20x20 mm, které pracují v pásmech od 2,3 do 11,3 GHz. Antény jsou si návrhově podobné, využívají vložené struktury do vysílací plochy antény. Jedinou nevýhodou těchto antén je jejich všesměrové vysílání, které je předurčuje spíše k využití v komunikaci. [46]



Obrázek č. 45: Kumarova anténa „Svastika“

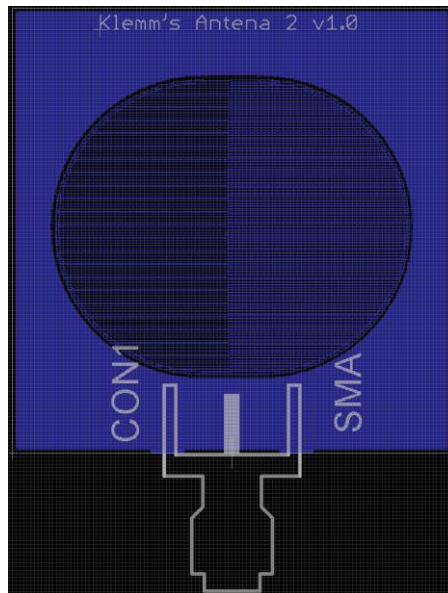


Obrázek č. 46: Kumarova anténa „V“

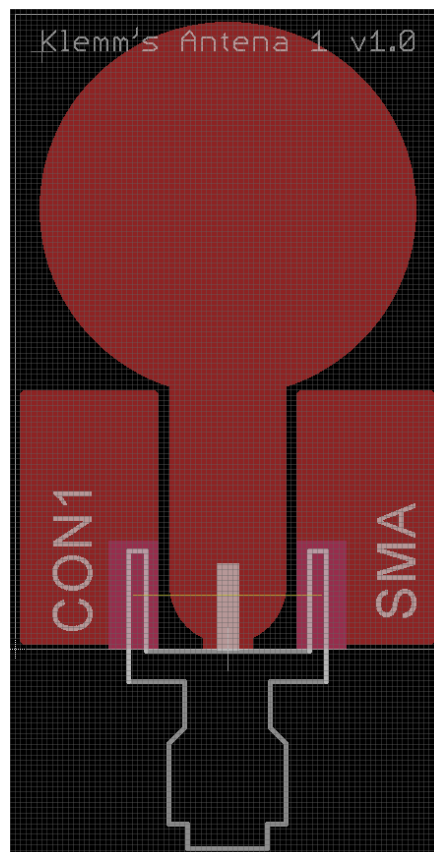


Obrázek č. 47: Foto Kumarových antén

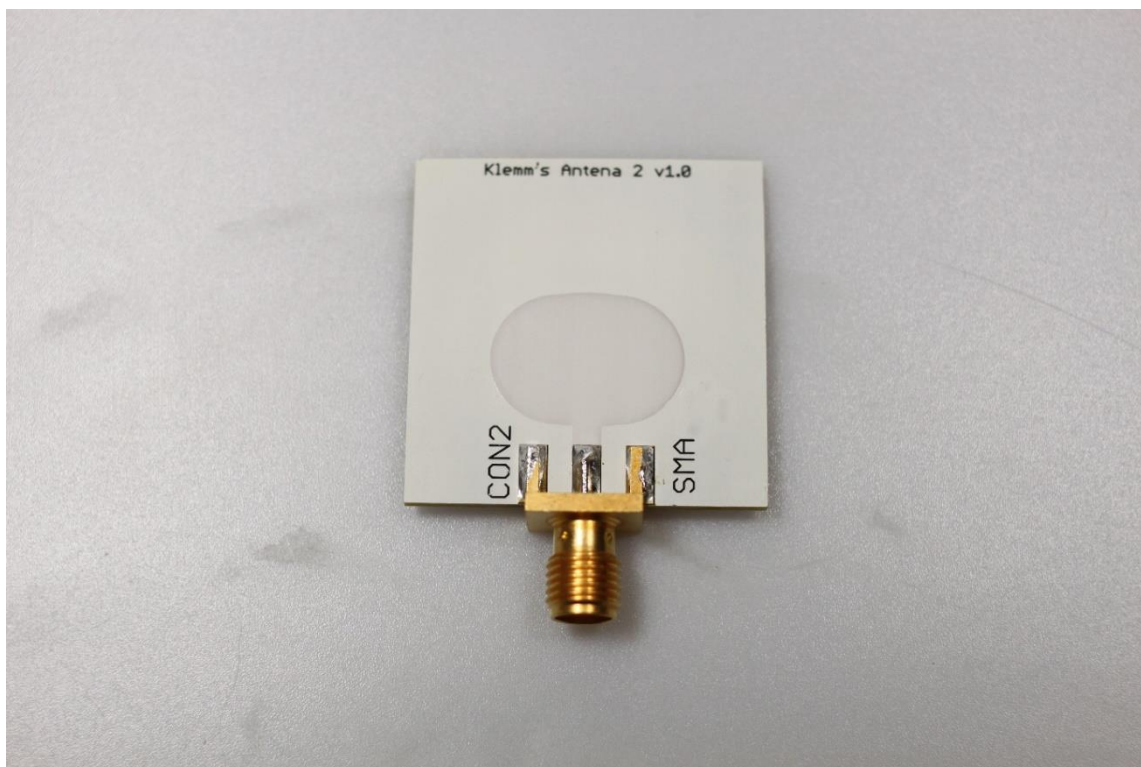
Při zkoumání problematiky jsem také narazil na článek Klemm a Troeste, kde byly navrženy flexibilní UWB antény vhodné pro integraci do povlečení, či případně oblečení. Jejich využití by se dalo nalézt např. u zásahových jednotek hasičského záchranného sboru, či armády [28].



Obrázek č. 48: Klemmova anténa č. 1



Obrázek č. 49: Klemmova anténa č. 2



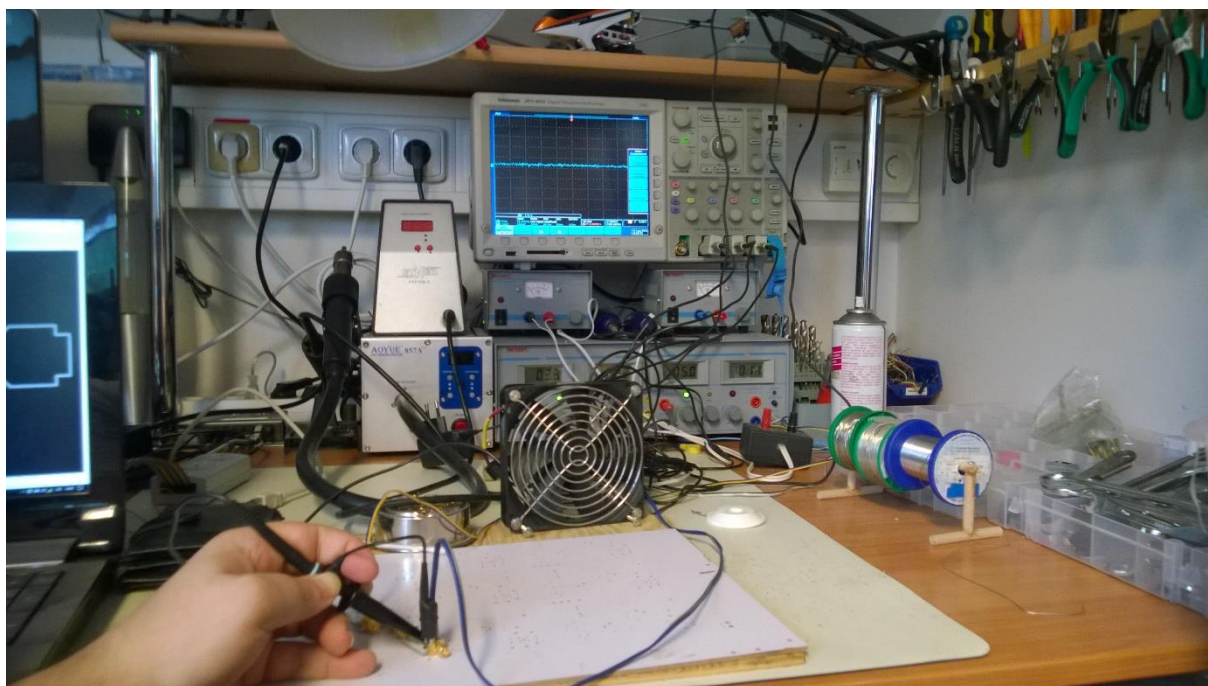
Obrázek č. 50 Foto Klemmovy antény č. 1



Obrázek č. 51: Foto Klemmovy antény č. 2

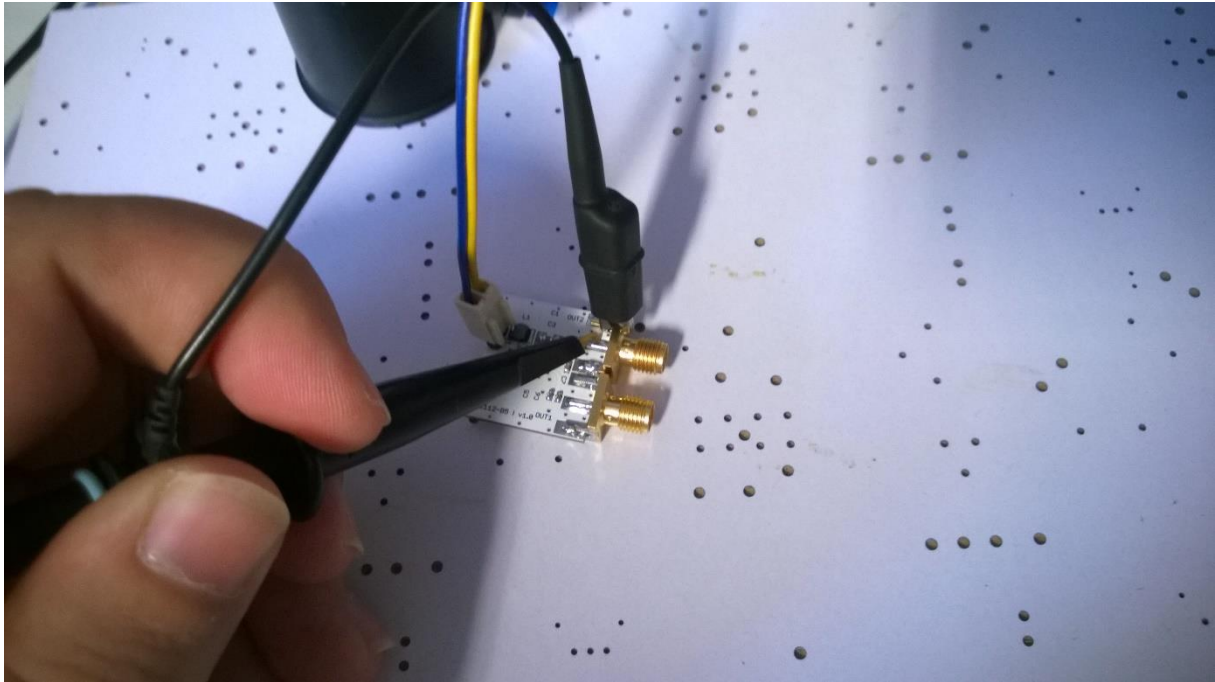
6. Ověření funkčnosti UWB radaru

Po výrobě všech modulů a antén jsem mohl přistoupit k ověření funkčnosti UWB radaru, které probíhalo za pomoci připojení jednotlivých modulů na generátor nízkofrekvenčního signálu SI5212-B5. Nebylo možno změřit signály vysokofrekvenční části z důvodu omezení maximální pracovní frekvence osciloskopu použitého k měření (Tektronix DPO 4045). Vysokofrekvenční části byly ověřeny sledováním spotřeby elektrické energie a sledováním odečteného signálu z celkového UWB radaru. Ověřování probíhalo na pracovišti Albertov.

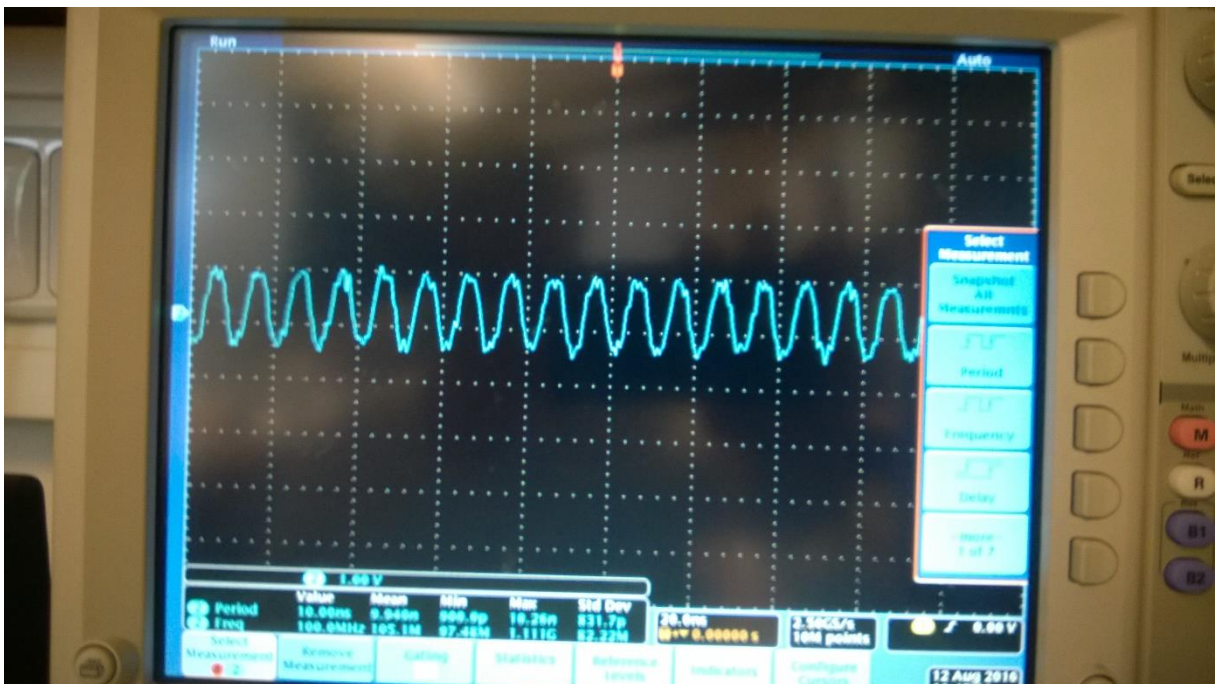


Obrázek č. 52: Ověřovací aparatura

První ověřovanou součástí byla generátor základního signálu SI5212-B5, jenž uspokojivě generoval signál o frekvenci 100 MHz na obou výstupech.

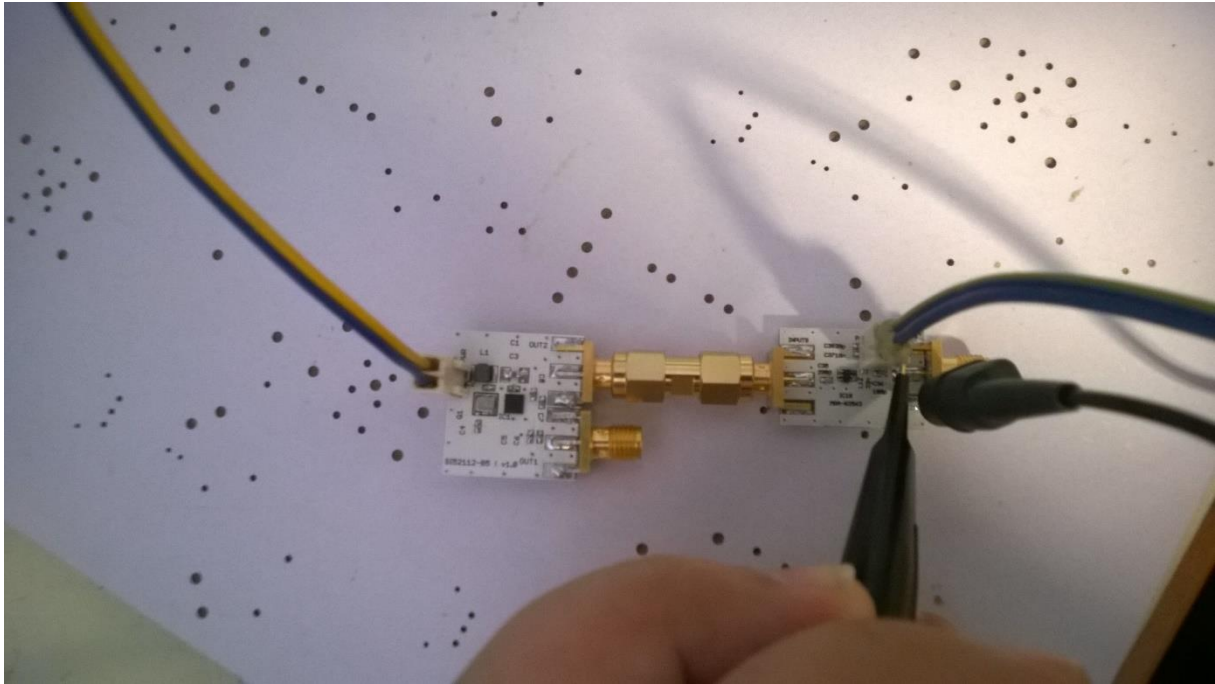


Obrázek č. 53: Ověření součástky SI5212-B5

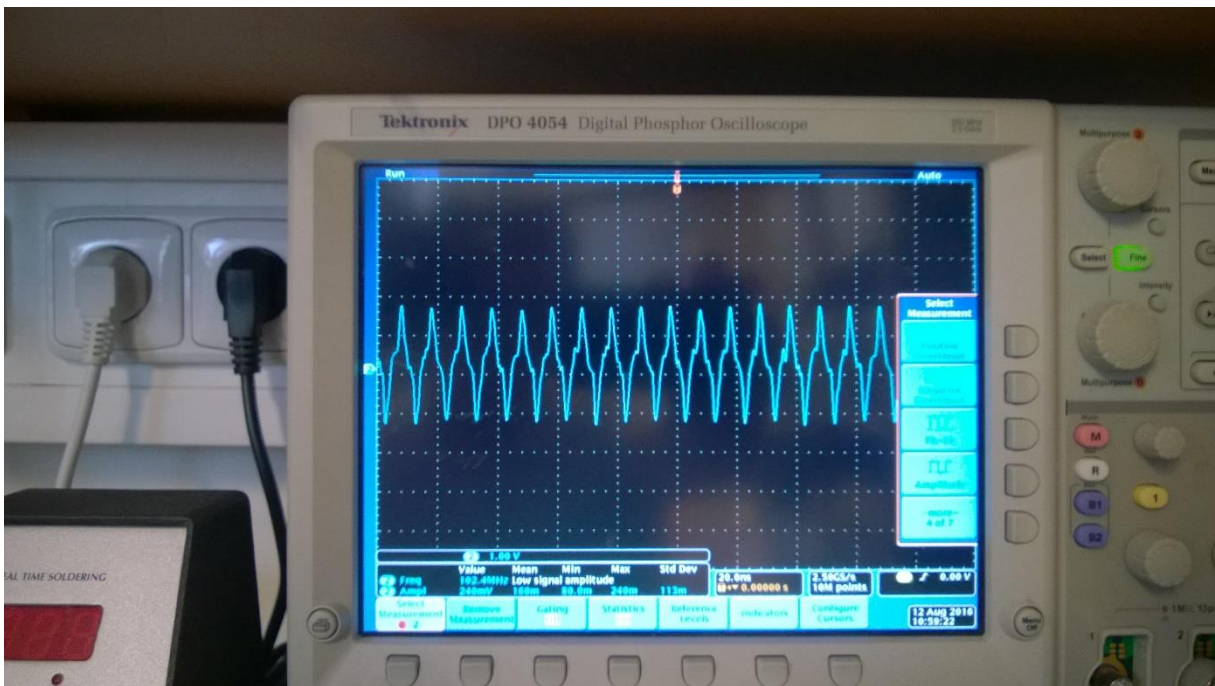


Obrázek č. 54: Výstupní signál součástky SI5212-B5

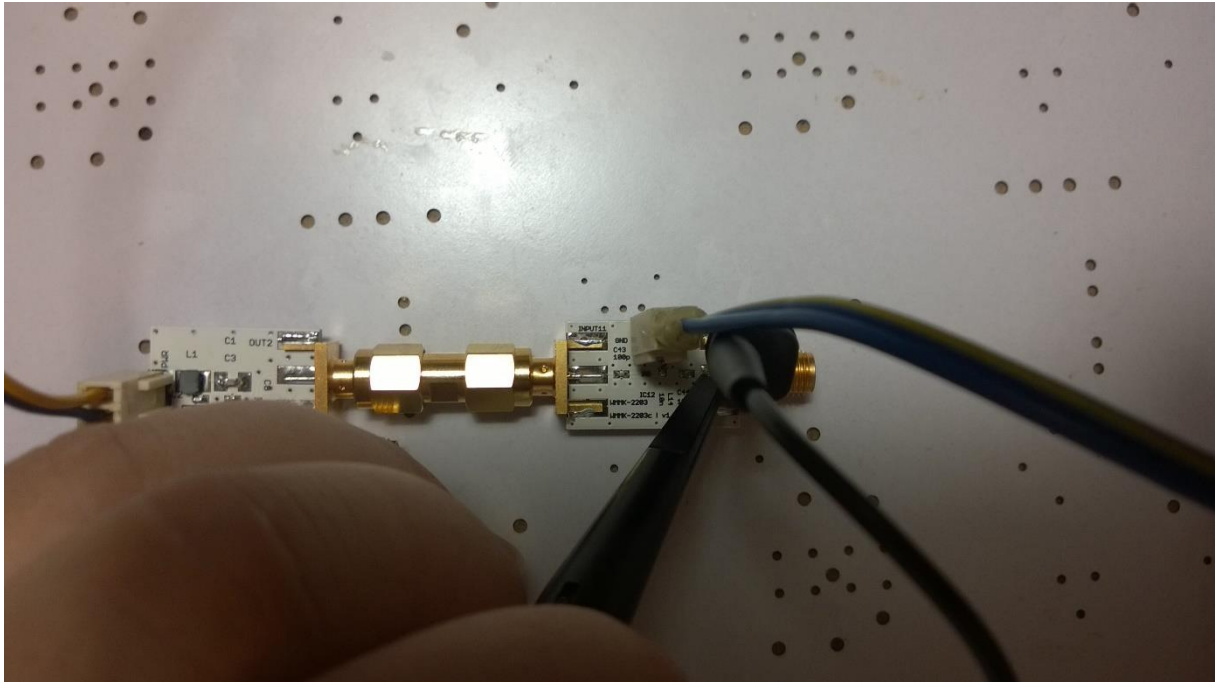
Následně jsem postupně připojoval jednotlivé zesilovače na již ověřený generátor signálu a kontrolou jejich výstupu osciloskopem ověřil jejich funkčnost. Pro každý zesilovač jsem vyrobil minimálně dvě provedení, přičemž u nefunkčních kusů jsem provedl kontrolu elektrických cest za pomoci multimetru a opravil případné nedostatky.



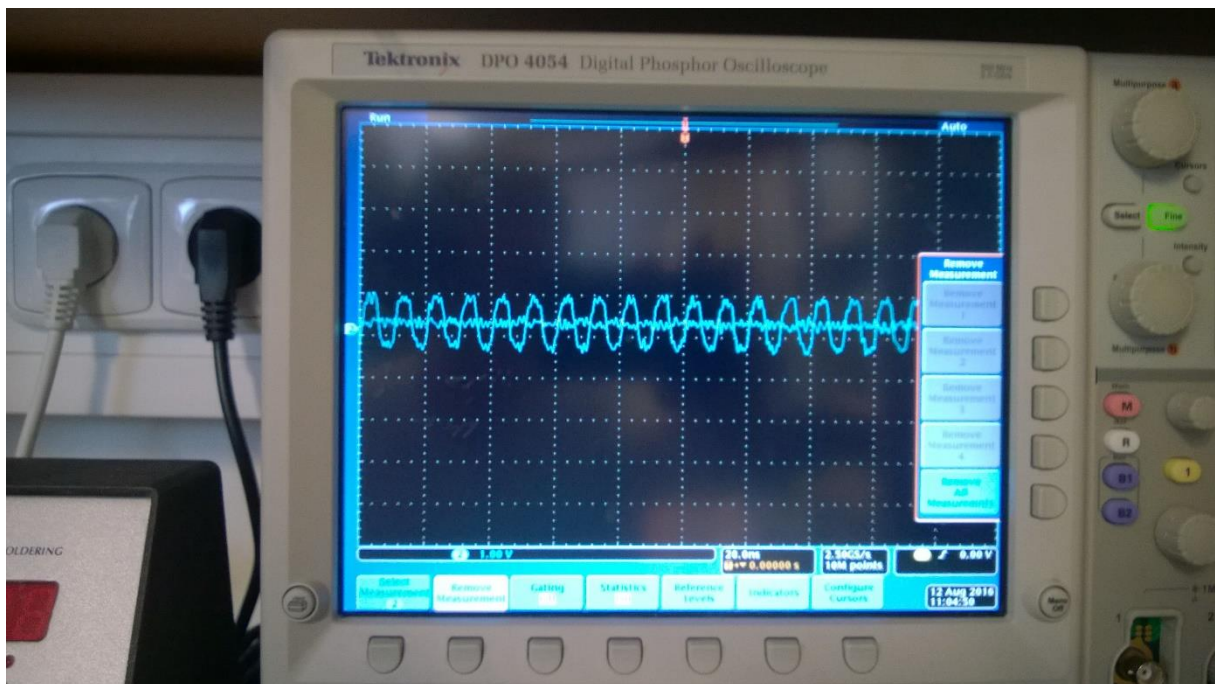
Obrázek č. 55: Ověření součástky MGA-64135



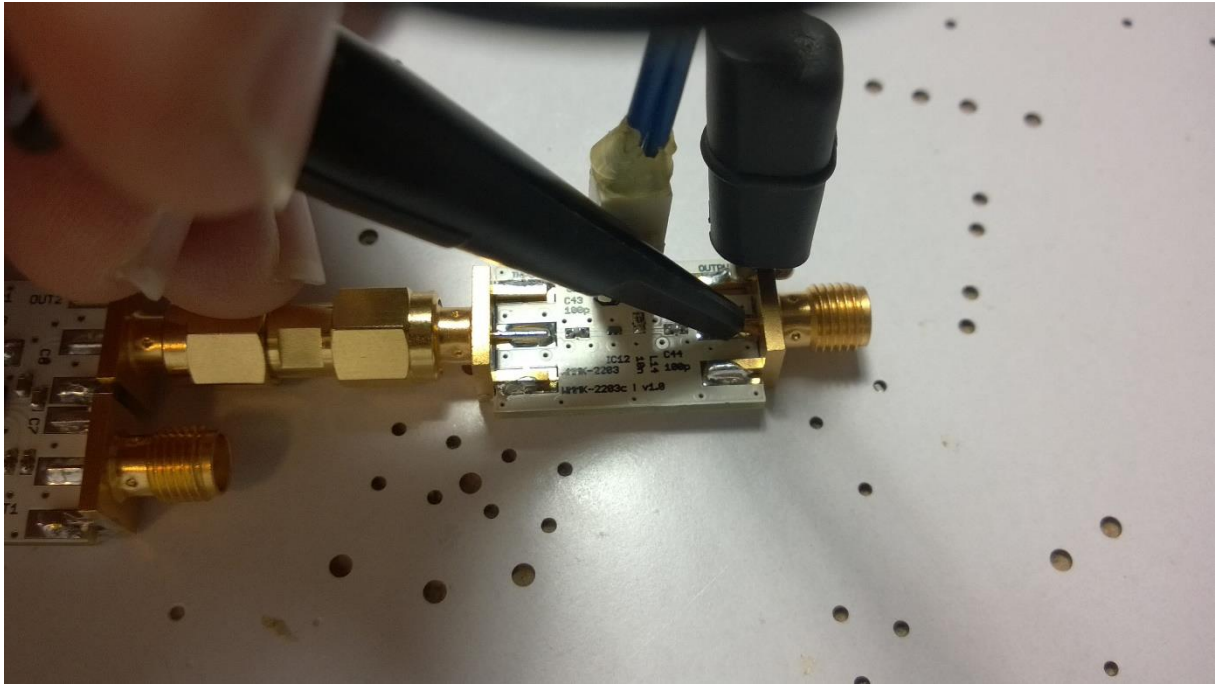
Obrázek č. 56: Výsledný signál součástky MGA-64135



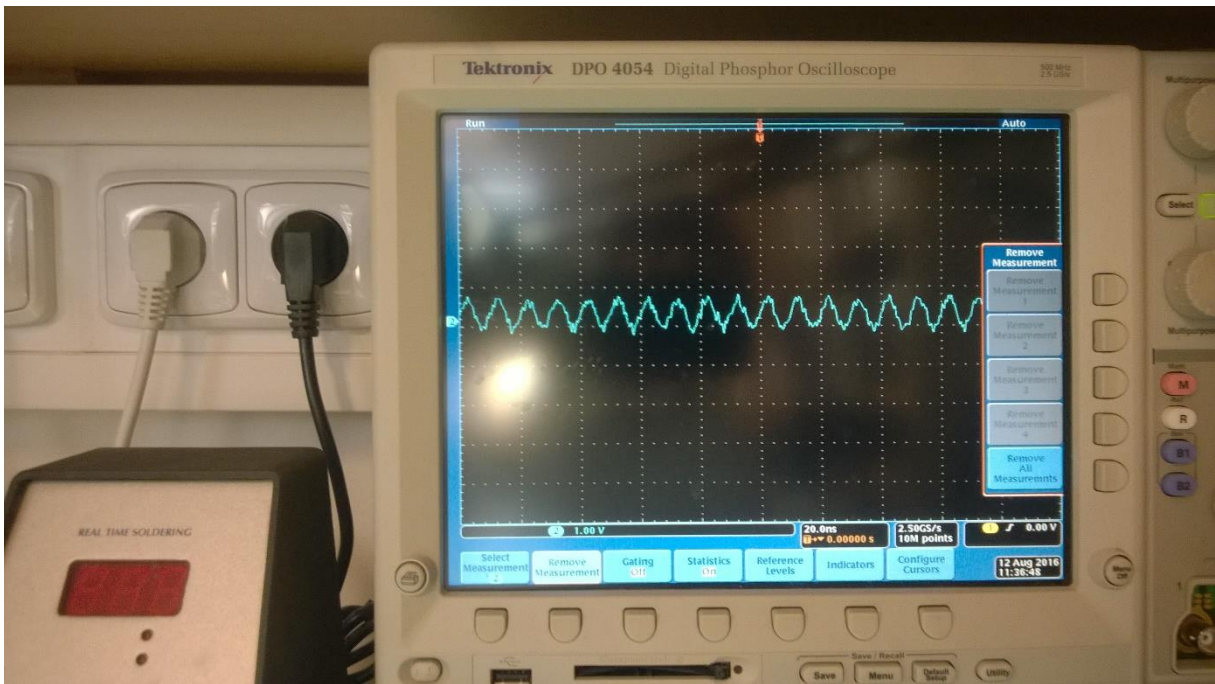
Obrázek č. 57: Ověření součástky VMMK-2503



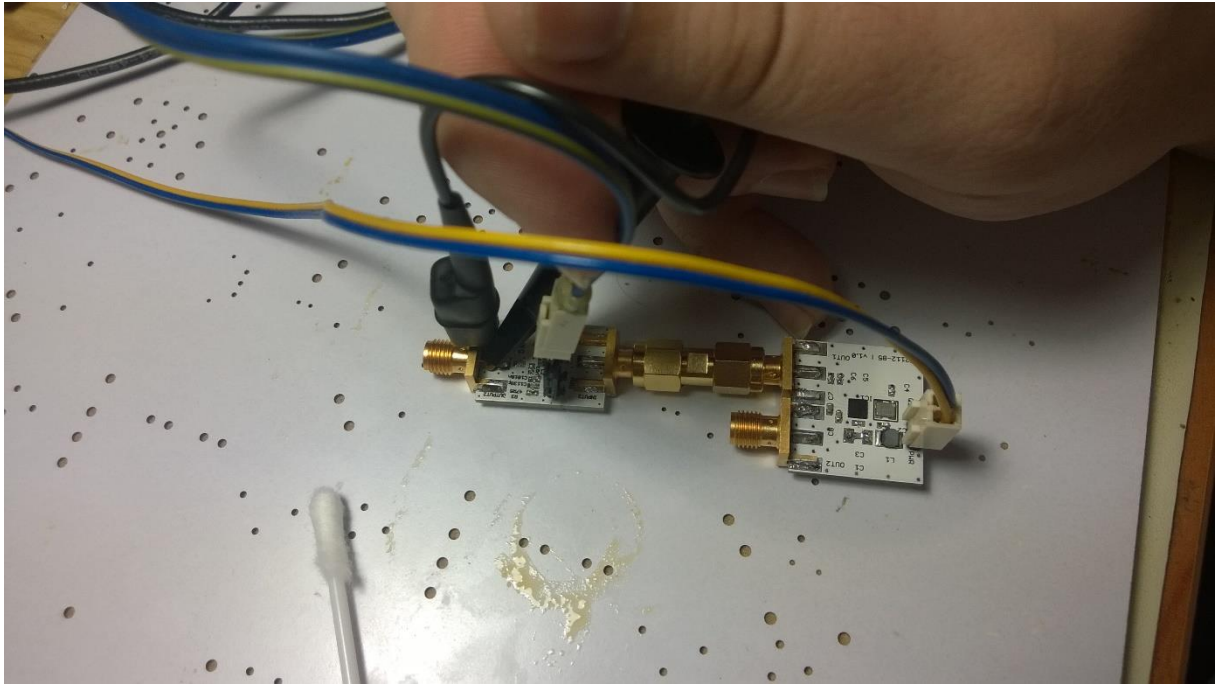
Obrázek č. 58: Výsledný signál součástky VMM-2503 spolu s rušením způsobeným druhou sondou osciloskopu



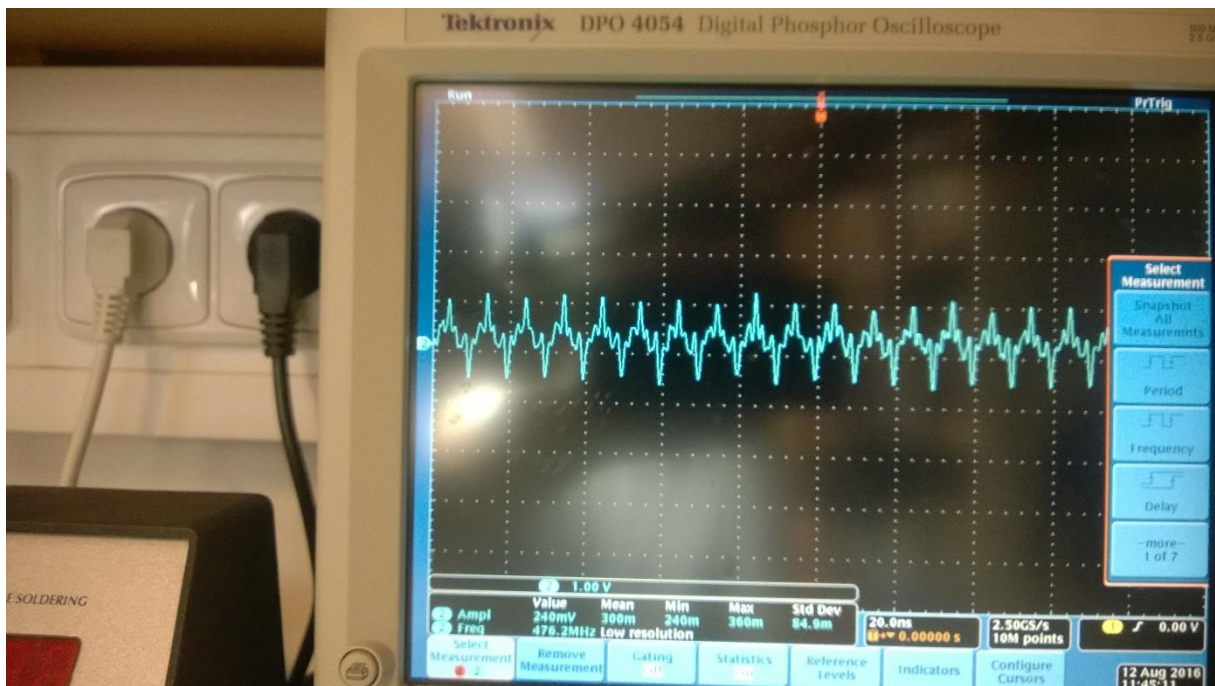
Obrázek č. 59: Ověření součástky VMMK-2203



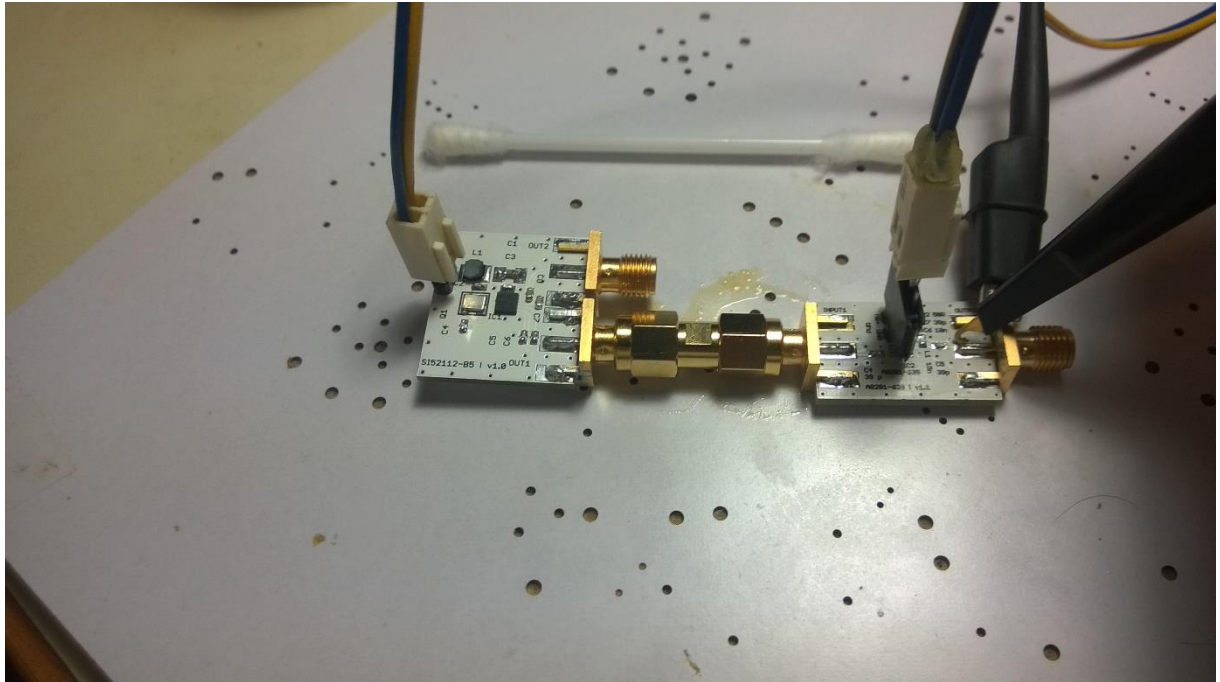
Obrázek č. 60: Výsledný signál součástky VMMK-2203



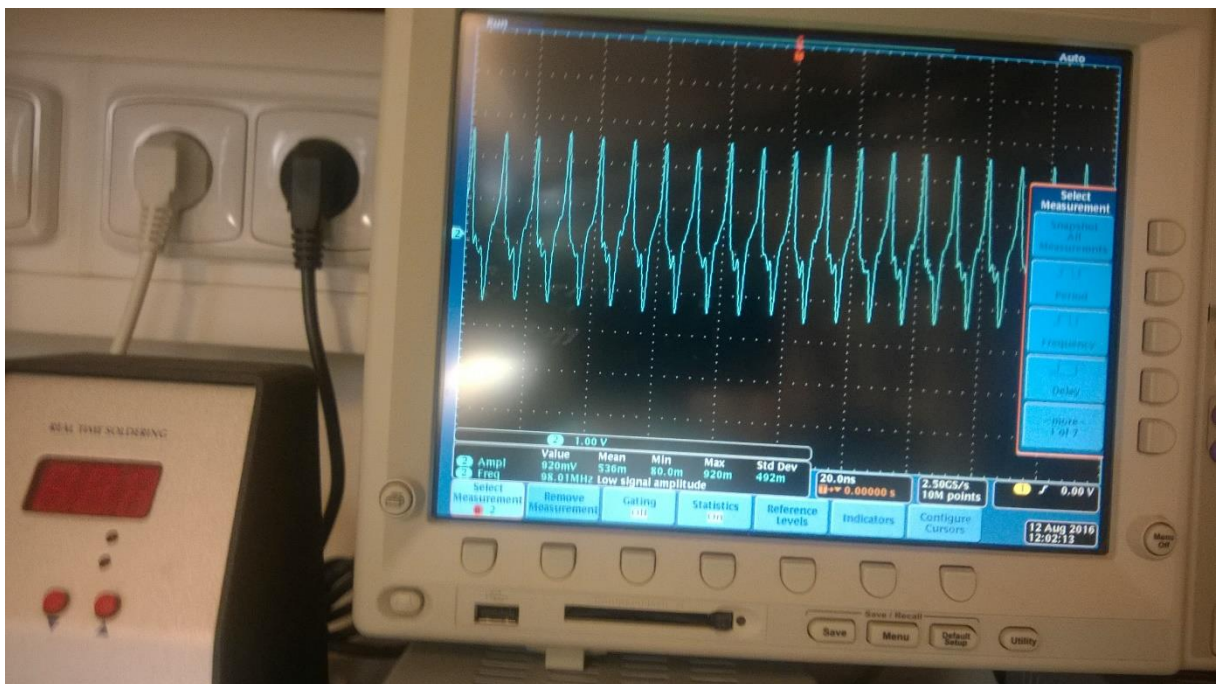
Obrázek č. 61: Ověření součástky MGA-71543



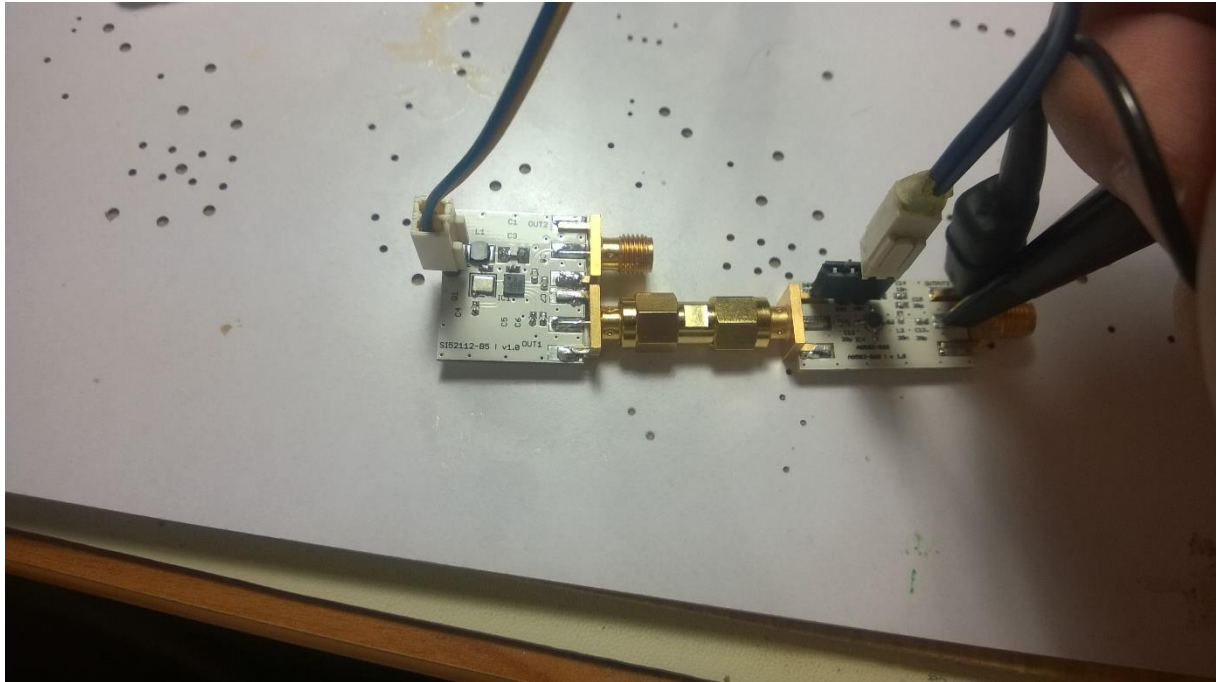
Obrázek č. 62: Výsledný signál součástky MGA-71543



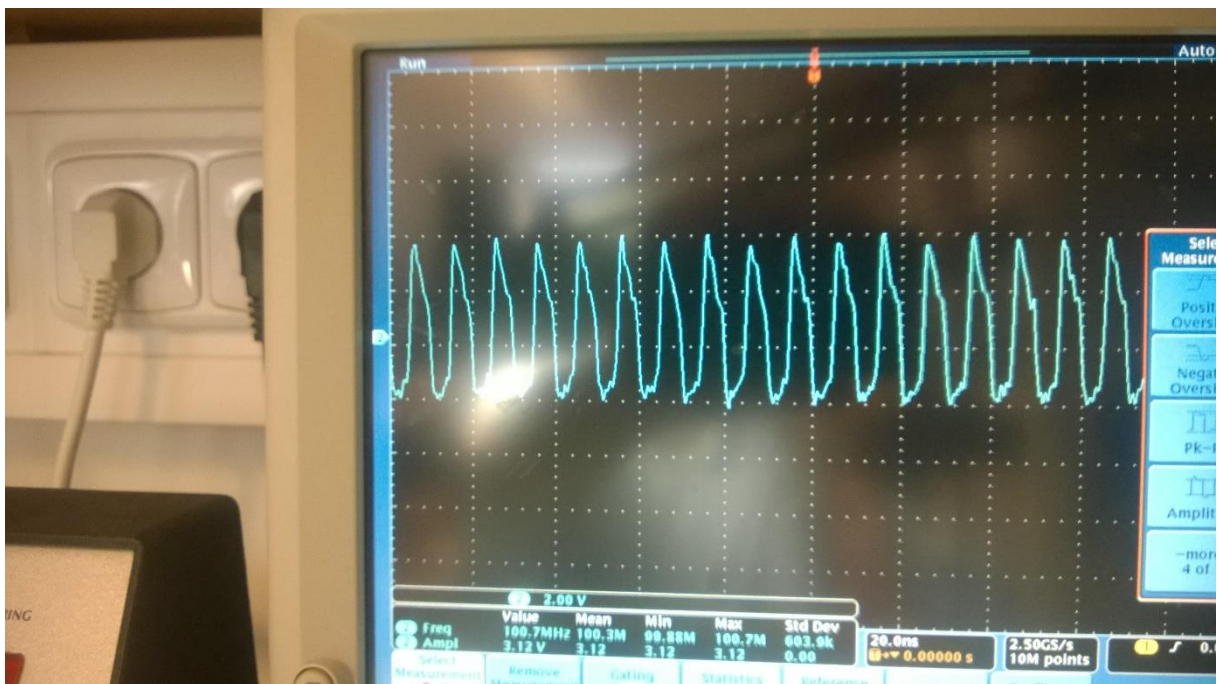
Obrázek č. 63: Ověření součástky AG201-63G



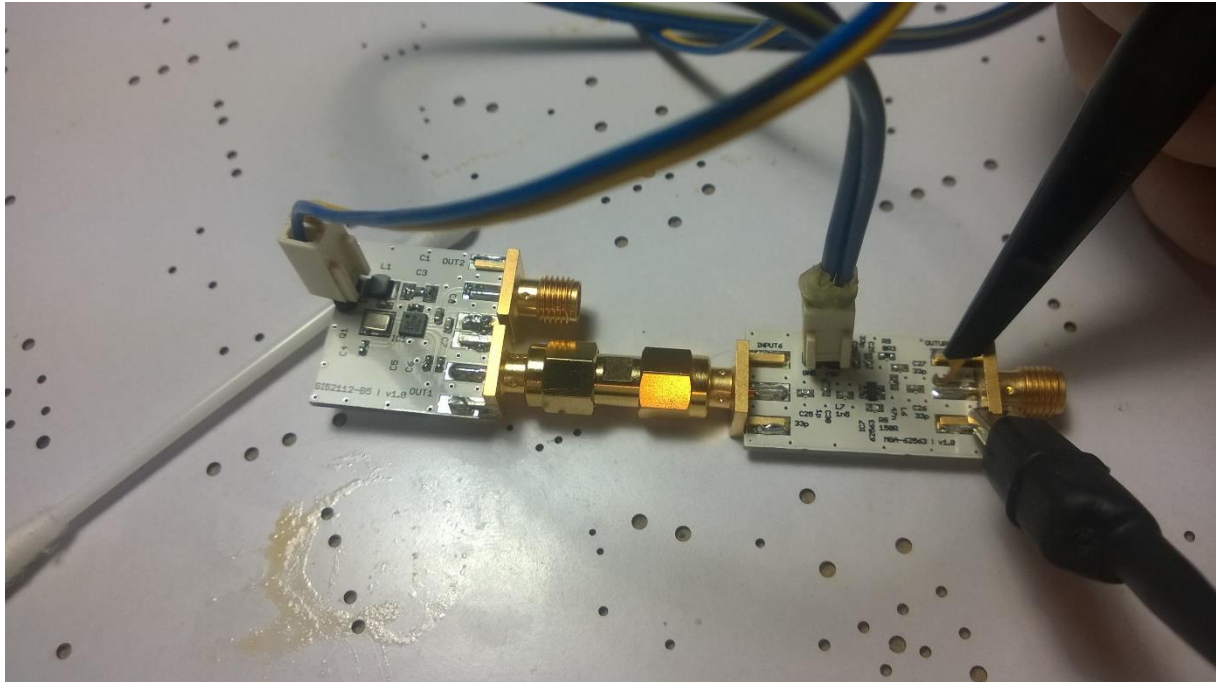
Obrázek č. 64: Výsledný signál součástky AG201-63G



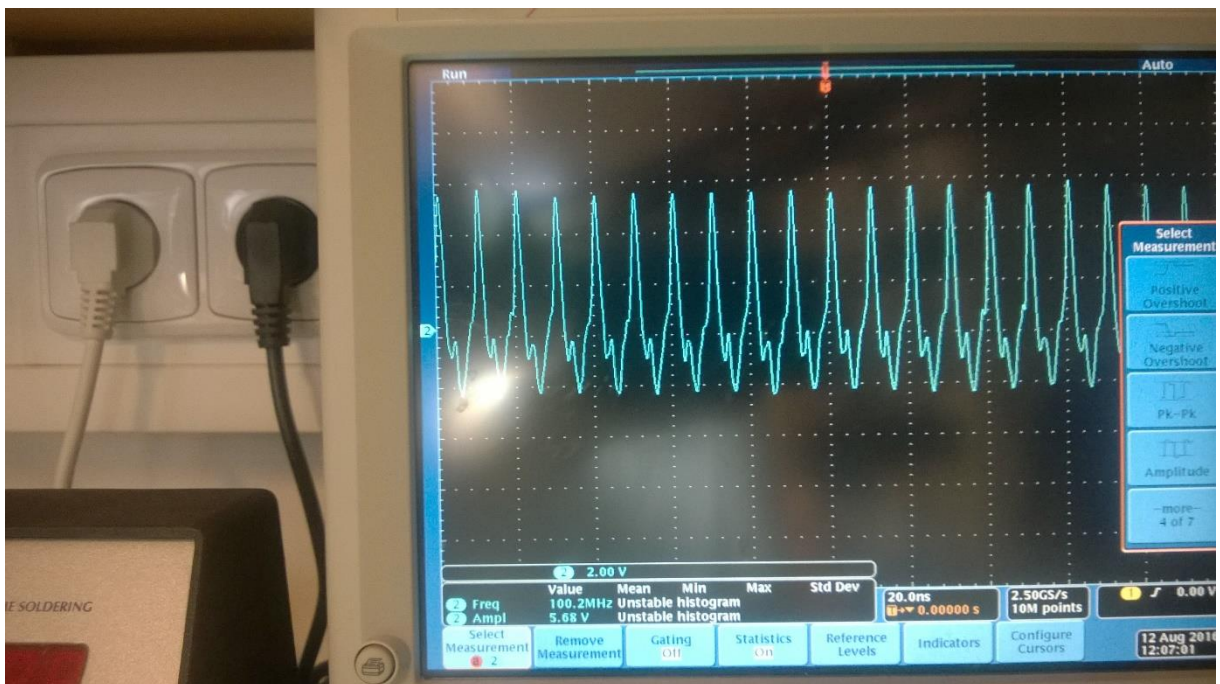
Obrázek č. 65: *Ověření součástky AG503-86G*



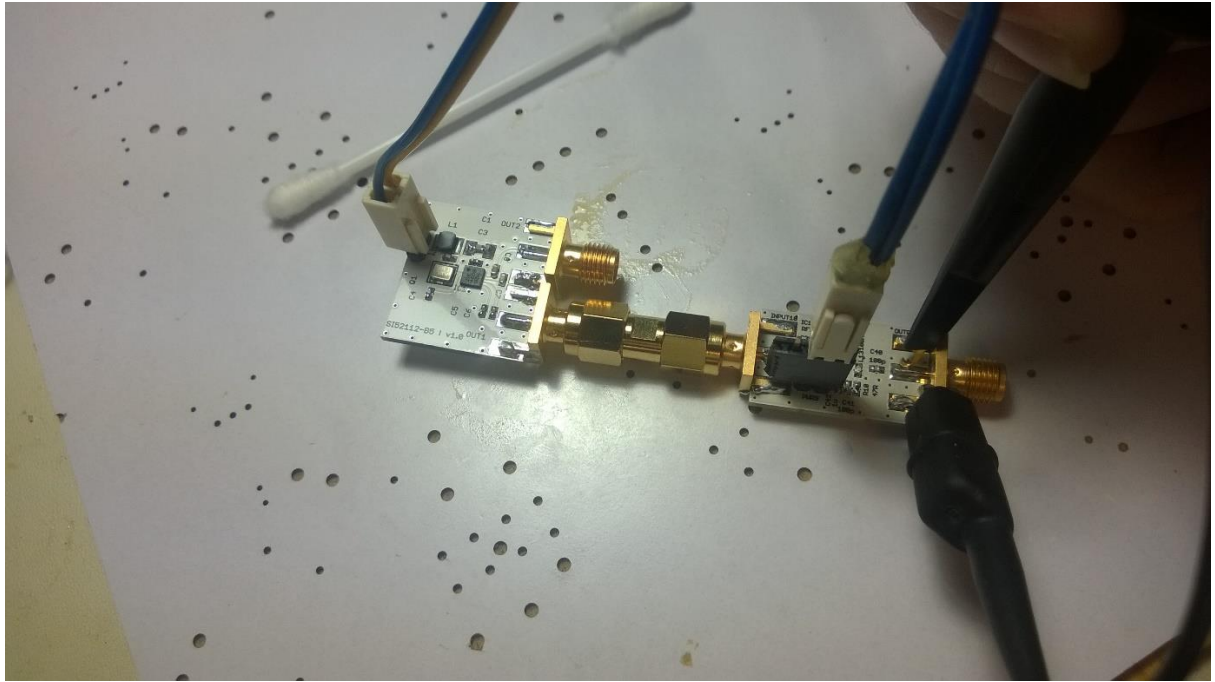
Obrázek č. 66: *Výsledný signál součástky AG503-86G*



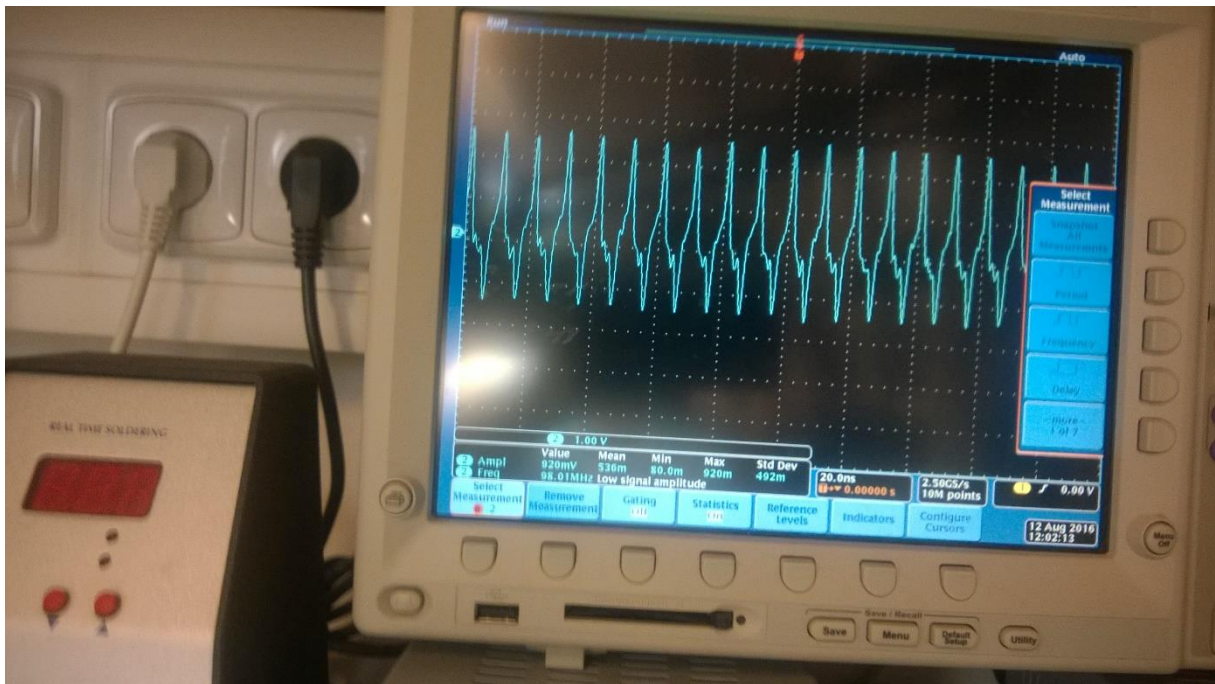
Obrázek č. 67: Ověření součástky MGA-62563



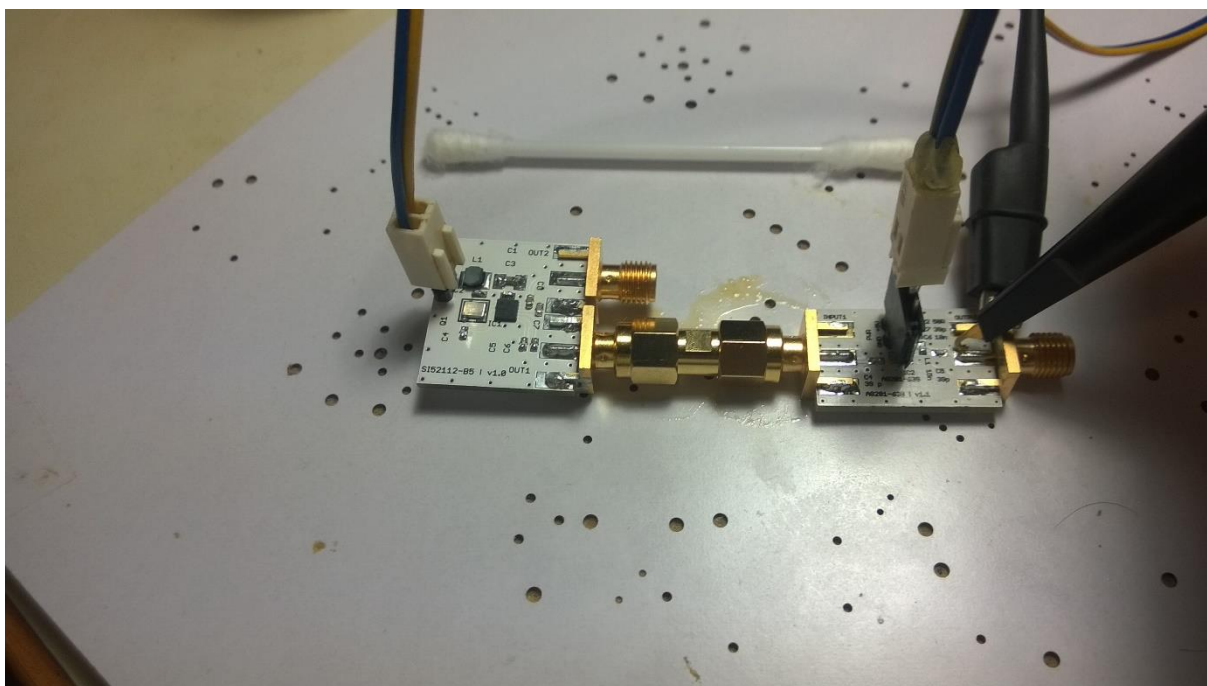
Obrázek č. 68: Výsledný signál součástky MGA-62563



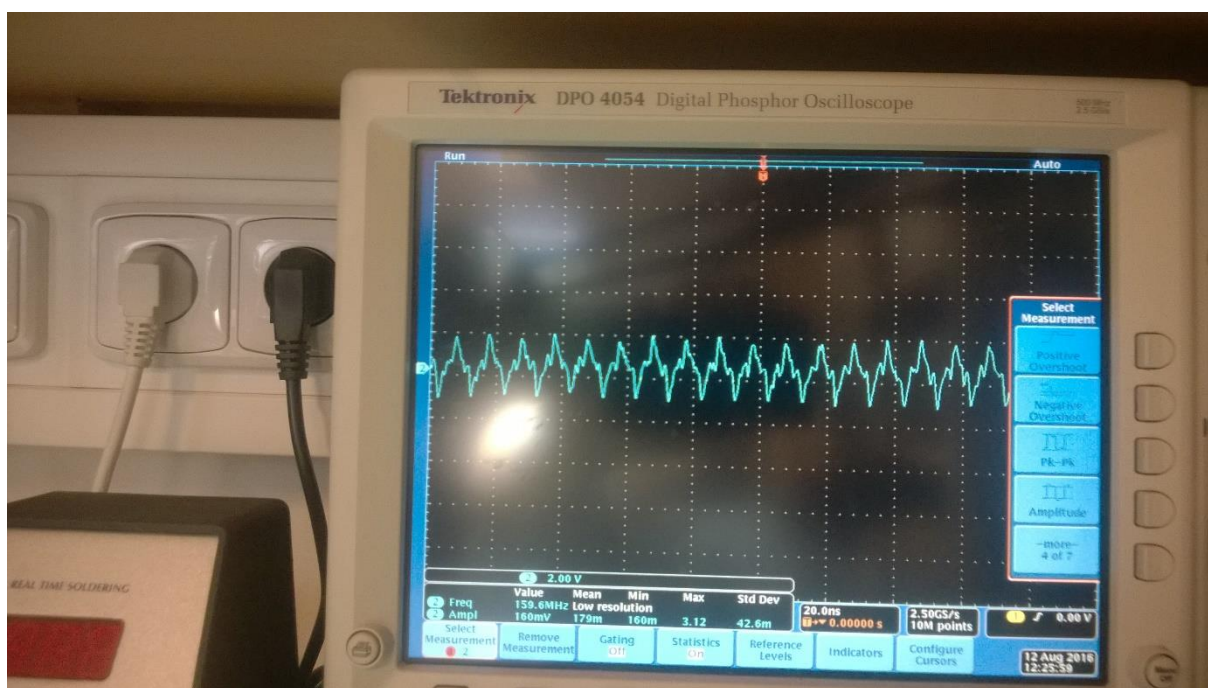
Obrázek č. 69: Ověření součástky RF3376



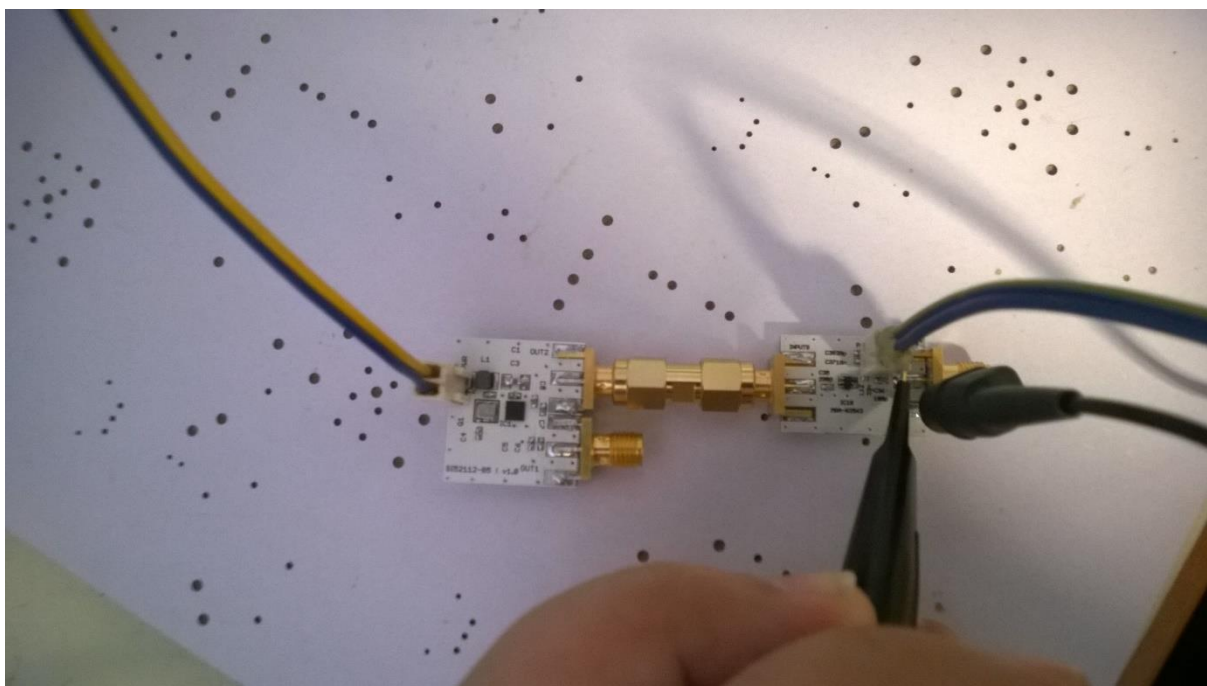
Obrázek č. 70: Výsledný signál součástky RF3376



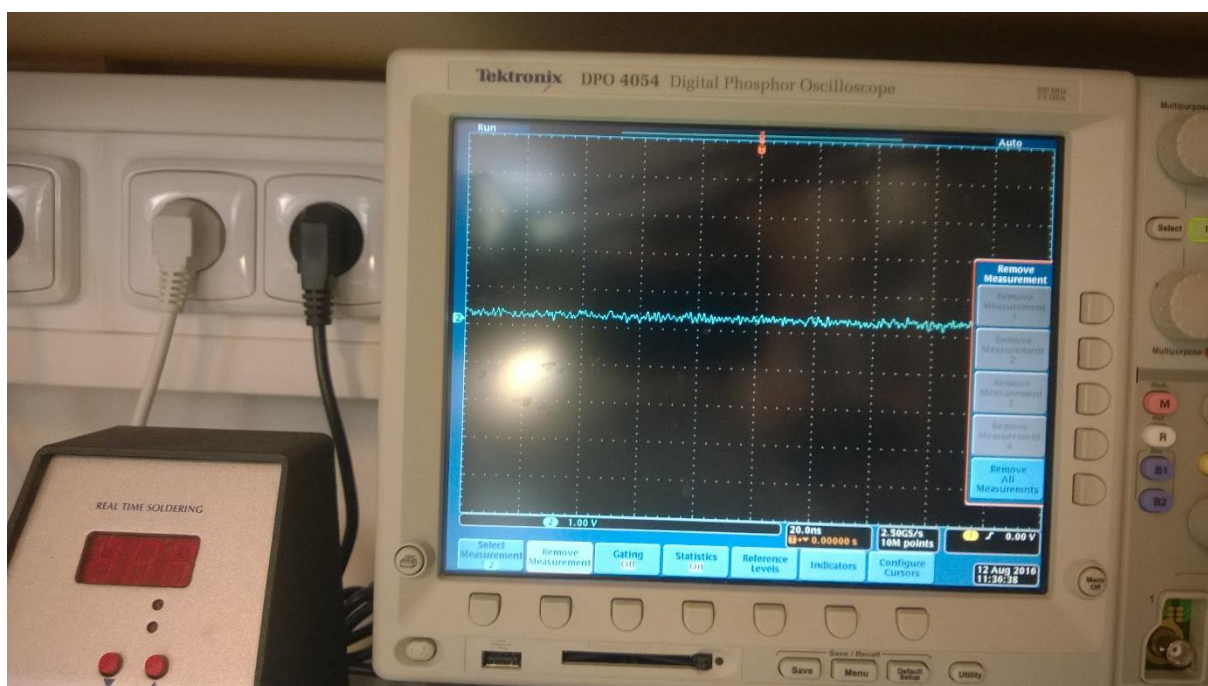
Obrázek č. 71: Ověření součástky AG203-86G



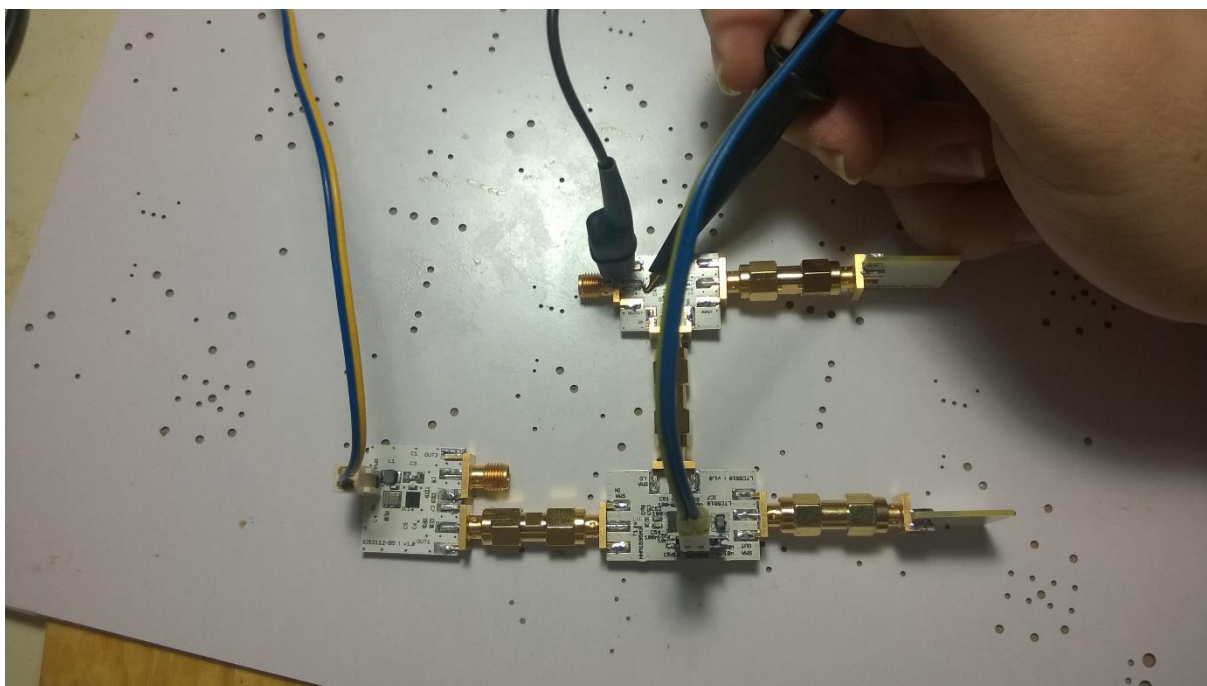
Obrázek č. 72: Výsledný signál součástky AG203-86G



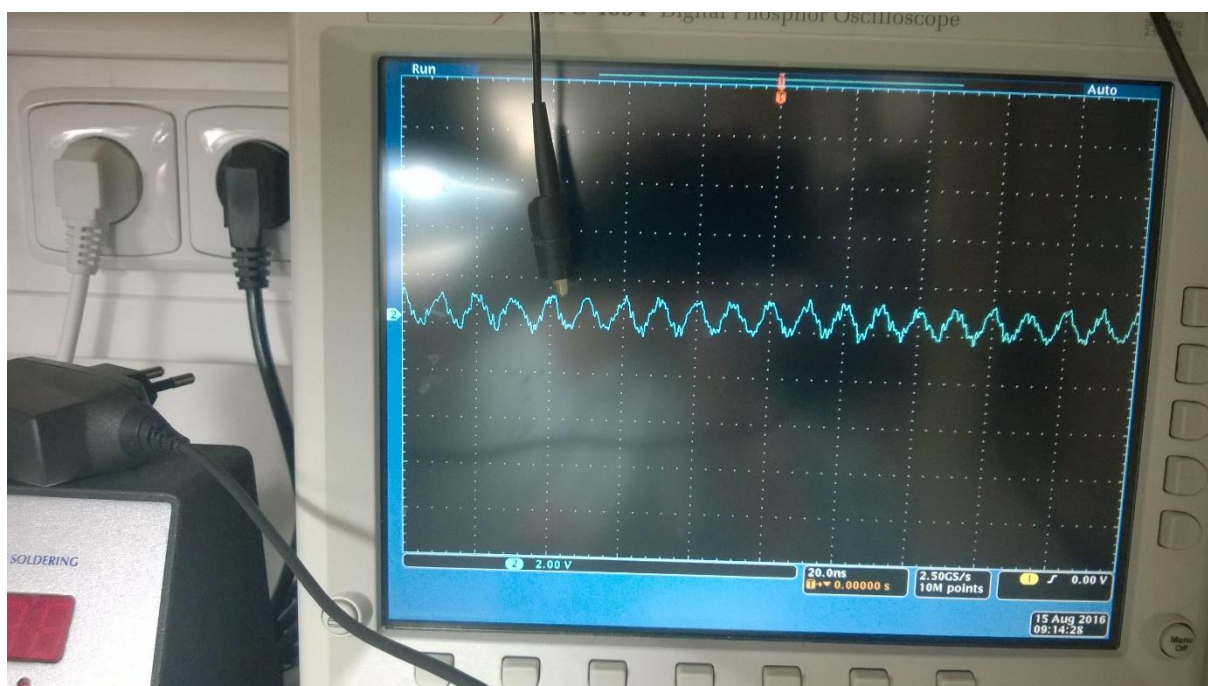
Obrázek č. 73: Ověření součástky MGA82563



Obrázek č. 74: Výsledný signál součástky MGA82563



Obrázek č. 75: Ověření základního zapojení UWB radaru



Obrázek č. 76: Výsledný přijímaný signál základního zapojení UWB radaru

Pro využití UWB technologie pro detekci tepové frekvence je potřeba vyvinutí filtračních algoritmů, které z výsledných dat dokáží detekovat opakovaný pohyb hrudníku a srdce. Tato problematika je předmětem dalšího výzkumu na detašovaném pracovišti Albertov.

7. Diskuze

Při ověřování funkčnosti jednotlivých modulů UWB radaru bylo u vybraných kusů řada nedostatků, pocházející pravděpodobně z nezkušenosti s prací z horkovzdušnou pájecí stanicí. Vadné moduly bylo možno snadno identifikovat, díky rozhodnutí vyrobit celý UWB radar jako modulární systém. Navíc každý modul byl vyroben minimálně dvakrát, pro snížení možnosti chyby. Vadné moduly jsem nejprve změřil součástku po součástce a našel případné vadné (spálené) součástky či místa špatného napájení.

Jediný modul, u kterého byly opravy neúspěšné je modul pro součástku MGA82563. I přes opakované měření a opravování obou vyrobených modulů jsem nebyl schopen získat na výstupu užitečný signál, jak je možno vidět na obrázku 74: „Výsledný signál součástky MGA82563.“ na kterém je vidět pouze šum pozadí. Tato chyba může být způsobena chybou při návrhu tištěného spoje, či špatným výběrem kondenzátorů použitých pro jeho napájení.

Po ověření všech modulů a vyřazení modulu MGA82563 jsem jednotlivé moduly zapojil do základního UWB radaru a ověřil jeho funkčnost, jak je možno vidět na obrázku 76: Výsledný signál UWB radaru. Výsledný signál odpovídal vysílanému s lehkým rušením na vrcholech signálu.

Závěr

V rámci této bakalářské práce jsem pomocí rešeršní části shrnul možnosti realizace a využití UWB radarů pro detekci tepové frekvence.

Po provedení rešerší jsem shrnul fyzikální a legislativní možnosti UWB radaru. Dále jsem vypracoval obecný a konkrétní návrh UWB radaru a dále jsem vybral vhodné součástky splňující podmínky pro můj radar, tzn. takové, které pracovaly na dostatečně vysoké frekvenci, aby mohly být použity v UWB pásmu, měly dostatečně široké pracovní pásmo a v některých případech způsobovaly jen velmi malé rušení. Pro jednotlivé součástky v jsem vypracoval symboly, balení, schémata, tištěné spoje a realizoval na pracovišti na Albertově.

Ověřil jsem všechny moduly za pomoci osciloskopu a multimetru a ověřil jsem základní zapojení UWB radaru, jak je možno vidět v kapitolách výsledky a diskuze.

Podářilo se mi splnit všechny úkoly zadání bakalářské práce. První a druhý bod zadání je řešen v kapitole č. 1 přehledem současného stavu UWB technologie a kapitole 2 – UWB technologie. Třetí bod zadání je řešen v čísle 3 – druhy UWB radarů a jejich legislativa. Poslední dva body zadání jsou vyřešeny v kapitolách 4 až 6.

Zdroje

- [1] YU, Yong-Poh, Ban-Hoe KWAN, Chern-Loon LIM, Siaw-Lang WONG A P. RAVEEDRAN. Video-based heart rate measurement using short-time Fourier transform. 2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System. 2013 DOI: 10.1109/ispacs.2013.6704640.
- [2] Terrence W. Barret: History of UltraWideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators, (online): [https://www.ntia.doc.gov/legacy/osmhome/uwbtestplan/barret_history_\(piersw-figs\).pdf](https://www.ntia.doc.gov/legacy/osmhome/uwbtestplan/barret_history_(piersw-figs).pdf)
- [3] Staderini E. M., „UWB Radar in Medicine“, IEEE AESS Magazine, pp 13 – 18, January 2002
- [4] McEwan T. E., „Body Monitoring and Imaging Apparatus and Method“, US Patent 5,766,208, Feb. 1993
- [5] McEwan T. E., Azevedo S., „Micropower Impulse Radar“, Science and Technology, Feb. 1996
- [6] LAZARO, Antonio, David GIRBAU a Ramon VILLARINO. ANALYSIS OF VITAL SIGNS MONITORING USING AN IR-UWB RADAR. Progress In Electromagnetics Research. 2010, vol. 100, s. 265-284. DOI: 10.2528/pier09120302.
- [7] CHARVAT, Gregory L. Small and short-range radar systems. London: CRC Press, 2014, pages cm. ISBN 978-143-9865-996. str. 217
- [8] ZHANG, Yunhua, Xiao DONG, Xiang GU a Wenshuai ZHAI. High-resolution compressive sensing imaging with stepped-frequency noise signal. 2012 13th International Radar Symposium. 2012, č. 6087011. DOI: 10.1109/irs.2012.6233340.
- [9] GUPTA, Bharat, Ernestina CIANCA, Marina RUGGIERI a Ramjee PRASAD. A novel FM-UWB system for vital sign monitoring and its comparison with IR-UWB. 2009 2nd

International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. 2009, č. 05373708. DOI: 10.1109/isabel.2009.5373708.

[10] CHARVAT, Gregory L. Small and short-range radar systems. London: CRC Press, 2014, pages cm. ISBN 978-143-9865-996. str. 70

[11] CHARVAT, Gregory L. Small and short-range radar systems. London: CRC Press, 2014, pages cm. ISBN 978-143-9865-996. str. 217

[12] LEE, Chun Yi a C. TOUMAZOU. Ultra-low power UWB for real time biomedical wireless sensing. 2005 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2005, č. 01464523. DOI: 10.3403/30260112.

[13] CHIA, M.Y.W., S.W. LEONG, C.K. SIM a K.M. CHAN. Through-wall UWB radar operating within FCC's mask for sensing heart beat and breathing rate. 2005 European Microwave Conference. 2005, č. 01605615. DOI: 10.1109/eumc.2005.1610358.

[14] VENKATESH, S., C.R. ANDERSON, N.V. RIVERA a R.M. BUEHRER. Implementation and Analysis of Respiration-Rate Estimation using Impulse-Based UWB. MILCOM 2005 - 2005 IEEE Military Communications Conference. 2005, č. 01606167. DOI: 10.1109/milcom.2005.1606167.

[15] ZITO, Domenico, Domenico PEPE, Bruno NERI a Danilo De ROSSI. Feasibility study of a low-cost system-on-a-chip UWB pulse radar on silicon for the heart monitoring. 2007 International Waveform Diversity and Design Conference. 2007, č. 04339374. DOI: 10.1109/wddc.2007.4339374.

[16] ZITO, Domenico, Domenico PEPE, Bruno NERI, Danilo De ROSSI, Antonio LANATA, Alessandro TOGNETTI a Enzo Pasquale SCILINGO. Wearable System-on-a-Chip UWB Radar for Health Care and its Application to the Safety Improvement of Emergency Operators. 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2007, č. 04352874. DOI: 10.1109/iembs.2007.4352874.

- [17] KHOO, Kah-Wee a Zhi Ning CHEN. Pattern Stabilization of a UWB Antenna on PCB. 2007 IEEE International Conference on Ultra-Wideband. 2007, č. 04381032. DOI: 10.1109/icuwb.2007.4381032.
- [18] CHEN, Yifan, Erry GUNAWAN, Kay Soon LOW, Cheong Boon SOH a Lin Lin THI. Human respiration rate estimation using body-worn ultra-wideband radar. 2007 IEEE Antennas and Propagation International Symposium. 2007, č. 04395481. DOI: 10.1109/aps.2007.4395481.
- [19] CHEN, Yifan, Erry GUNAWAN, Kay Soon LOW, Cheong Boon SOH a Lin Lin THI. Human respiration rate estimation using body-worn ultra-wideband radar. 2007 IEEE Antennas and Propagation International Symposium. 2007, č. 04395481. DOI: 10.1109/aps.2007.4395481.
- [20] STADERINI, Enrico M., Graziano VAROTTO, D.M. BLACK, D.L. KELLY a Joseph F. SUTTER. Optimization criteria in the design of medical UWB radars in compliance with the regulatory masks. 2007 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference. 2007, č. 04463307. DOI: 10.4271/760501.
- [21] MAO, Meng a Cam NGUYEN. An ultra-Wideband uniplanar antenna for UWB systems. 2008 International Radar Symposium. 2008, č. 04585715. DOI: 10.1109/irs.2008.4585715.
- [22] HIGASHIKATURAGI, Kenji, Youichiro NAKAHATA, Isamu MATSUNAMI a Akihiro KAJIWARA. Non-invasive respiration monitoring sensor using UWB-IR. 2008 IEEE International Conference on Ultra-Wideband. 2008, č. 04653294. DOI: 10.1109/icuwb.2008.4653294.
- [23] MMOREEV, Igor a Teh-Ho TAO. UWB radar for patient monitoring. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2008, č. 04693985, s. 11-18. DOI: 10.1109/maes.2008.4693985.
- [24] GUPTA, Bharat, Ernestina CIANCA, Marina RUGGIERI a Ramjee PRASAD. A novel FM-UWB system for vital sign monitoring and its comparison with IR-UWB. 2009

2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies. 2009, č. 05373708. DOI: 10.1109/isabel.2009.5373708.

[25] LEVITAS, B., I. NAIDIONOVA a J. MATUZAS. UWB radar for breath and movement detection. 2014 15th International Radar Symposium (IRS). 2014, č. 05547459. DOI: 10.1109/irs.2014.6869188.

[26] KHAN, Faheem, Jeong Woo CHOI a Sung Ho CHO. Design issues in vital sign monitoring through IR UWB radar. The 18th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2014). 2014, č. 06884515. DOI: 10.1109/isce.2014.6884515.

[27] ENRICO, Staderini. Everything you allways wanted to know about UWB radar. Everything you allways wanted to know about UWB radar. 2010, č. 0654789.

[28] STADERINI, E.M. UWB radars in medicine. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2002, vol. 17, issue 1, s. 13-18. DOI: 10.1109/62.978359.

[29] KLEMM, M. a G. TROESTER. Textile UWB Antennas for Wireless Body Area Networks. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2006, vol. 54, issue 11, s. 3192-3197. DOI: 10.1109/tap.2006.883978.

[30] FCC, SECOND REPORT AND ORDER AND SECOND MEMORANDUM OPINION AND ORDER. 2004-12-16 (online) :
http://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-04-285A1.pdf

[31] Český telekomunikační úřad. Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 k využívání radiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu 2014-05-07 (online):
http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2014/vo-r_10-05_2014-03.pdf

[32] ZITO, Giuseppe A., Enrico M. STADERINI a Stefano PISA. A Twin Spiral Planar Antenna for UWB Medical Radars. *International Journal of Antennas and Propagation* (online). 2013, vol. 2013. s 1-6. DOI:10.1155/2013/684185

- [33] MARINDRA, Adi Mahmud Jaya, Sathaporn PROMWONG a Jun-ichi TAKADA. Comprehensive characterization of novel UWB elliptical planar monopole antenna. In: *TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference* (online). 2012. DOI: 10.1109/tencon.2012.6412283
- [34] SUN, Jiping a ming LI. Life detection and location methods using UWB impulse radar in a coal mine. *Mining Science and Technology (China)* (online). 2011, vol. 21, issue 5, s. 687-691. DOI 10.1016/j.mstc.2011.03.007
- [35] CHIA, M.Y.W., S.W. LEON, C.K. SIM a K.M. CHAN Through-wall UWB radar operating within FCC's mask for sensing heart beat and breathing rate. In: *2005 European Microwave Conference* (online). 2005 DOI:10.1109/eumc.2005.1610358
- [36] WENTZLOFF, D.D. a A.P. CHANDRAKASAN. Gaussian pulse Generators for subbanded ultra-wideband transmitters. *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniquet* (online). 2006, vol. 54, issue 4, s. 1647-1655. DOI:10.1109/tmtt.2006.872053
- [37] AARDAL, O., HAMMERSTAD J. Medical radar literature overview (online). Norwegian Defence Resrarch Establishment. 2004-04-22
<http://www.ffi.no/no/Rapporter/10-00958.pdf>
- [38] BALDI, M., F. CHIARALUCE, B. ZANAJ a M.MORETTI. Analysis and simulation of algorithms for vital signs detection using UWB radars. In: *2011 IEE International Conference on ultra-wideband (ICUWB)* (online). 2011. DOI:10.1109/icuwb.2011.6058859
- [39] BABOLI, Mehran, Azadeh SHARAFI, Alireza AHMADIAN a Mohammad Saleh NAMBAKHS. An accurate and robust alorithm for detection of heart and respiration rates using impulse base UWB signal. IN: *2009 Insternational Conference on Biomedical nad Pharmaceutical Engineering* (online). 2009. DOI:10.1109/icbpe.2009.5384092
- [40] KHOO, Kah-Wee a Zhi Ning CHEN. Pattern stabilization of a UWB antenna on PCB. In: *2007 IEEE International Conference on Ultra-Wideband* (online). 2007. DOI: 10.1109/icuwb.2007.4381032.

- [41] EUWB, World-wide regulation and standadisation overview (online).
http://www.euwb.eu/deliverables/EUWB_D9.1_v1.0_2008-09-15.pdf
- [42] HIGASHIKATURAGI, Kenji, Youichiro NAKAHATA, Usamu MATSUNAMI a Akihiro KAJIWARA. Non invasive respiration monitoring sensor using UWB-IR. In: *2008 IEE International Conference on Ultra-wideband* (online). 2008. DOI: 10.1109/icuwb.2008.4653294.
- [43] SANA, Furrukh, Tarig BALLAL, Tareq Y. Al-NAFFOURI a Ibrahim HOTEIT. Low-complexity wireless monitoring od respiratory movements using ultra.wideband impulse response estimation. *Biomedical Signal Processing nad Control*. (online). 2014, vol. 10, s. 192-200. DOI: 10.1016/j.bspc.2013.11.004.
- [44] SHARIFMAHMADIAN, E. a A. AHMADIAN. Adaptive signal processing algorithm for remote detection of heart rate (HR) using ultra-wideband waveforms based on principal component analysis. In: *2009 Annual International Conference of the IEE Engineering in Medicine and Biology Society* (online). 2009. DOI: 10.1109/iembs.2009.5332666
- [45] RUENGWAREE, A., A. GHOSE a G. KOMPA. A novel UWB rugby-ball antenna, for near-range microwave Radar system. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* (online). 2006, vol 54, issue 6, s. 2774-2779. DOI: 10.1109/tmtt.2006.874892
- [46] KUMAR, K. a N. GUNASEKARAN. A new novel compact planar UWB antenna. In: *2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies* (online) 2011. DOI:10.1109/icccn.2011.6024511
- [47] TAO, The-Ho, Shin-Jen HU, Jla-Hung PENG a Su-Chen KUO. An Ultrawideband Radar Based Pulse Sensor for Arterial Stiffness Measurement. In: *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (online) 2007. DOI: 10.1109/iembs.2007.4352631.

[48] UWB spectral masks (online), 2014, URL: <http://www-emt.tu-ilmenau.de/ukolos/pics/history/masks1.jpg>

Přílohy

P1: Obsah CD

Klíčová slova.pdf

Abstrakt CZ.pdf

Abstrakt EN.pdf

Zadani.jpg

17PBBBP_392464_Mikulas_Lichteberg.zip

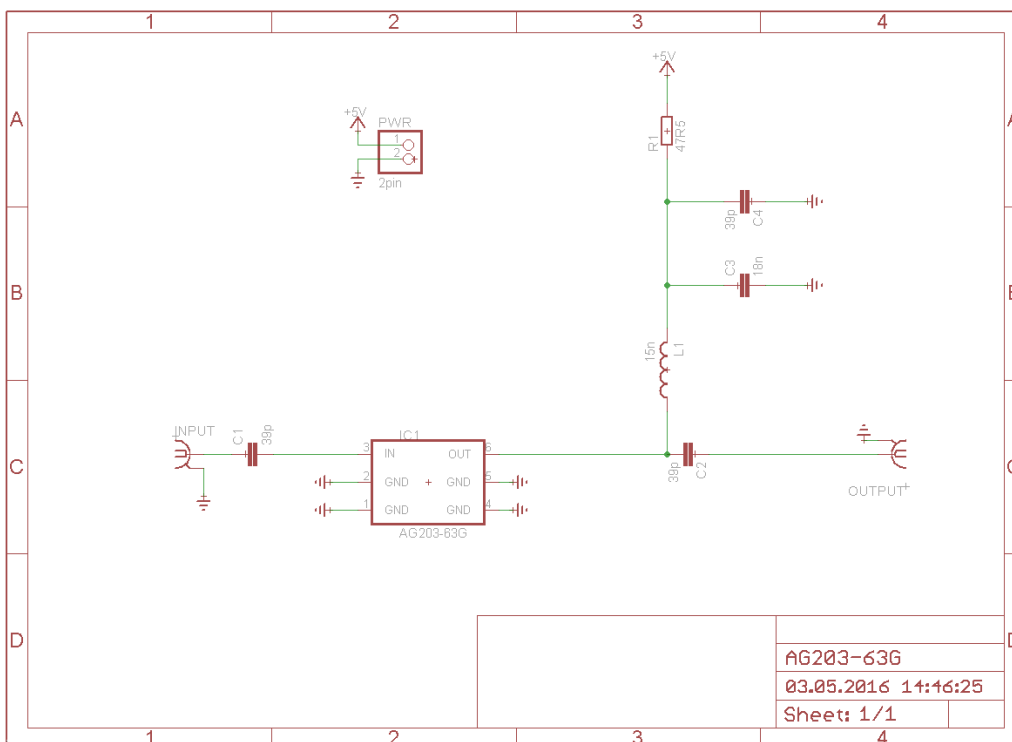
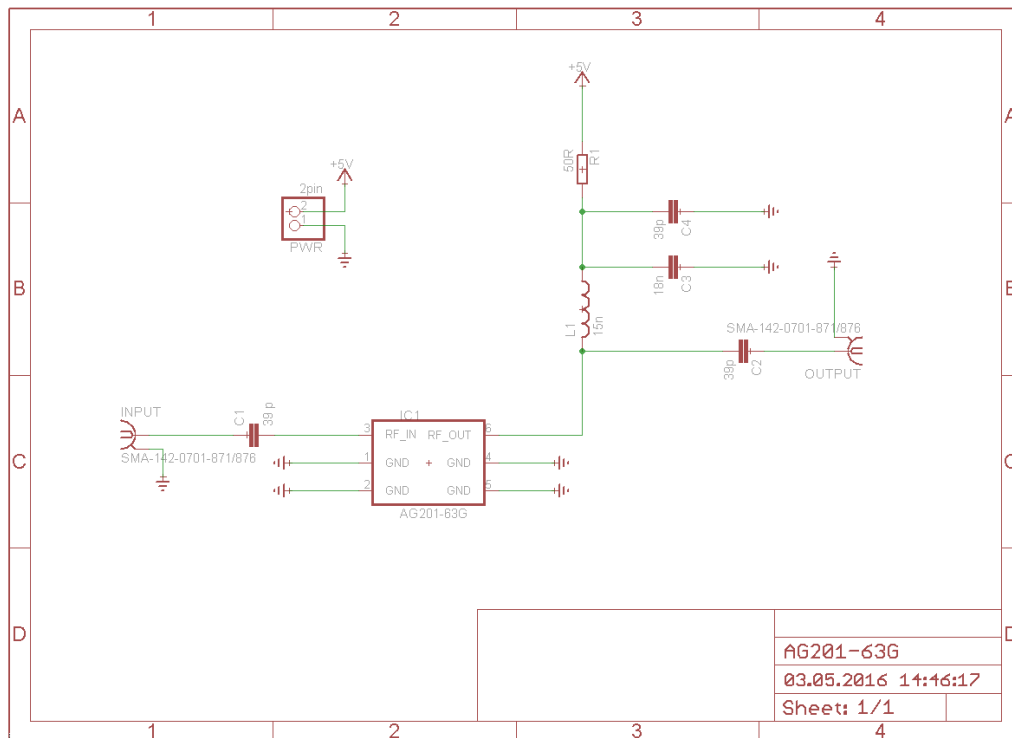
17PBBBP_392464_Mikulas_Lichteberg.pdf

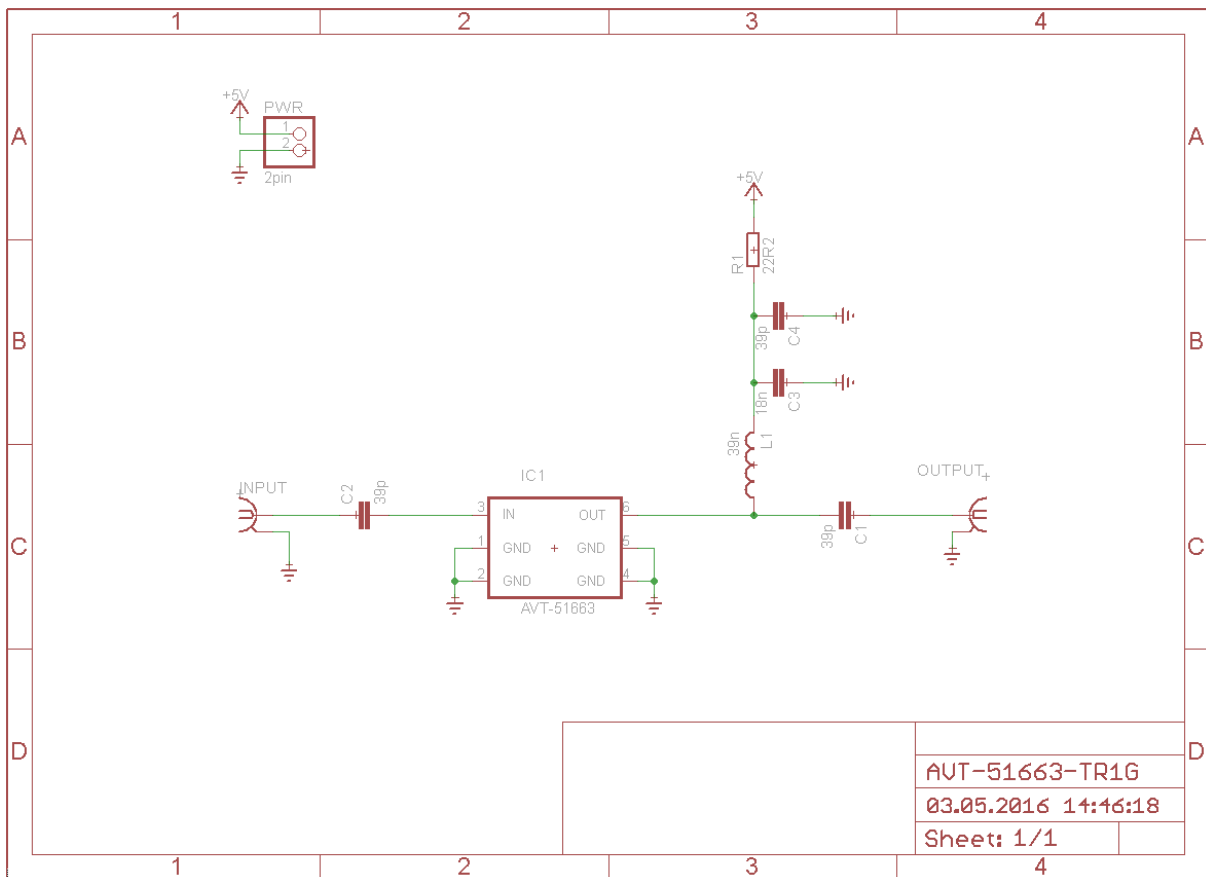
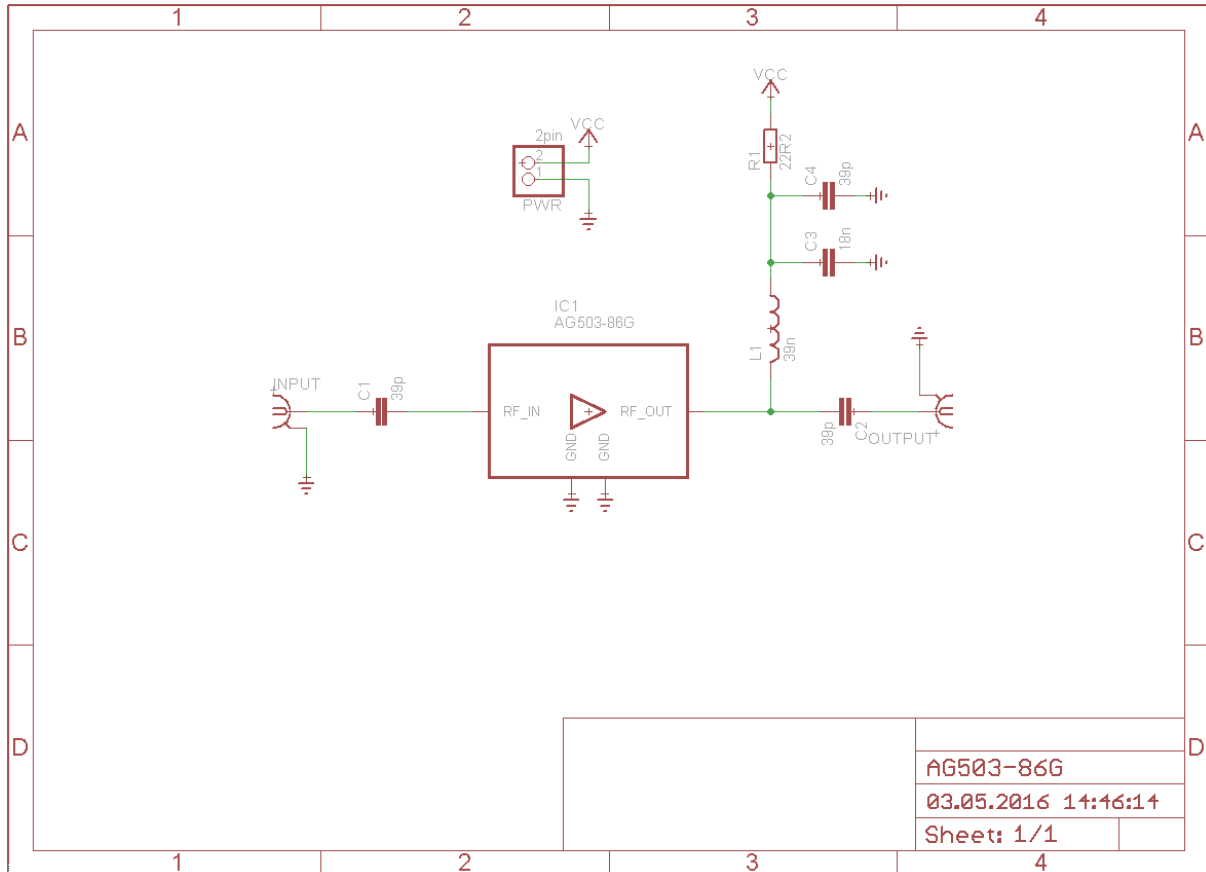
Prilohy.zip

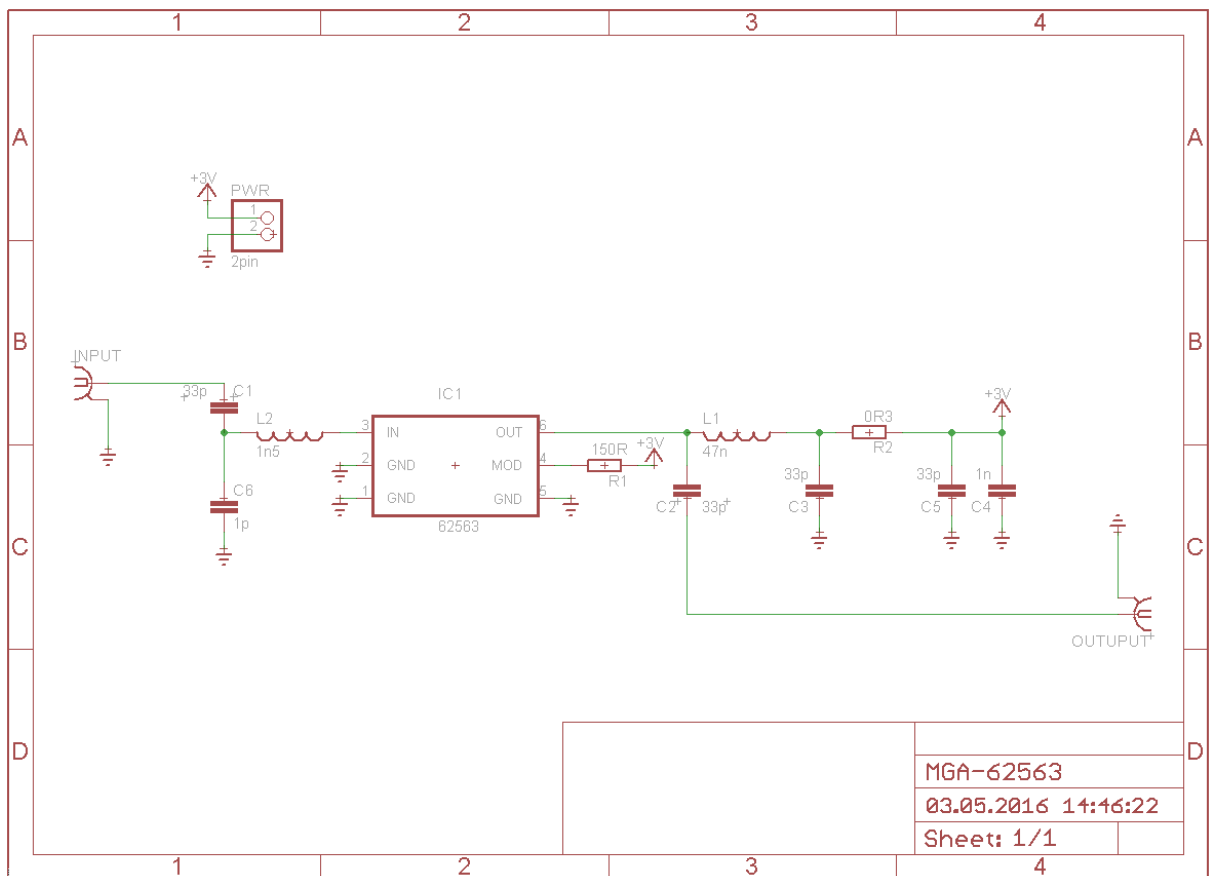
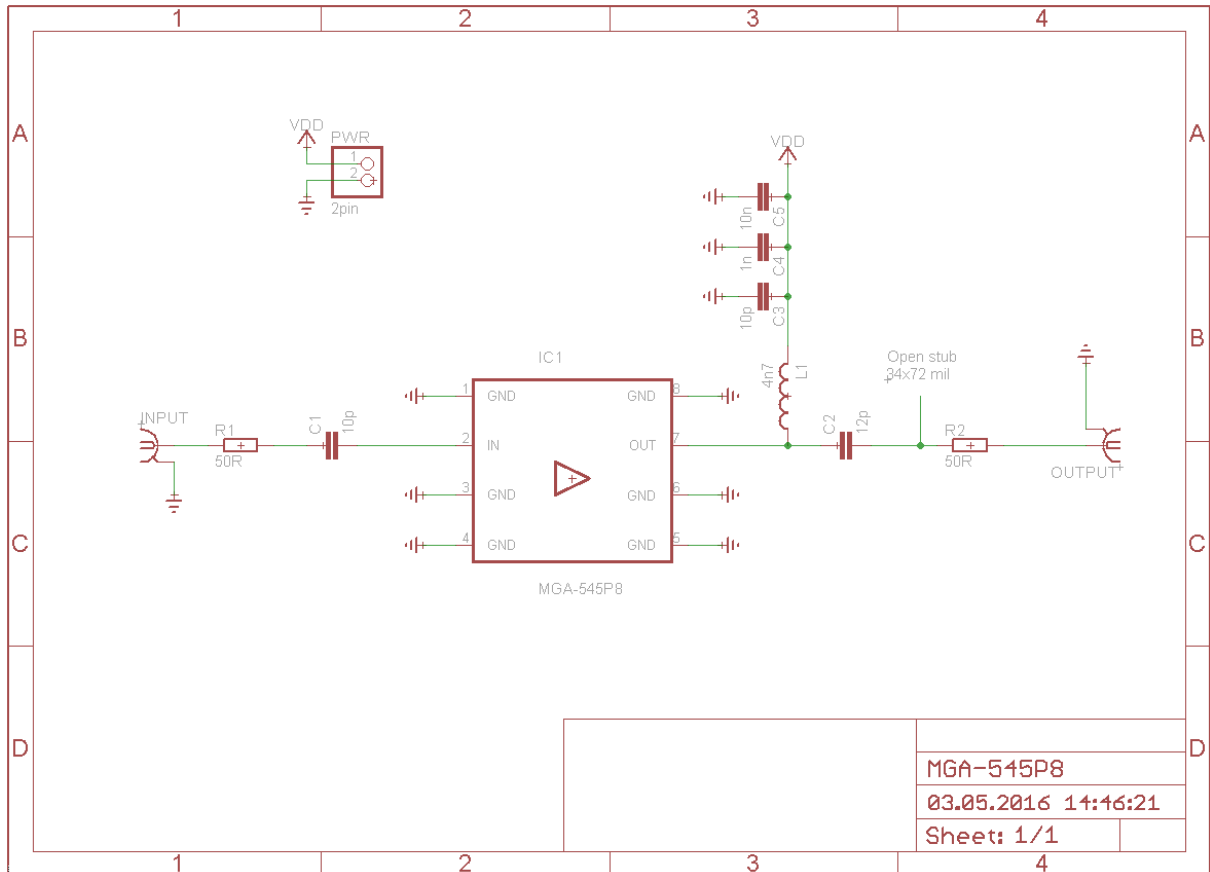
Součástky

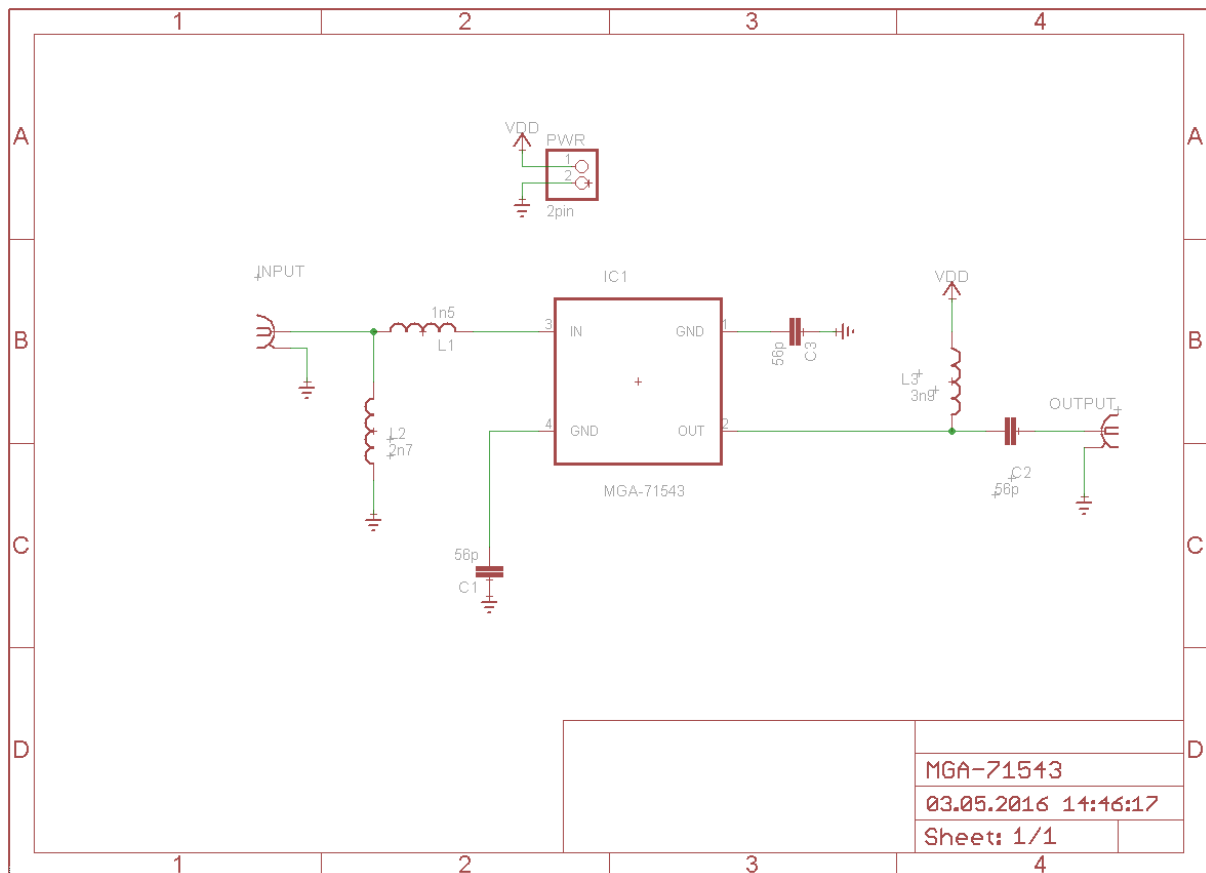
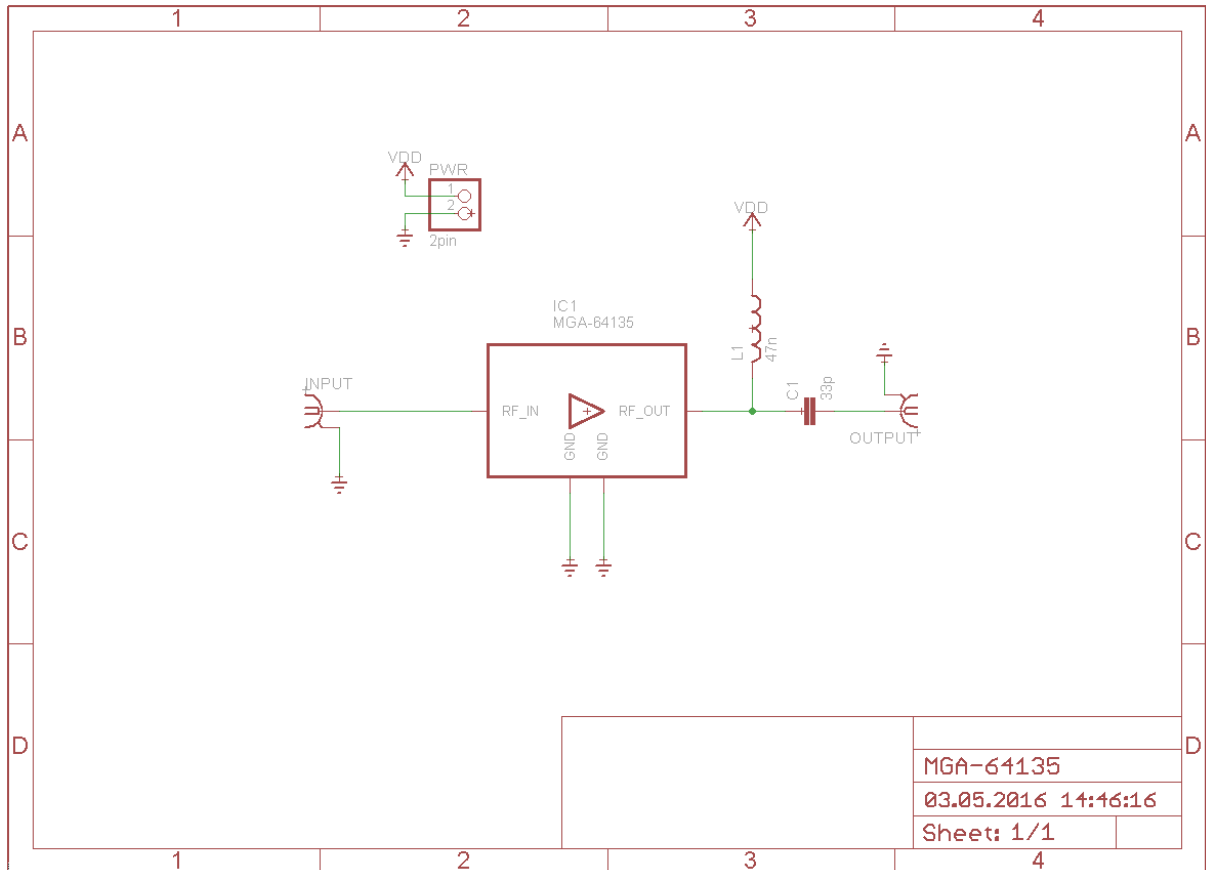
Fotodokumentace UWB radar

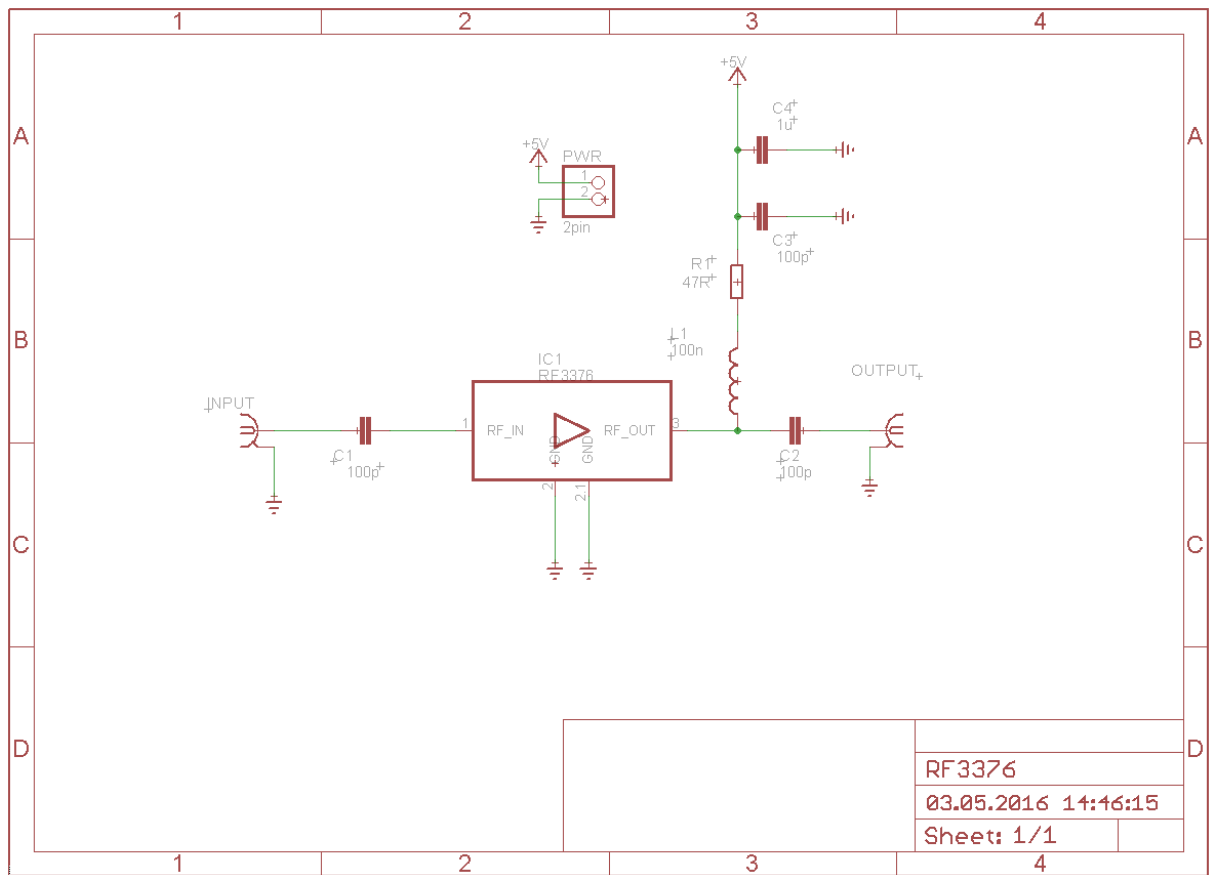
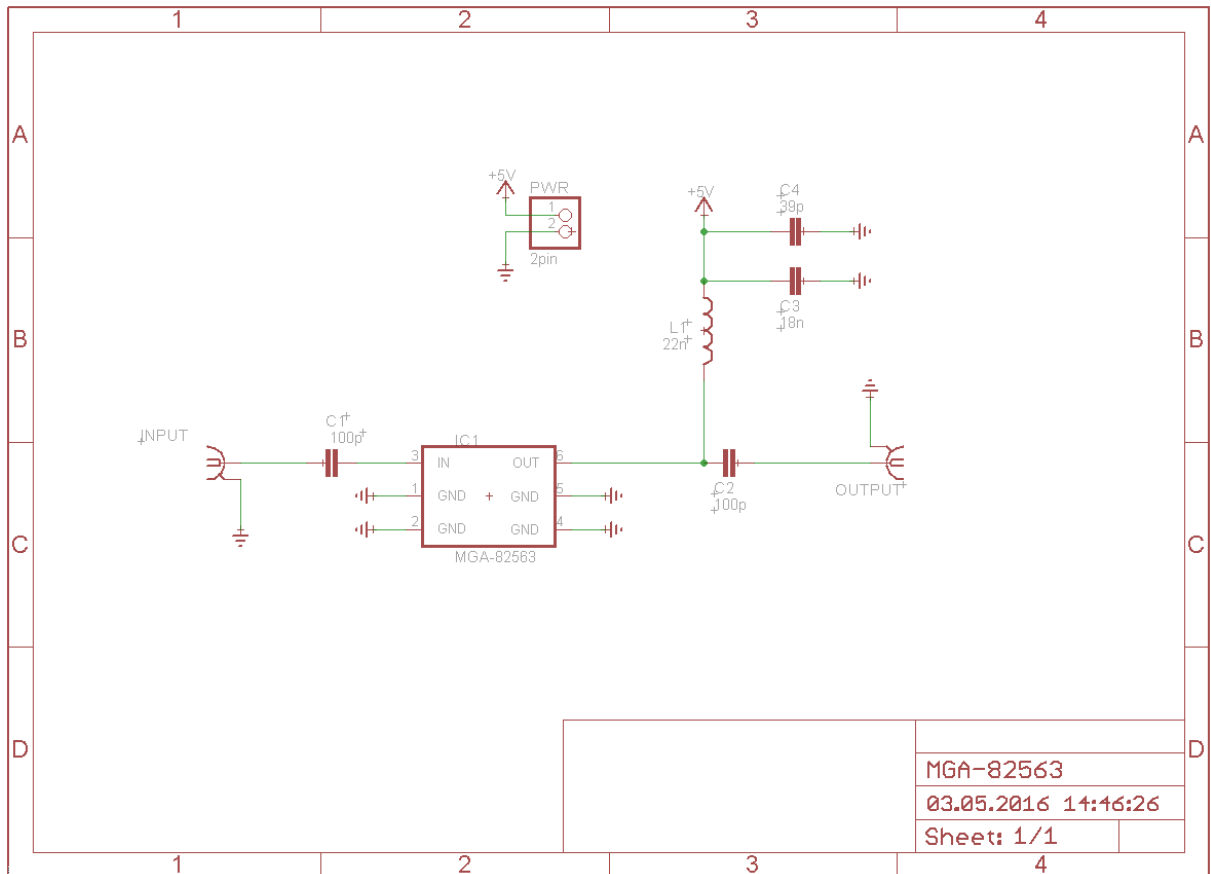
P2: Schémata jednotlivých modulů

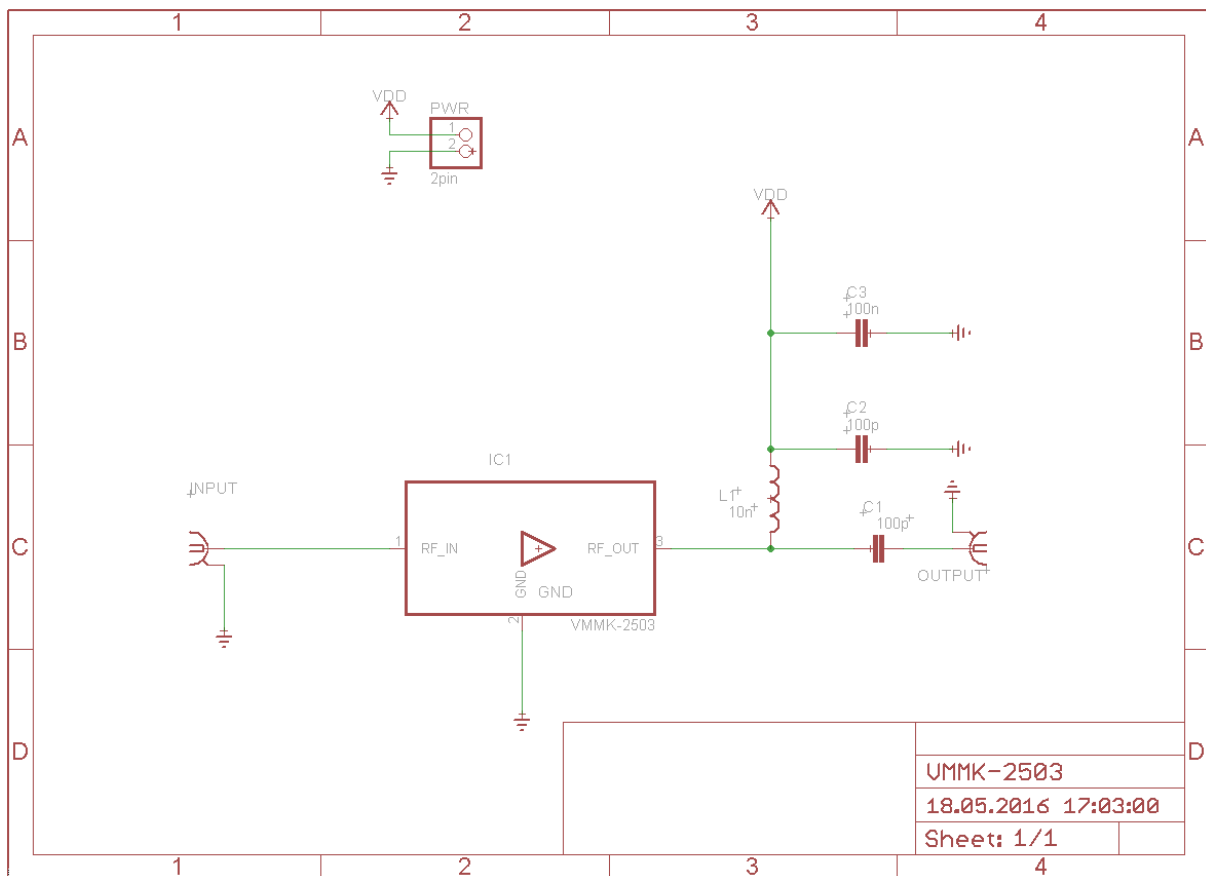
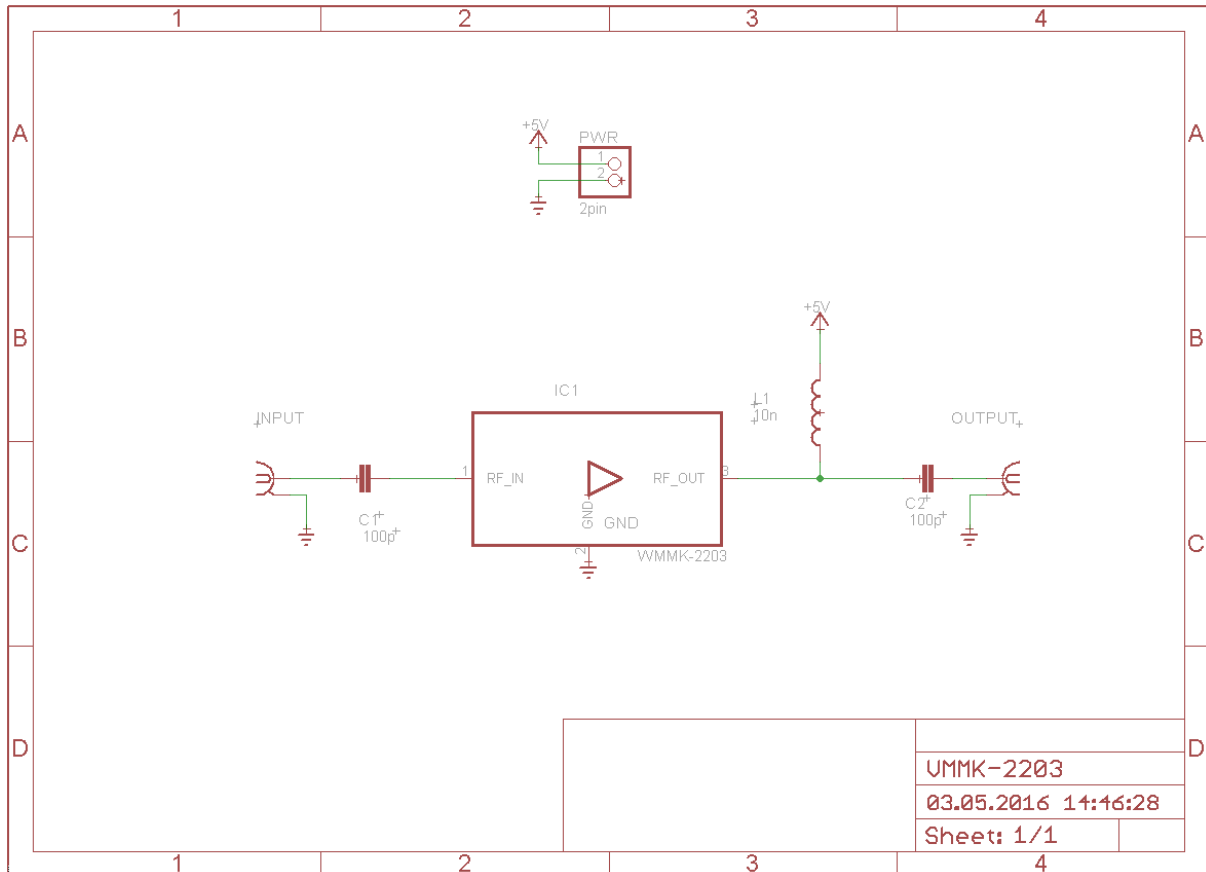


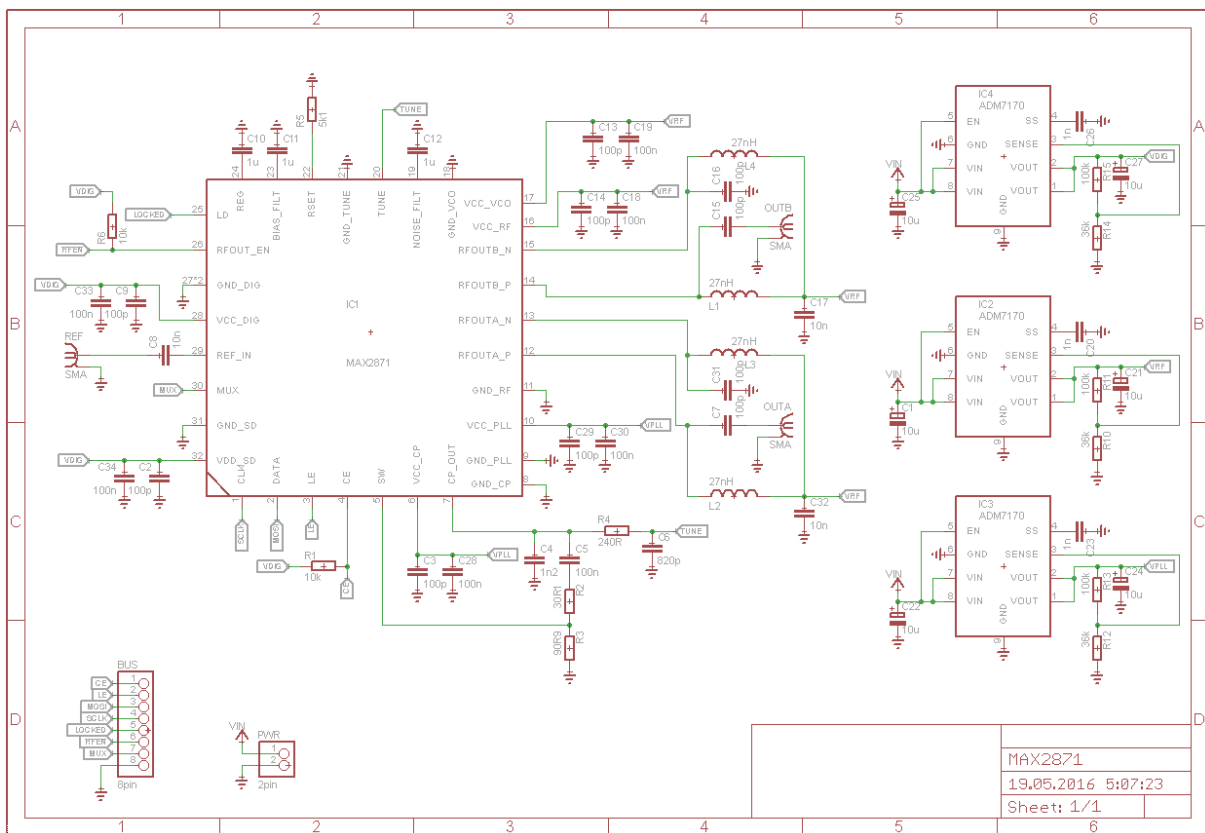
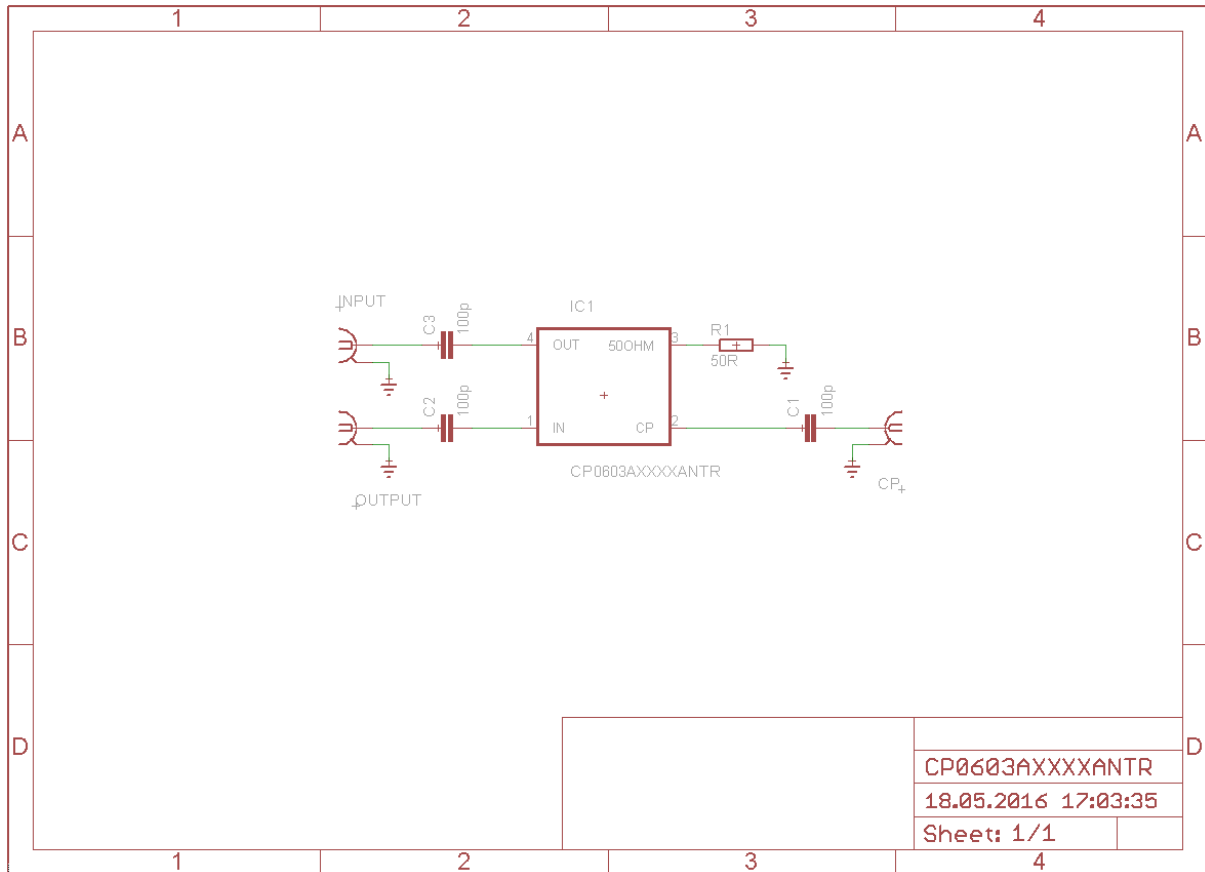


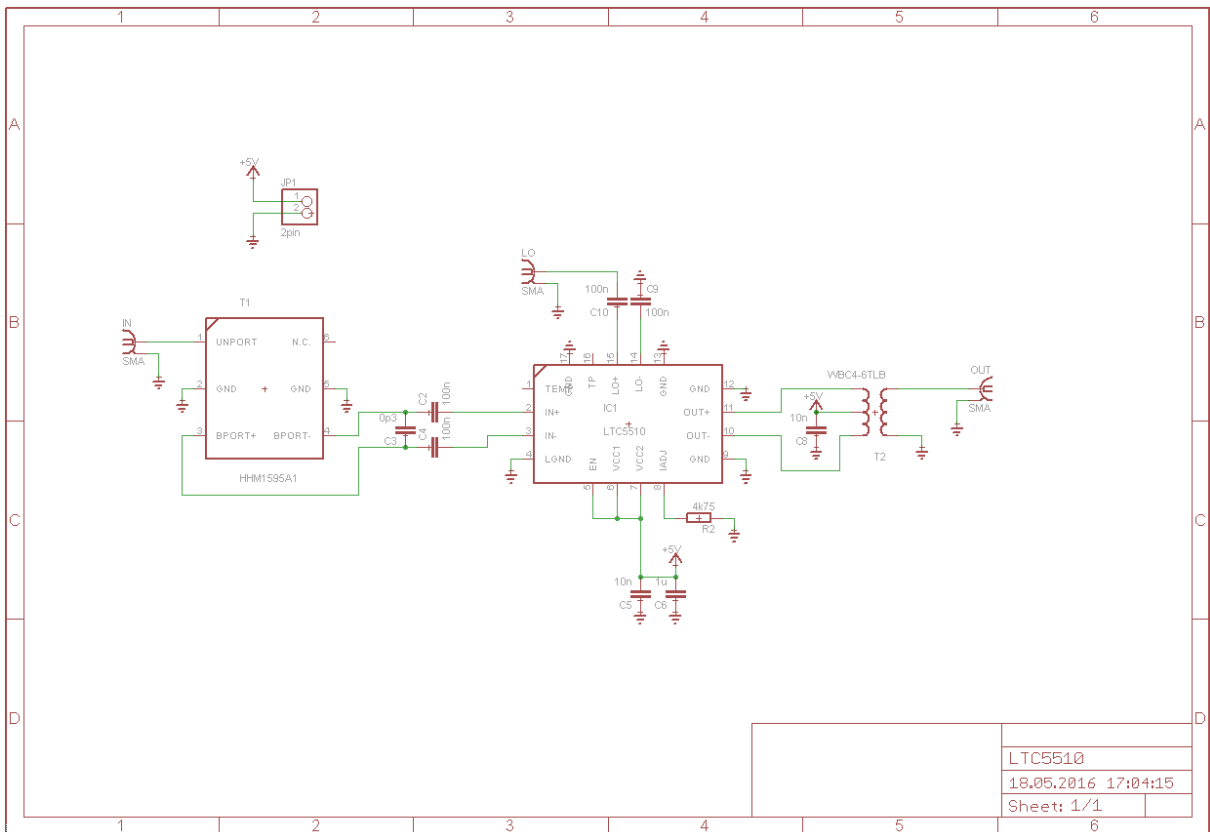
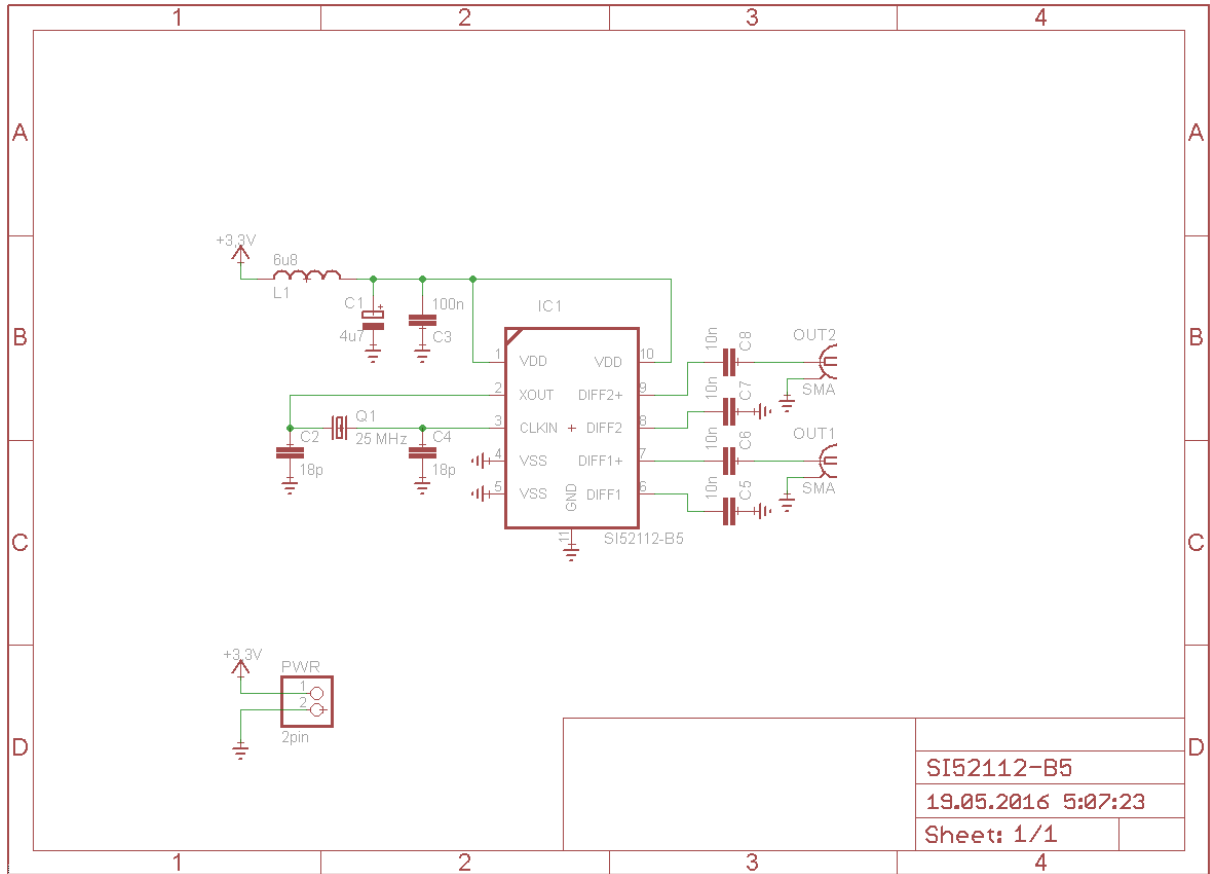












P3: Osazovací listy modulů:

