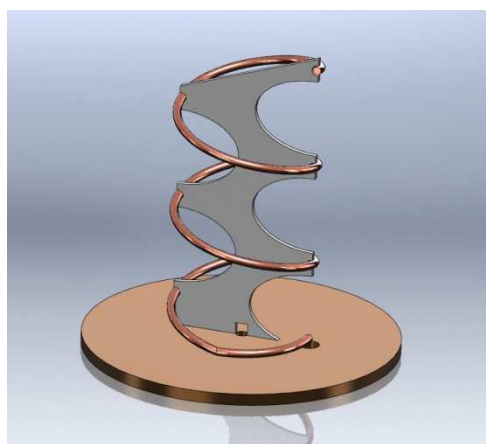


Helixová anténa

Helixová anténa zažívá ve světě FPV rozsáhlý boom. Výhody přenosu obrazu s využitím kruhově polarizovaného vlnění ve srovnání s vlněním lineárně polarizovaným jsem již rozebíral v kapitole o anténách pro FPV, zásadní kvalitativní rozdíl je dobře viditelný např. na [tomto videu](#). Ve srovnání s jinými typy antén pro příjem kruhově polarizovaného vlnění v FPV je její zásadní předností směrovost, která umožňuje dosažení kvalitního příjmu signálu na vzdálenost podstatně větší, než by tomu bylo při použití clover-leaf nebo skew-planar antény.

Pokud např. s vysílačem 600mW s clover-leaf anténou a skew-planar anténou na přijímači dosáhneme dobrého obrazového spojení na vzdálenost 1,5km, pak s helixovou anténou s 10 -12 závitů šroubovice můžeme směle aspirovat na spojení i na 5 – 6 km.

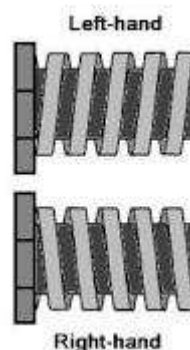
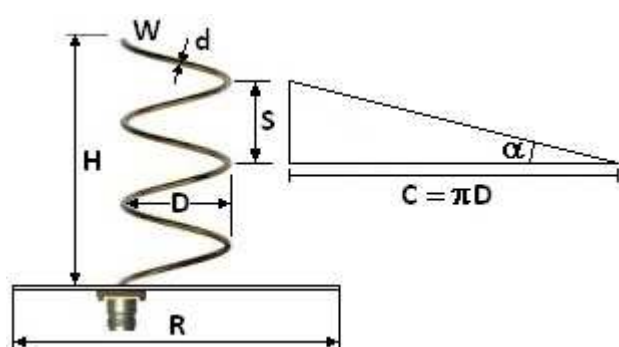


Na rozdíl od poměrně bohaté nabídky cenově dostupných clover-leaf i skew-planar antén na trhu, pořízení helixové antény představuje investici v řádu 100-200 USD. Její konstrukce je však snadná a navíc je relativně tolerantní k odchylkám při výrobě. V pásmu 2 - 5GHz lze hovořit o geniálně prostém a nanejvýš efektivním řešení. Přináším zde proto konkrétní a osobně vyzkoušený postup vlastní konstrukce helixové antény pro FPV v domácích podmínkách.

Trocha teorie

Vynález této antény se připisuje J. D. Krausovi na konci 40. let minulého století. Anténa je tvořena vodičem svinutým do šroubovice o N závitěch (odtud helix) doplněným reflektorem v místě připojení k anténnímu svodu.

Obvod jednoho závitu označme C , jeho průměr $D = C/\pi$ a odstup závitů S . Směr navinutí helixu odpovídá orientaci zamýšleného kruhově polarizovaného vlnění, existuje tedy helix pravotočivý (RHCP) a levotočivý (LHCP). Je proto třeba znát polarizaci antény, která bude použita na video vysílači. Až na výjimky takřka všechny antény pro kruhově polarizované vlnění dostupné na trhu se dodávají jako pravotočivé, tedy RHCP (right hand circular polarization).



Obvod závitů C se volí velmi blízký vlnové délce λ a odstup závitů S blízký čtvrtině vlnové délky, tedy

$$C = \lambda \quad \text{a} \quad S = \lambda/4$$

Tato volba se ukazuje jako velmi blízká ideální konstrukci a výrazně zjednodušuje další teoretické vztahy. Průměr závitů pak bude roven $D = C/\pi = \lambda/\pi$.

Vlnovou délku λ vlnění o frekvenci f určíme ze vztahu

$$\lambda = c/f, \quad (\text{m}) \quad (1)$$

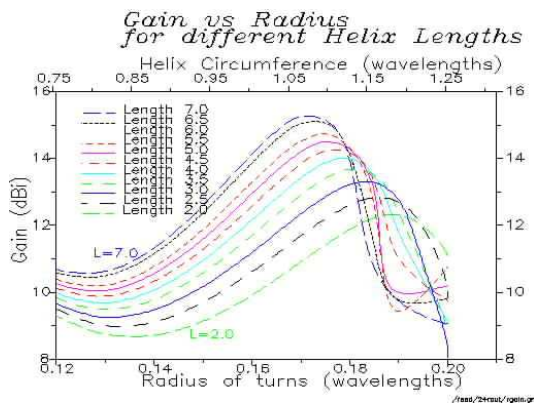
kde c je rychlost světla 300 000 000 m/s.

Zisk takové antény je (relativně k anténě s izotropní charakteristikou) podle Krausovy formule empiricky stanoven jako

$$G = 10.8 + 10 \cdot \log((C/\lambda)^2 \cdot N \cdot (S/\lambda)) \quad (\text{dBi}) \quad (2)$$

pro volbu $C = \lambda$ a $S = \lambda/4$ pak

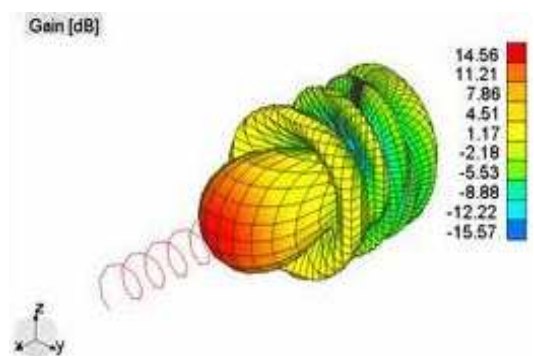
$$G = 10.8 + 10 \cdot \log(N/4). \quad (3)$$



Podle [Dr. Darrela Emersona](#) jsou ale výsledky stanovené podle Krausovy formule příliš optimistické a přináší jiný empirický model na základě vlastního rozsáhlého výzkumu, jehož výsledky jsou o 2 - 4 dBi nižší:

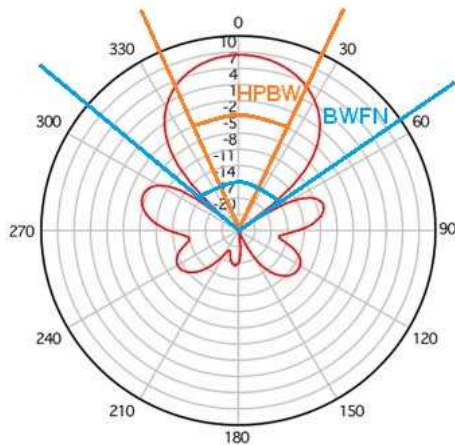
$$G = 10.25 + 0.305 \cdot N - 0,00454 \cdot N^2 \quad (\text{dBi}) \quad (4)$$

Dr. Emerson také uvádí, že maximálního zisku bylo dosaženo s anténami, u nichž byl obvod jednoho závitů mírně vyšší než λ , v rozmezí cca 1.05λ až 1.17λ .



S počtem závitů roste také směrovost antény, kužel efektivního příjmu se zužuje. Typická směrová charakteristika helixové antény je naznačena na obrázku. Kromě hlavního laloku s maximálním ziskem ve směru osy helixu existuje řada postranních laloků, na nichž se podílí i velikost a geometrie reflektoru antény. Průměr reflektoru by měl být v rozsahu 0.75λ až 1.2λ . Obvyklá je volba reflektoru o průměru rovném vlnové délce λ a může být kruhový nebo čtvercový, případně s rohy seříznutými do tvaru osmiúhelníku. Reflektor je plochý a je samozřejmě

zhotoven z vodivého materiálu, např. nerezové oceli, hliníku nebo z neodleptané desky na výrobu plošných spojů. Zvětšování reflektoru není žádoucí, zvýšení axiálního zisku nepřináší, vede spíše ke zvýraznění a zmnožení neužitečných postranních laloků.



Směrovost se udává dvěma parametry. První uvádí šířku kužele odpovídajícího poklesu maximálního axiálního výkonu na polovinu, tzv. parametr HPBW (half power beam width).

$$HPBW = 52 / ((C/\lambda) * \sqrt{N * (S/\lambda)}) \quad (^\circ) \quad (5)$$

Druhý pak uvádí celkovou šíři čelního laloku, tedy až po úhel prvního nulového zisku, tzv. parametr BWFN (beam width first nulls)

$$BWFN = 115 / ((C/\lambda) * \sqrt{N * (S/\lambda)}) \quad (^\circ) \quad (6)$$

V naší konstrukci jsme se rozhodli pro volbu $C = \lambda$ a $S = \lambda/4$, čímž se tyto vztahy zjednoduší na

$$HPBW = 104 / \sqrt{N} \quad \text{a} \quad BWFN = 230 / \sqrt{N}$$

Teoretické výpočty i praktická měření ukazují tyto hodnoty:

N (v závitěch)	Zisk dle Krausova modelu (dBi)	Zisk dle Emersonova modelu (dBi)	Zisk praktických konstrukcí ²⁾ (dBi)	HPBW (°)	BWFN (°)
3	9.55	--- ¹⁾	≈ 7	60	133
4	10.8	--- ¹⁾	≈ 8.5	52	115
5	11.8	--- ¹⁾	9.5	46	103
6	12.6	11.9	10,5	42	94
7	13.2	12.1	11.2	39	87
8	13.8	12.4	11.6	37	81
10	14.8	12.8	12.0	33	73
12	15.6	13.3	12.7	30	66

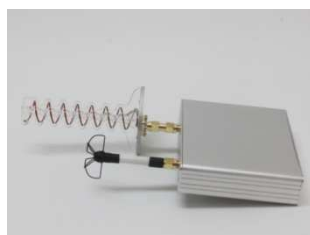
1) Podle podmínky $N \geq 6$ pro platnost Emersonovy formule nelze kalkulovat

2) Orientační prakticky naměřené zisky amatérsky vyrobených antén podle různých autorů na diskusních fórech

Jak vidíme z logaritmické závislosti v Krausově formuli i z Emersonových měření, další zvyšování počtu závitů významné zvýšení zisku nepřináší, takže v praxi se volí konstrukce právě v rozmezí 3 až 12 závitů.



Směrovost s sebou ovšem nese nutnost navádění antény za objektem, a to tím přesněji, čím vyšší je její zisk. Pro konstrukce s maximálně 8 závitů není zaměření kritické a takovou helixovou anténu je výhodné připevnit přímo na konektor video přijímače integrovaného v FPV brýlích. Její přibližné směrování za objektem zajistí pohyb hlavy pilota. U konstrukcí s více jak 8 závitů je již nutné umístění antény na stativ ve směru předpokládaného letu, případně automatické navádění za objektem pomocí antenna-trackeru.



Ze směrovosti vyplývá použití tohoto typu antény pouze na straně video přijímače. Pokud vlastníte diversity receiver, ideální je kombinace helixové se skew-planar anténou na druhém vstupu. Pokud je model dostatečně blízko, příjem signálu pokryje skew-planar anténa, pokud by helixová anténa byla právě zcela chybně orientována.

$$\text{Délku jednoho závitů } L \text{ odvodíme z Pythagorova trojúhelníku, tedy } L = \sqrt{C^2 + S^2} \quad (7a)$$

$$\text{Úhel stoupání závitů helixu je roven } \alpha = \tan^{-1}(S/C) \quad (8a)$$

$$\text{celková potřebná délka anténního vodiče } W \text{ bude } W = N * L \quad (9a)$$

$$\text{a délka centrálního nosného vřetena } H \text{ bude } H = N * S \quad (10a)$$

S využitím naší volby $C = \lambda$ a $S = \lambda/4$ se tyto rovnice převedou přímo na vztah k vlnové délce λ

$$L = 1.118 * \lambda \quad (7b)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(1/4) \approx 14^\circ \quad (8b)$$

$$W = 1.118 * \lambda * N \quad (9b)$$

$$H = (N * \lambda) / 4 \quad (10b)$$

Průměr d vodiče použitého k navinutí helixu by se měl pohybovat v rozmezí $0.04 \lambda < d < 0.09 \lambda$. Mělo by jít o vodič s co nejmenším měrným odporem. V praxi se používá elektrotechnická měď. V zamýšleném kmitočtovém pásmu se elektromagnetické vlnění šíří především po povrchu vodiče, proto lepší než plný vodič je užití trubkového vodiče s malou šířkou stěny. Pro dosažení nejlepších výsledků a současně pro antioxidační ochranu je výhodné jeho postříbení, u malých antén i pozlacení.

Dalším podstatným parametrem je charakteristická impedance Z , kterou lze v Krausově modelu empiricky určit ze vztahu

$$Z = 140 * (C / \lambda) \quad (\Omega) \quad (11)$$

V našem případě tedy právě oněch 140Ω , praktická měření ale ukazují hodnoty kolem 115Ω . Takto vysoká impedance je ovšem zásadním problémem v naší snaze o připojení k běžnému koaxiálnímu kabelu s impedancí 50Ω . Klíčovým úkolem je návrh vhodného impedančního kompenzátoru; bez něho by se podstatná část vlnění neefektivně odrazila a na výstupu bychom získali jen zanedbatelný signál daleko za našimi teoretickými očekáváními. Správné provedení impedanční kompenzace je tedy mnohem důležitější než exaktní dodržení geometrických rozměrů při domácí výrobě.

Potřebného impedančního přizpůsobení dosáhneme mechanickou modifikací ukončení anténního vodiče v oblasti první čtvrtiny vlny v blízkosti místa připojení k výstupnímu SMA konektoru některou z následujících metod:

Heckerův převodník

Výhody: jednoduché

Nevýhody: zeslabení signálu a zúžení přenosového pásma

Nejedná se o nic jiného, než o pravouhlý trojúhelník z tenkého měděného plechu nebo fólie o délkách odvěsen:

délka $L = 2 * S$ (dvojnásobek odstupů závitů)

šířka $H = 0.5 * S$ (polovina odstupů závitů)



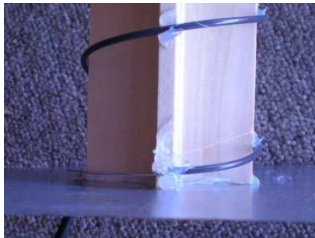
Takto formovaný plíšek přiletujeme k anténnímu vodiči širším koncem trojúhelníku v místě anténního vývodu tak, že kopíruje jeho zakřivený tvar a zužující se roh trojúhelníka stoupá společně s prvním závitem anténního vodiče. Tato metoda se jeví jako nejlépe realizovatelná pro helix navinutý na trubce, kdy Hackerův převodník navíneme po jejím povrchu.

Paralelní mikropásek

Výhody: dobré přizpůsobení a zachování šíře pásma

Nevýhody: zakřivený tvar mikropásku

Další možností je připojení paralelního mikropáskového vedení v oblasti první čtvrtiny prvního závitu. Jedná se také o čtvrtvlnné vedení, neboť čtvrtina obvodu závitu odpovídá čtvrtině vlnové délky. Mikropásek má tvar čtvrtiny mezikruží. Poloměr oblouku je totožný s poloměrem helixu při zachování konstantní šířky páska. Na jednom jeho konci se připojuje anténní vývod, tedy centrální pin SMA konektoru, na druhý konec počátek helixu. Rozměry mikropásku budou:



Délka oblouku

$$L = \lambda/4$$

Šířka $W = 1.25 * \text{odstup od desky reflektoru}$

Pin SMA konektoru se ponechá tak dlouhý, aby mikropásek přiletovaný k jeho konci měl odstup od reflektoru přibližně 3-4 mm. Připájí se rovnoběžně s reflektorem. Mikropásek nezastříhujeme do špičky! Protože první závit helixu počíná na druhé straně mikropásku ve vzdálenosti odpovídající jeho odstupu od reflektoru, je mírně deformován. Důležité je, aby počátek druhého závitu již byl přesně vzdálen čtvrt vlnové délky od reflektoru!

IBCrazyho rozšiřující se mikropásek

Výhody: velmi dobré přizpůsobení a tolerance k odchýlkám v rozměrech

Nevýhody: komplikovaný tvar mikropásku

Jinou variantou čtvrtvlnného mikropáskového vedení je postupně se rozšiřující páskové vedení připájené přímo k první čtvrtině stoupajícího anténního vodiče. Mikropásek má specifický zakřivený tvar – poloměr vnitřního oblouku je totožný s poloměrem helixu, přičemž se pásek postupně rozšiřuje ve směru stoupajícího prvního závitu, tedy obráceně než u Hackerova převodníku. Rozměry mikropásku budou:



Délka vnitřního oblouku

$$L = \lambda/4$$

Šířka na počátku páska

$$W_1 = 1.25 * \text{odstup od desky reflektoru}$$

Šířka na konci páska

$$W_2 = 0.064 * \lambda$$

Počátek anténního vodiče nezačíná přímo v rovině reflektoru, ale pin SMA konektoru se ponechá tak dlouhý, že anténní vodič je k němu připájen cca 2 mm nad rovinou reflektoru. Začátek mikropásku je

připájen cca 1.5mm od místa anténního svodu a postupně se rozšiřuje, jak se zvedá podél stoupajícího závitu. Mikropásek nezastřihujeme do špičky! Pokud bude počínat v místě, kde odstup vodiče od reflektoru je 2mm, bude mít na počátku 2.5mm šířky a bude končit v první čtvrtině závitu. Ta by měla mít odstup od reflektoru $S/4$. První čtvrtzávit je tedy mírně deformován. Důležité je, aby počátek druhého závitu již byl přesně vzdálen čtvrt vlnové délky od reflektoru!

IBCrazyho vlnová past

Výhody: neuvěřitelně jednoduché, lehké zvětšení šíře pásma

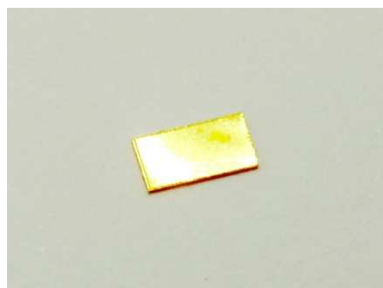
Nevýhody: žádné

Geniálně jednoduché řešení impedančního přizpůsobení představuje instalace vlnové pasti. Jedná se obdélníkový ústřížek přesně stanovených rozměrů:

$$a = \lambda / 8$$

$$b = \lambda / 16$$

Rozměry se snažíme dodržet co nejpřesněji s odchylkou do 0.25mm.



Obdélník se připájí k helixu delší stranou ve směru stoupajícího anténního vodiče souběžně s vinutím závitu přesně v polovině první čtvrtiny prvního závitu, tj. ve vzdálenosti $\lambda / 8$ od místa připojení helixu k anténnímu svodu. Vlnová past je k rovině reflektoru nakloněna v úhlu stoupání závitů helixu $\alpha \approx 14^\circ$. Jednoduché a funguje bezvadně.

V poslední řadě nezapomínejme na skutečnost, že pro praktickou manipulaci musí být helix fixován na nějaké nosné konstrukci. Teoretické vztahy uvedené výše jsou přitom platné pro vakuum, resp. pro helix ve vzduchu bez podpůrné konstrukce.

Materiál nosné konstrukce musí být samozřejmě izolant o co nejmenší vodivosti. I tak se však chová jako dielektrikum, reagující na dopadající elektromagnetické pole vnitřní polarizací vedoucí k jeho zeslabení, proto dbáme na to, aby nosná konstrukce zaujímala co nejmenší část vnitřního objemu helixu a jednalo se o materiál s co možná nejmenší elektrickou permitivitou.

Permitivita běžně dostupných izolačních materiálů je uvedena v následující tabulce:

prostředí	relativní permitivita	prostředí	relativní permitivita
vakuum	1.00000	polyetylén (PE)	2.4
vzduch	1.00016	papír	2.5
depron	1.06	polyakrylát (plexisklo)	2.7
teflon	2.03	polyvinylchlorid (PVC)	3.7
polypropylén (PP)	2.1	dřevo	2.3 – 3.5

Vhodným uspořádáním nosné konstrukce je kříž z plošného materiálu malé tloušťky, případně navinutí na plastovou trubku co nejmenší šířky stěny. Z běžných plastů je nejméně vhodné PVC, dobré není ani organické sklo často užívané z „efektních“ důvodů. Ideálním materiálem je tvrzený depron, užívaný v modelářství pro velmi lehké konstrukce parkflyerů. Asi nejhorší volbou by bylo navinutí na plný dřevěný válec.

Pokud máte na výběr vzorky více materiálů, rámcovou představu o vhodnosti každého z nich poskytne jednoduchý test: Vložte vzorky do mikrovlnné trouby na cca 1 minutu při středním výkonu. Nejteplejší materiál je pro nosnou konstrukci helixu tím nejméně vhodným, absorboval totiž nejvíce mikrovlnného záření. Vhodné jsou tedy i plasty, z nichž se vyrábí nádobí pro mikrovlnné trouby.

Pokud jde o vliv vloženého dielektrika na geometrický návrh helixové antény, uživatel IBCrazy s rozsáhlými zkušenostmi s konstrukcí helixových antén na fóru rcgroups.com uvádí, že u antén s nosnou konstrukcí z materiálu o vyšší elektrické permitivitě je užitečné mírně zvětšit průměr závitů D o 5 až 15% při zachování nezměněného odstupu závitů S . Nejvyšší korekci 15% doporučuje u navinutí na PVC rouru. Křížová nosná konstrukce z plochého materiálu o tloušťce srovnatelné s průměrem anténního vodiče d představuje tak malé množství vloženého dielektrika, že korekci průměru závitů neprovádí. Jím navrhovaná korekce průměru závitů je v přímé shodě s Emersonovým doporučením. Možná spíše než o vliv dielektrika se jedná o nezávislé potvrzení Emersonova modelu jako bližšího ideálnímu návrhu, přičemž vložená nosná konstrukce jen podtrhuje jeho přednosti oproti Krausovu modelu.

Praktický návrh

K výpočtům parametrů helixových antén lze s výhodou použít některou z těchto online kalkulaček:

[Helical Antenna Design Calculator](#)

[JavaScript Helix Antenna Calculator](#)

Kdo si chce s návrhem helixové antény opravdu pohrát a pozorovat např. vliv změn jejích konstrukčních prvků na její vlastnosti a směrovou charakteristiku, jistě si vyhraje s [tímto freeware programem](#).

Dále rozeberme vlastní konstrukci 12 závitové antény pro pásmo 5.8GHz. S užitím matematických vztahů uvedených v teoretické části vycházejí následující parametry:

Vlnová délka λ pro frekvenci $f = 5820$ MHz: $\lambda = 300000000/5820000000 = 0,0515$ m = 51.5mm, obvod závitů $C = \lambda = 51.5$ mm, odstup závitů $S = \lambda/4 = 12.4$ mm, průměr reflektoru $R = \lambda = 51.5$ mm.

$N = 12$, tedy potřebná délka anténního vodiče vychází $L = N \cdot 1.118 \cdot \lambda = 12 \cdot 1.118 \cdot 51.5 = 691$ mm. Délka centrálního vřetena helixu $W = N \cdot S = 12 \cdot 12.4 = 149$ mm při průměru helixu $D = \lambda/\pi = 16.4$ mm.

Optimální průměr vodiče d leží mezi 0.04 až 0.09λ , tedy 2.1 až 4.6 mm; zvolil jsem 3 mm. Rozměry vlnové pasti budou $a = \lambda/8 = 6.4$ mm, $b = \lambda/16 = 3.2$ mm.

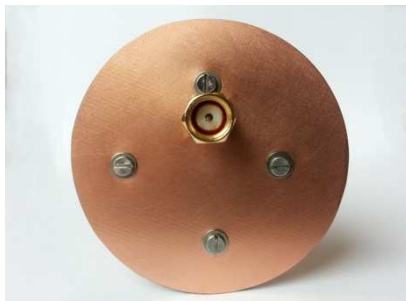
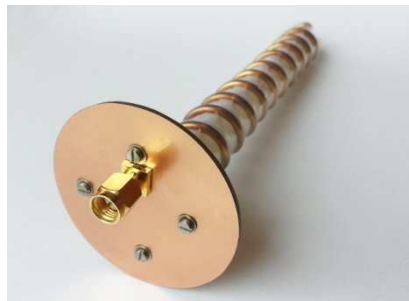
Předpokládaný zisk bude ležet někde mezi Krausovým modelem $G = 10.8 + 10 \cdot \log(N/4) = 10.8 + 10 \cdot \log(12/4) = 10.8 + 10 \cdot \log 3 = 15.57$ dBi a Emersonovým modelem $G = 10.25 + 0.305 \cdot N - 0.00454 \cdot N^2 = 10.25 + 0.305 \cdot 12 - 0.00454 \cdot 12 \cdot 12 = 13.25$ dBi.

Předpokládaná šíře kužele polovičního výkonu je rovna $HPBW = 104 / \sqrt{N} = 104 / \sqrt{12} = 104 / 3.46 = 30^\circ$ a celková šíře axiálního kužele až po první nulový výkon pak $BWFN = 230 / \sqrt{N} = 230 / \sqrt{12} = 230 / 3.46 = 66^\circ$

Pro nejběžnější frekvenční pásma užívaná v FPV jsou hlavní geometrické parametry uvedeny v následující tabulce:

f (MHz)	λ (mm)	C (mm)	R (mm)	D (mm)	S (mm)	L (mm)	d (mm)	α (°)	Z (Ω)	a (mm)	b (mm)
980	306	306 (382)	306	97.4 (112.0)	73.4	342 (388)	12 - 15	14	140	38.2	19.1
1140	263	263 (304)	263	83.7 (96.8)	63.2	270 (310)	10 - 12			32.9	16.4
1280	234	234 (270)	234	74.6 (86)	56.1	262 (275)	10			29.2	14.6
2450	122	122 (142)	122	39.0 (45.0)	29.3	136 (145)	5 - 6			15.2	7.6
5820	51.5	51.5 (59.4)	51.5	16.4 (18.9)	12.4	57.6 (60.7)	2 - 3			6.4	3.2

Frekvence uvedené v prvním sloupci odpovídají „střední“ frekvenci z frekvencí kanálů, které vysíláče výrobců FPV techniky v pásmech 900, 1200, 1300, 2400 a 5800 MHz zpravidla podporují. Hodnoty v prvním řádku odpovídají návrhu podle Krausova modelu, hodnoty v závorkách jsou blízké Emersonovu modelu a měly by být použity zejména při použití materiálů s vyšší permeabilitou (PVC, organické sklo) na nosnou konstrukci helixu při zachování odstavu závitů 0.24λ pro oba modely.



Reflektor nemusí být nutně kruhový, může být čtvercový nebo osmiúhelníkový, odpovídající průměrem, resp. délkou strany čtverce vlnové délce. Jeho velikost není kritická, bez problému může být menší až do velikosti 0.75λ ,

nezhotovujeme ho však větší než λ . Použil jsem neodleptanou oboustrannou destičku pro výrobu plošných spojů opilovanou do tvaru kruhu. Do reflektoru jsem asymetricky vpájel SMA konektor (samec) tak, aby jeho centrální pin procházel u okraje vinutí helixu. Zkrátil jsem ho tak, aby končil asi 1.5 mm nad povrchem reflektoru; v této výšce bude končit i vedení helixu. Oba vodivé povrchy reflektoru se vodivě propojí s objímkou a tělem SMA konektoru. Hotový reflektor je vhodné nalakovat, aby se zabránilo opětovné oxidaci jeho povrchu. Reflektorem procházejí čtyři šroubky M2 x 4mm, které slouží k přichycení nosné konstrukce.



Jako nosný materiál jsem použil tvrzený depron tloušťky 5mm, ze kterého byly vytvořeny dva segmenty určené ke vzájemnému zasunutí do sebe do profilu kříže podle přiloženého nákresu. Zářezy nosné konstrukce jsou určeny pro vodič průměru 3mm. Při frézování zářezů je třeba pamatovat na sklon závitů cca 14° , pod tímto sklonem by měly být zářezy v nosné konstrukci provedeny. Směr sklonu závisí na tom, zda se zhotovuje anténa pro pravotočivě nebo levotočivě orientované vlnění.

Pro frekvence 2.4GHz se nabízí navinutí na instalační PVC rouru 40mm, pro pásmo 900 a 1200 MHz pak navinutí na klimatizační tenkostěnnou rouru z PE o průměru 100, resp. 110 mm.

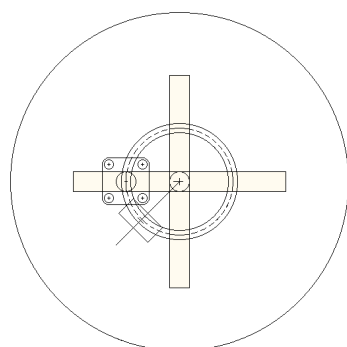
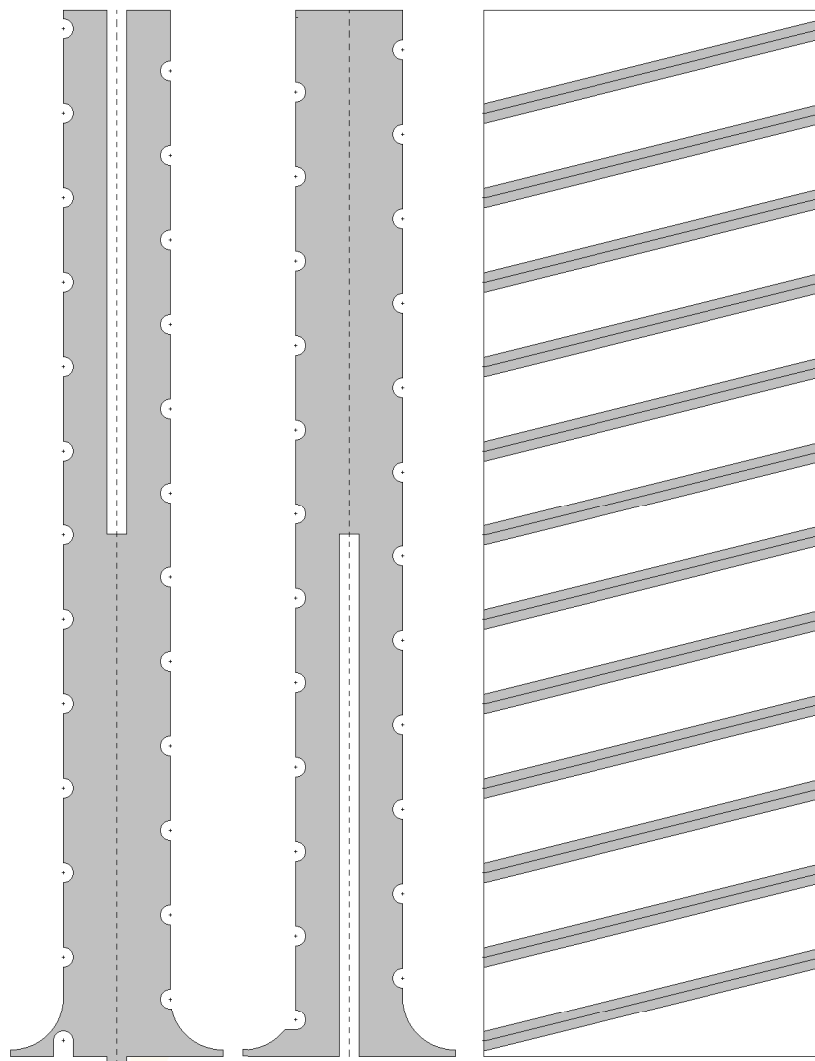
Důležitější než dodržení přesného průměru je zachování přesného a pravidelného odstavu závitů. K tomu lze použít navinovací nákres v příloze, který přichytíme na rouru a následně např. nožem protlačíme na plast místa budoucího vedení anténního vodiče.

Odstřihneme vždy anténní vodič o délce nejméně o 1 závit delší, než odpovídá potřebné kalkulované délce. Prakticky navinutá délka se bude od té vypočtené vždy trochu lišit, navíc přebytečný konec je velmi praktický při tvarování posledního závitu vedení, které se po navinutí zkrátí přesně na požadovaný počet závitů.

Jako anténní vodič jsem použil dutou měděnou trubičku o průměru 3mm a tloušťce stěny 0,5mm. Průměry nad 10mm lze sehnat v OBI či Baumaxu v oddělení topenářské techniky, s menšími průměry

je v ČR značná potíž. Trubičky průměru 3 – 10 mm jsem nakonec sehnal v německém modelářském e-shopu Bengs-Modellbau. Pokud ovšem měděnou trubičku neseženete, nezoufejte. Je možné použít plný měděný vodič o průřezu 4 – 10mm², který navineme včetně originální PE izolace.

K výrobě nosné konstrukce, reflektoru i prvků pro impedanční kompenzaci můžete využít následující náčrty. V jeho dolní části jsou měřítka, která udávají, jak je třeba tento náčrty zvětšit, resp. zmenšit, abyste dostali návrh rozměrů pro dotyčné frekvenční pásmo. Návrh počítá s odstupem závitů $\lambda/4$.



- Hecker transformer:
 - Parallel microstrip:
 - Tapered climbing microstrip:
 - Wave trap:
- Notice: Microstrip width valid for reflector distance $0.05 \cdot \lambda$

scale 100mm for 5.8GHz design

 scale 200mm for 2.4GHz design

 scale 300mm for 1.3GHz design

 scale 300mm for 1.2GHz design

 scale 300mm for 900MHz design

Při použití měděné trubičky ovšem musíme řešit problém antioxidační ochrany. Tu lze řešit nevodivým lakem pro UHF, pro antény 2.4GHz je lepší přemýšlet o postříbření. U mé konstrukce antény pro 5.8GHz jsem se rozhodl pro skutečnou vychytávku, totiž galvanické pozlacení pro dosažení nejlepších výsledků i pro nejlepší antioxidační ochranu.



Nechat si spirálu galvanicky pozlatit komerčně by vyšlo příliš draho (1800Kč bez DPH!), rozhodl jsem se tedy pro pozlacení podomácku. Ano, dokonce i galvanicky zlatit se dá podomácku a byl jsem až překvapen, jak dobrých výsledků je možné dosáhnout.

Pozlacení je třeba provést ještě před navinutím měděné trubičky do spirály. Po navinutí jen dodatečně pozlatíme její konec po ustřižení na správnou délku.

S ohledem na ceny zlatících galvanizačních roztoků nelze galvanizovat při ponoření do galvanizační lázně, nýbrž galvanické zlacení drobnějších předmětů se provádí tzv. tampónovou galvanizací. Při ní je tampón, resp. houbička navlhčená zlatícím roztokem obsahujícím ryzí 24 karátové zlato rozpuštěné v alkalickém roztoku, přikládána ke zlatěnému povrchu. Zlacený předmět je připojen k zápornému pólu galvanizačního zdroje, houbička je připevněna k hlavici vodivě spojené s kladným pólem zdroje.



Ke zlacení jsem použil ruční galvanizační set, v našich šířkách včetně zlatícího a stříbřícího elektrolytu k zakoupení u firmy [Conrad](#). V Německu lze tento galvanizér i samostatně prodejný zlatící a stříbřící elektrolyt sehnat levněji. Sada obsahuje ruční tampónový galvanizér, do něhož se vkládají dva malé monočlánky. Možné je i použití vnějšího stejnosměrného zdroje. S ohledem na manipulaci se při zlacení ukázaly dva alkalické monočlánky jako ideální. Zlacení se totiž smí provádět napětím 2,5 až 3V, nikdy napětím vyšším při proudové hustotě 25-50mA/cm². Přiložený galvanizační roztok má již vodivost přizpůsobenu k dosažení potřebné proudové hustoty. Pro ruční zlacení je třeba

používat elektrolyty s vysokým podílem rozpuštěného ryzího zlata, nikoliv levnější varianty elektrolytů určené pro pokovování ponořením do galvanické lázně.

Před použitím houbičku namočíme do vody, vyždímáme a navlékneme na galvanizační hlavici. Na tu následně nanese několik kapek zlatícího roztoku, např. kapátkem. Před navinutím je nutné trubičku vyleštit do vysokého lesku brusnou pastou a následně dokonale odmastit v benzínu, lihu

nebo jiném čistícím přípravku. Při galvanizaci je třeba držet trubičku v textilních rukavicích, aby se zabránilo opětovnému umaštění. Galvanizační hlavici přiložíme k trubičce a s mírným přitlakem jí velmi pomalu otáčíme. V žádném případě rychle nesmýkáme sem a tam. Povrch počíná pomalu žloutnout. Aby měď neprosvítala a povrch získal charakteristické zlaté zbarvení, musí být pokryt vrstvou aspoň 0,4 μ m zlata. Zlacení je velmi pomalé, k rovnoměrnému pozlacení 70cm dlouhé trubičky o průměru 3mm bylo zapotřebí cca 3 hodin času.

Výsledky jsou dokonalé. Manželka vida účinek mi ihned podsunula částečně ošoupané zlatené hodinky. K jejich pozlacení byla potřeba vrstva zlata podstatně silnější, ale již po 5 minutách zlacení vypadaly jako nové a ani po dvou měsících denního nošení se neprojevují známky jejich odzlatění. Sada obsahuje i elektrolyt pro ruční galvanické stříbření, takže se není třeba obávat, že pro galvanizační set už nikdy žádné jiné uplatnění nenajdete.

Stejně jako spirálu jsem pozlatil i kousek měděné fólie následně použité pro vlnovou past. Zlacený povrch je výborně pájitelný. Helix je připájen pouze k centrálnímu pinu SMA konektoru a s reflektorem nesmí být vodivě propojen! Vlnová past se připájí do poloviny první čtvrtiny závitů.

Trn hotové antény s navinutým a připájeným anténním vodičem je ideální stáhnout do průhledné smršťovací fólie zajišťující ochranu před poškrábáním nebo deformací vodiče.

Celkové náklady na výrobu helixové antény 5.8GHz byly následující:

- Anténní SMA konektor cca 68Kč
- Měděná trubička 1000mmx3mm cca 290Kč s poštovním ze SRN
- Deska tvrzeného depronu 800x600x5mm cca 104Kč (stačila by ale nejméně na 30 antén)
- Destička oboustranného plošného spoje 160x100mmx1.5mm cca 36Kč

K tomu galvanizační set včetně stříbrícího a zlatícího elektrolytu v ceně 1290Kč, ale pozlacení ani postříbření není nevyhnutelné, takže tuto položku do nákladů nezapočítávám. K sadě přiložený zlatící roztok (30ml) samostatně prodejný v ceně cca 370Kč by stačil k pozlacení nejméně dvou antén 5.8GHz.

Anténa pro 5.8GHz je tak lehká, že nosné mechanické připevnění k přijímači řeší přímo SMA konektor, u větších antén je nutné samostatné mechanické uchycení a propojení vývodu koaxiálním kabelem.



Již při prvním letu s vysílačem 250mW bylo zřejmé, že zisk antény je zcela jinde než u clover-leaf antény, obraz zůstal zcela čistý a bez výpadků až po samou hranici 700m, za kterou jsem z důvodu terénních překážek létat nechtěl. Při vzdálenosti nad 100m od vysílače se již projevovala nutnost směřování antény, u vzdálenosti nad 300m se obraz při opuštění kužele o šíři cca 40° rapidně zhoršoval. Manuální antenna-tracking natočením hlavy za modelem při připojení antény přímo k FPV-brýlím se ukázal jako stěží možný, 12 závitová anténa je již příliš směřová. Pro manuální navigování pohybem hlavy v okruhu přímé viditelnosti by byla vhodnější anténa se 6 až 8 závitů. Byla však zhotovena pro použití s antenna-trackerem nebo pro pevné umístění na stativ,

Přeji Vám hodně úspěchů s konstrukcemi Vašich vlastních helixových antén!