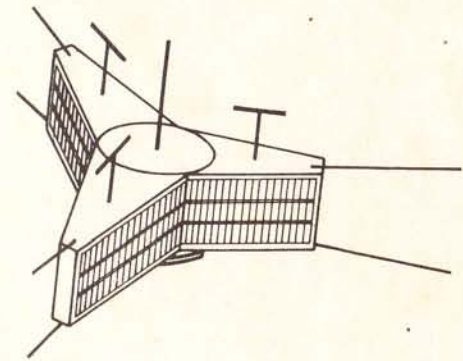


PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY



Ing. Karel Jordan

RADIOAMATÉRSKÉ DRUŽICE

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU
ÚSTŘEDNÍ RADA RADIOAMATÉRSTVÍ SVAZARMU

3.



KNIZNICE
SVAZARMU

PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY

Ing. Karel Jordan, OK1 BMW

RADIOAMATÉRSKÉ DRUŽICE

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU
ÚSTŘEDNÍ RADA RADIOKLUBU SVAZARMU

3.

OBSAH

Úvod	7
1. Stručná historie do konce roku 1981	9
2. Základní principy komunikace	15
2.1. Energetický rozpočet trasy	15
2.2. Rušivé jevy a anomálie šíření vln	20
3. Dráhy družic	29
3.1. Nízká kruhová dráha	31
3.2. Vysoká eliptická dráha	38
3.3. Geostacionární a geosynchronní dráha	46
4. Predikování polohy družice	50
4.1. Kruhová dráha	52
4.2. Vysoká eliptická dráha	61
4.3. Geostacionární družice	65
5. Palubní vybavení družic	68
5.1. Energetická soustava	68
5.2. Majákové vysílače a volba kmitočtů	70
5.3. Telemetrický systém	72
5.4. Ovládací obvody	74
5.5. Převáděče	75
5.6. Anténní systémy a stabilizace polohy	80
6. Provoz přes družicové převáděče	88
6.1. Vysílač pozemní stanice	88
6.2. Přijímač pozemní stanice	89

6.3. Antény pozemní stanice	92
6.4. Vlastní provoz	102
6.5. Provozní predikce	104
6.6. Počáteční predikce	107
7. Družice současné a budoucí	109
7.1. Amsat Oscar 8	109
7.2. AO9 - UOSAT	111
7.3. Družice RS3 až RS8	115
7.4. Budoucí projekty	118
Seznam obrázků a tabulek	120
Seznam literatury	122

ÚVOD

V době rozvíjející se vědeckotechnické revoluce slova "kosmos" a "kosmický" již ztrácejí svůj nádech exotičnosti a mimořádnosti a využívání kosmického prostoru se stává běžnou praxí. Nejinak je tomu i v radioamatérském sportu, kde převáděče umístěné na oběžné dráze kolem Země již řadu let rozšiřují komunikační obzor tisícům amatérům na celém světě. Uplynulých dvacet let radioamatérských družic dokumentuje i schopnost radioamatérů zvládnout nejobtížnější a nejmodernější techniku a tento propagandistický rys je plně oprávněný tím spíše, že i zde radioamatéři zaznamenali některé úspěchy dříve než profesionální pracovníci.

Přechod do kosmu přináší významný podnět k rozšíření spektra radioamatérské činnosti, k rozšíření vědomostí v příbuzných i vzdálenějších oborech a zcela naplňuje novátorský, pokusnický smysl radioamatérské práce. Komunikace pomocí družicových převáděčů i jejich konstrukce se bouřlivě rozvíjejí a budoucnost radiové komunikace patří jim. Zatím jsme na začátku této éry, ale lze očekávat, že v průběhu deseti, patnácti let bude vybudována celosvětová síť družic, která umožní spojení mezi libovolnými místy na Zemi se spolehlivostí jinými způsoby šíření vln nedosažitelnou.

V následujících kapitolách jsou nastíněny základní principy a problémy komunikace pomocí družicových převáděčů. Při rychlém

rozvoji oboru je obtížné napsat práci, která by vystihla současný stav a přitom zůstala aktuální několik let. Tento problém se projevil při psaní rukopisu, který musel být dvakrát přepracován, aby zachytil i poslední události - vypuštění družice UOSAT a sovětských družic RS3-RS8 v závěru roku 1981.

V přednáškách je věnováno více místa hlavním fyzikálním a technickým principům, které platí obecně a jejichž znalost lze využít při provozu přes družice, které teprve přijdou. Právě pochopení zákonitostí, jimiž se řídí pohyb družic, různých anomálií při šíření vln atp., je potřebné k tomu, aby výsledky radioamatérské práce nebyly jen náhodné. Obavy z přílišné komplikovanosti oboru jsou zbytečné. Stále přibývá těch, kteří pracují pomocí družicových převaděčů. V ČSSR si to do konce roku 1981 vyzkoušelo již asi 5% radioamatérů a podobný trend je patrný na celém světě. Také celá filosofie návrhu a vývoje nových radioamatérských družic směřuje k tomu, aby se družice staly zcela běžným komunikačním prostředkem pro každého.

Nakonec bych se rád omluvil za dva formální nedostatky. Z technických důvodů je ve výkladu a vzorcích místo obvyklé řecké abecedy použito písmen velké abecedy. Druhou nedůsledností je neúplná citace článků z časopisů. Při přesné citaci všech použitých pramenů by seznam zabraňoval příliš mnoho cenného místa, které je raději věnováno výkladu.

1. STRUČNÁ HISTORIE DO KONCE ROKU 1981

Kosmický věk začal 4.10.1957, kdy Sovětský svaz vyslal na oběžnou dráhu první družici v historii lidstva - SPUTNIK 1. Připání majákového vysílače na 20,005 MHz tehdy přijímala i řada radioamatérů po celém světě. A o pět let později - 12.12.1961 - byla na oběžnou dráhu uvedena první radioamatérská družice OSCAR 1. Její prostý vysílač, pracující v pásmu 145 MHz a napájený z chemických článků, vysílal téměř 7 týdnů charakteristickou skupinu "HI HI". Družice v podobě koule vážila asi 5 kg a její stavba přišla na pouhých 65 dolarů. Postavila ji skupina amerických radioamatérů z oblasti San Franciska, sdružených ve společnosti Project OSCAR Inc. Zkratka OSCAR vznikla z počátečních písmen názvu Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio. Pro svou libozvučnost a přiléhavost se vžila tak, že všem radioamatérským družicím se říká OSCAR a identifikační skupina "HI" se používá ve vysílání palubních majákových vysílačů po dnes.

Za uplynulé dvacetiletí radioamatérských družic zaznamenala kosmická technika pozoruhodný rozmach a každá další družice přinesla něco nového. OSCAR 2 /2.6.1962/ byl sice jen obdobou družice OSCAR 1, zato OSCAR 3 /9.3.1965/ nesl na palubě již lineární převeděč 145/145 MHz o šířce pásma 50 kHz. Byla to vůbec první družice na světě pro vícenásobnou komunikaci s libovolným přístupem. OSCAR 3 byl v činnosti 15 dní a za tu dobu bylo

přes jeho převáděč navázáno pouze 176 spojení, z toho dvě transatlantická. OSCAR 4 /21.12.1965/ se následkem závady na raketě dostal na silně eliptickou dráhu. Byl vybaven převáděčem 145/435 MHz s šířkou 10 kHz. Majákový vysílač pracoval několik měsíců, ale převáděč přinesl zklamání. Bylo navázáno pouze 6 oboustranných spojení během prvních dvanácti oběhů.

Australie OSCAR 5 /23.1.1970/ uzavřel první generaci radioamatérských družic, jejichž společným znakem byla krátkodobá funkce palubního zařízení, určená životností chemických napájecích článků. Na družici OSCAR 5, vyvinutou australskými radioamatéry, byly ověřovány některé nové principy v konstrukci palubního zařízení a vhodnost pásma 29 MHz pro družicové účely. Poprvé byl použit systém dálkového ovládnání ze Země pro zapínání majákových vysílačů, pracujících na 145,05 MHz /výkon 50 mW/ a na 29,45 MHz /výkon 180 mW/. Majáky vysílaly telegraficky sedmikanálovou telemetrií důležitých palubních hodnot. Dále byl úspěšně ověřen princip pasivní magnetické stabilizace polohy družice v prostoru, za účelem podstatného zpomalení vlastní rotace družice.

Na vypuštění družice OSCAR 5 se již podílela značnou měrou organizace AMSAT /Radio Amateur Satellite Corporation/, založená v dubnu 1969 ve Washingtonu. Tato nekomerční, mezinárodní vědecká společnost si vytyčila úkol zajišťovat vývoj a výrobu družic pro radioamatérské účely s cílem podpořit provoz na VKV pásmech, usnadnit komunikaci při živelných pohromách, rozšiřovat vědecké, technické a provozní informace, přispět k rozvoji progresivní techniky v radioamatérských kruzích. AMSAT sdružuje nyní na 3000 členů z celého světa a kolektivními členy jsou

i vědecké a školské organizace, za jejichž podpory se družicový program uskutečňuje. Družice totiž slouží i jako učební pomůcka na školách k demonstrování principů a možností družicové radiokomunikace. Z členských příspěvků a z dobrovolných sbírek a darů je financován vývoj a stavba družic.

Družici Amsat OSCAR 6 /A06/ vypuštěnou 15.10.1972 začíná druhá generace radioamatérských družic. A06 byl vynesena spolu s meteorologickou družicí NOAA-2 na polární, přibližně kruhovou dráhu o výšce 1460 km, se sklonem 101,7° a oběžnou dobou zhruba 115 minut. Družice o hmotnosti 20 kg má podobu kvádrů 16x30x44 cm. Polovina povrchu je pokryta slunečními články, které dodávaly na začátku života průměrný výkon 2 W a nabíjely akumulátor 24 V/6 Ah. K palubní výzbroji náležel lineární převáděč 145,90-146,00 MHz/ 29,45-29,55 MHz, majákové vysílače 200 mW na 29,45 MHz a 300 mW na 435,1 MHz. Telemetrický systém přenášel pomocí majákových vysílačů 24 údaje z palubního zařízení v podobě tříčíslicových skupin Morseovy abecedy. Majáky byly doplněny pamětí CODESTORE, posuvným registrem o kapacitě 896 bitů. Paměť mohla být programována ovládací stanicí ze Země, takže na její povel mohly majákové vysílače vysílat krátké zprávy v otevřené řeči Morseovou abecedou nebo RTTY. Povelová ovládací souprava obsahovala celkem 21 zapínacích povelů sloužících k zapínání a vypínání převáděče, majáků, CODESTORE, rychlosti telemetrie atp. K ovládnání družice A06 bylo zřízeno na Zemi několik řídicích stanic. Je to především jejich zásluha, že A06 byl udržen při životě až do 15.6.1977 a překonal více než čtyřnásobně plánovanou délku života. Na palubě A06 se totiž již brzy po startu projevil nespolehlivý kontakt jednoho panelu

sluneční baterie a na životnost akumulátorové baterie působilo nepříznivě přetěžování převaděče silnými signály komunikujících stanic. Režim palubní elektroniky bylo proto nutné neustále upravovat vypínáním a zapínáním převaděče, aby akumulátor vydržel co nejdéle. Ukončení funkce AO6 bylo nakonec způsobeno zničením akumulátorové baterie a družice zmlkla při svém 21405. oběhu.

AO6 představoval ohromný kvalitativní skok proti dřívějším oscarům. Za dobu jeho činnosti pracovalo přes jeho převaděč tisíce amatérů z více než stovky zemí po celém světě a byla uskutečněna spojení všemi možnými způsoby provozu, nevymýšleje RTTY a SSTV. Dokonce jsou mezi nimi spojení z pohybujeících se dopravních prostředků /automobilů, lodí, letadel/ a byl úspěšně demonstrován přenos dat pro lékařské účely /EKG, EEG/. Pro čsl. amatéry AO6 přinesl vůbec první družicové spojení v historii značky OK a pak úspěšný rozvoj, který nás řadil na přední místo na světě.

Amsat OSCAR 7 /AO7/ byl zatím neúspěšnější a nejdéle pracující družicí /15.11.1974 - 13.6.1981/. Byl vypuštěn jako sekundární přítěž s meteorologickou družicí ITOS G na dráhu podobnou dráze AO6. Na palubě družice ve tvaru osmibokého hranolu o rozměrech \emptyset 42x36 cm a hmotnosti 29 kg se nacházely dva lineární převaděče: převaděč módu A /podobný AO6/ 145,85-144,95/29,40-29,50 MHz a převaděč módu B 432,175-432,125/ 145,925-145,975 MHz. Telemetrický systém vysílal jednak 24 kanálovou telemetrii Morse provozem A1, jednak 60-ti kanálovou RTTY 45,5 Bd provozem F1. Podstatné zlepšení komunikace přinesla turniketová anténa pro kruhovou polarizaci, používaná pro 432 i 145

MHz. Převaděč módu A nebyl tak úspěšný jako převaděč na AO6 následkem závady v mf přijímače a méně vhodného umístění vysílacího dipólu pro 29 MHz. Zato převaděč módu B předčil veškeré očekávání a stal se zatím nejlepším převaděčem v kosmickém prostoru, k provozu stačil u pozemní stanice výkon řádu jednoho wattu. Během společné dvouleté činnosti družic AO6 a AO7 nastávala periodicky období vzájemného přiblížení družic, takže byly při přeletech současně nad obzorem. Při současné funkci převaděče na AO6 a převaděče módu B na AO7 byla uskutečňována i spojení "cross-satellite" tj. pomocí dvou kosmických převaděčů. AO7 ukončil svou činnost podobně jako AO6 zničením palubního akumulátoru. Plánovaná tříletá doba života družice byla ale stejně překročena více než o 100%.

Další družicí je Amsat OSCAR 8 vypuštěný 5.3.1978. Družice je dosud v provozu a je proto popsána v závěrečné kapitole. V témže roce dne 26.10. byly uvedeny na oběžnou dráhu dvě sovětské družice Radio 1 a Radio 2 pod označením RS1 a RS2 /Radioljubitel'skij Sputnik/. Obě byly vypuštěny současně jako sekundární přítěž s družicí Kosmos 1045 na dosud nejvyšší kruhovou dráhu o výšce asi 1700 km a sklonu $82,5^\circ$. Oběžná doba byla dvouhodinová. Na palubě družic ve tvaru válce \emptyset 42x39 cm o hmotnosti 40 kg byly shodné lineární převaděče 145,88-145,92/29,36-29,40 MHz a majákové vysílače na 29,40 MHz. Majáky vysílaly 30-ti kanálovou telemetrii. Lineární převaděče měly velmi citlivé přijímače, k spojení stačil 1 W výkonu na dipólu. O to byly větší potíže s přetěžováním převaděčů silnými signály západoevropských stanic. Družice měly experimentální charakter a činnost palubního zařízení oficiálně skončila počátkem února 1979.

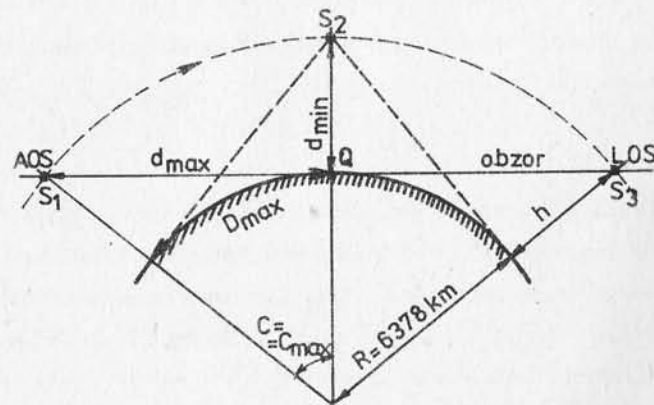
Dne 23.5.1980 odstartovala raketa Ariane, která měla vynést jako sekundární zátěž i první družici Amsat třetí generace - Phase 3A. Několikaletý vývoj této družice byl nejnáročnější a nejnákladnější akcí organizace Amsat /náklady asi 200000 dolarů/. Družice, po vynešení na parkovací dráhu, měla být přidavným raketovým motorkem uvedena na silně eliptickou dráhu s výškou perigea 1500 km a výškou apogea 36000 km s 11-ti hodinovou oběžnou dobou. Lineární převáděč byl určen pro převod 435/145 MHz s šířkou kanálu 180 kHz. Družice měla zprostředkovat stanicím na severní polokouli až osmihodinovou nepřetržitou komunikaci na vzdálenost až 18.000 km. Při startu došlo k havárii prvního raketového stupně Ariane a raketa i s užitečnou zátěží se zřítila z výšky 10 km do moře. Druhý, zlepšený exemplář družice 3. generace - Phase 3B je připravován k vypuštění v roce 1982/1983.

Na samém konci tohoto historického přehledu jsou dvě události ze závěru roku 1981. Dne 6.10.1981 byla uvedena na oběžnou dráhu první vědecká radioamatérská družice, zkonstruovaná britskou organizací Amsat-UK, jmenovitě skupinou soustředěnou kolem vysoké školy University of Surrey. Odtud též pramení název družice - UOSAT. O družici je pojednáno v závěrečné kapitole. Druhou a poslední událostí, kterou již začíná třetí desetiletí radioamatérských družic, je vypuštění série šesti sovětských družic RS3 až RS8 dne 17.12.1981, vybavených převáděči 145/29 MHz a automatickým telegrafním odpovídačem. Údaje, které se podařilo shromáždit do uzávěrky rukopisu, jsou také obsaženy v poslední kapitole přednášek.

2. ZÁKLADNÍ PRINCIPY KOMUNIKACE

2.1. ENERGETICKÝ ROZPOČET TRASY

Družice obíhá Zemi zpravidla ve výšce větší než 500 km. Radiové vlny na sestupné trase družice-Země procházejí ionosférickými vrstvami ve výškách 60-500 km, u komunikace přes převáděč dvakrát - na vzestupné a sestupné trase. V prvním přiblížení můžeme vliv ionosféry na šíření VKV zanedbat a považovat ionosféru pro VKV za zcela "průhlednou". Energetický rozpočet přenosových tras můžeme proto popsat vztahy pro šíření elektromagnetických vln volným prostorem. Pro jednoduchost uvažujeme družici na kruhové dráze o výšce h /obr.1/. Družice S je nej-



Obr.1* Geometrie spojové trasy

blíže pozemní stanici Q, když právě prochází jejím nadhlevníkem /poloha S₂/ - vzdálenost se rovná výšce dráhy. Největší možná komunikační vzdálenost odpovídá spojnici QS₁ = QS₃ při východu a západu družice nad optický obzor pozemní stanice. Pro přesnost na trase platí vztah

$$P_p/P_v = A_v \cdot A_p / (d^2 \cdot L^2) \quad /1/$$

kde P_p je výkon přijímaného signálu, P_v je výkon vysílaný, A_v a A_p účinné plochy vysílací a přijímací antény, d vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, L vlnová délka.

Pro praktické výpočty je vhodné vzorec /1/ upravit pro praktické jednotky a zlogaritmovat, takže získáme vztah pro útlum trasy mezi isotropickými anténními zářiči

$$b_t = 22 + 20 \log (d/L) \quad [\text{dB}; \text{m}, \text{m}] \quad /2/$$

nebo

$$b_t = 33,5 + 20 \log d + 20 \log f \quad [\text{dB}; \text{km}, \text{MHz}] \quad /3/$$

Celkový útlum trasy je útlum šířením b_t snížený o zisky přijímací a vysílací antény

$$b_{tc} = b_t - E_p - E_v \quad /4/$$

V následující tabulce (TAB.1) jsou vypočítány pro jednotlivá používaná pásma útlumy pro minimální a maximální vzdálenost, pro typické výšky oběžných drah a pro isotropické anténní zářiče. Uvažujeme-li na obou stranách trasy půlvlnné dipólové antény, útlum trasy se sníží o 2x 2,15 = 4,3 dB.

Přijímaný signál na vstupu přijímače musí být natolik silný, aby převýšil úroveň šumu. Pro přijatelný provoz telegrafii

ÚTLUM TRASY MEZI ISOTROPICKÝMI ZÁŘIČI

Tabulka I.

F [MHz]		AO9	AO8	AO6	RS	P1B	
		d _{min} = h	540	915	1460	1660	36000
	d _{max}	2679	3536	4555	4891	41895	km
29	b _t min	117,4	122,0	126,0	127,2	153,9	dB
	b _t max	131,3	133,7	135,9	136,5	155,2	dB
145	b _t min	131,4	136,0	140,0	141,1	167,9	dB
	b _t max	145,3	147,7	149,9	150,5	169,3	dB
435	b _t min	140,9	145,5	149,6	150,7	177,4	dB
	b _t max	154,8	157,2	159,4	160,1	178,7	dB
1260	b _t min	150,2	154,7	158,8	159,9	186,6	dB
	b _t max	164,1	166,5	168,7	169,3	188,0	dB
2300	b _t min	155,4	160,0	164,0	165,1	193,9	dB
	b _t max	169,3	171,7	173,9	174,5	193,2	dB
10300	b _t min	168,4	173,0	177,0	178,2	204,9	dB
	b _t max	182,3	184,7	186,9	187,5	206,2	dB

je žádoucí odstup alespoň 6 dB. Úroveň tepelného šumu na vstupu přijímače je dána známým vztahem

$$P_g = kTBF_p \quad [\text{W}; \text{K}, \text{Hz}] \quad /5/$$

v němž P_g je šumový výkon, k Boltzmanova konstanta, T absolutní teplota, B šumová šířka pásma přijímače, F šumové číslo přijímače. Pro normální teplotu T₀ = 17°C (290°K) nabývá součin kT₀ hodnotu 4.10⁻²¹ W/Hz.

Skutečná anténa připojená na vstup přijímače se chová jako odpor, jehož šumová teplota závisí značně na přijímaném kmitočtu a na VKV i na směru, odkud přijímá. Anténa přijímá elektromagnetické záření okolního kosmického prostoru - šum Slunce,

Galaxie, radiohvězd. Navíc v městských aglomeracích přibývá civilizace "radiový smog", který vydatně zvyšuje šumovou teplotu antény. Šumová teplota T_A antény, zaměřené vzhůru "do nebe" klesá s rostoucím kmitočtem. Na kmitočtu 29 MHz je minimálně 15 000 K, na 145 MHz 200 K, na 433 MHz a výše 40-20 K.

Celková šumová úroveň na vstupu s připojenou anténou při zanedbání ztrát anténního napáječe je pak

$$P_g = 4 \cdot 10^{-21} (T_A/T_0 + F_p) \cdot B = 4 \cdot 10^{-21} F_B \quad /6/$$

kde výraz v závorce $F = (T_A/T_0 + F_p)$ je šumové číslo celé přijímací soustavy, tj. přijímače včetně "šumící" antény. Pokud anténní vyzařovací diagram zabírá zemský povrch /nepř. směrová anténa v běžné horizontální poloze/, anténa přijímá tepelné elektromagnetické záření Země a její šumová teplota nemůže ani na vysokých kmitočtech klesnout příliš pod teplotu zemského povrchu, tj. $T_A \approx T_0$. Podobné vlastnosti má i družicová anténa na nízké oběžné dráze.

Podobně jako dříve zavedeme logaritmy a šumový výkon vztáhneme k úrovni 1W

$$P_g = -204 + F_{dB} + 10 \cdot \log B \quad [dBW; dB, Hz] \quad /7/$$

nebo k úrovni 1 mW

$$P_g = -174 + F_{dB} + 10 \cdot \log B \quad [dBm; dB, Hz] \quad /8/$$

F_{dB} je šumové číslo soustavy vyjádřené v dB.

Např. u ideální nešumící soustavy $F = 0$ dB/, s šířkou pásma 1 Hz je šumový výkon $P_g = -174$ dBm /tzv. mezní citlivost/.

Vyzbrojení tímto teoretickým minimem můžeme zkusit sestavit

rozpočet sestupné trasy: Majákový vysílač A08 o výkonu 250 mW na dipólu, o kmitočtu 29,4 MHz je přijímán na dipólovou anténu s šumovou teplotou 15 000°K připojenou k přijímači se šumovým číslem 6 dB / $F_p = 4/\epsilon$ šířkou pásma 2 kHz. Předpokládáme max. vzdálenost družice podle TAB.1. Přijímaný výkon bude

$$P_p = P_v - b_t + g_p + g_v \quad [dBm; dBm, dB]$$

$$P_p = 24 - 133,8 + 2,15 + 2,15 = -105,5 \text{ dBm}$$

Úroveň šumového výkonu na vstupu přijímače při

$$F = 15000/290 + 4 = 55,7 \dots\dots\dots 17,5 \text{ dB}$$

$$P_g = -174 + 17,5 + 10 \cdot \log 2000 = -123,5 \text{ dBm}$$

Majākový vysílač budeme proto přijímat s odstupem signál/šum

$$D = P_p - P_g = 18 \text{ dB}$$

Výpočet platí jen v ideálním případě, kdy souhlasí polarizační roviny dipólových antén.

Příklad odhaluje skutečnost, že při přenosu na 29 MHz je omezujícím činitelem vysoká šumová teplota antény a že snížení šumového čísla vlastního přijímače na polovinu $F_p = 2 \dots 3$ dB/ přinese zcela zanedbatelné zlepšení odstupu signálu od šumu /asi jen 0,1 dB/.

Podobným postupem lze vypočítat celou spojovou trasu /Země-převáděč-Země/ za předpokladu, že známe šumové číslo palubního přijímače a výkonový zisk převáděče. Výpočtem bychom zjistili výkon pozemní stanice potřebný k provozu přes převáděč pro daný odstup signál/šum. Autoři družicových převáděčů nám výpočty ušetří, protože obvykle uvádějí požadavky na zařízení pozemní

stanice tak, že pro vysílací zařízení udávají potřebný efektivní vyzářený výkon. Tento výkon se označuje ERP /effective radiated power/ a je to součin vř výkonu přivedeného na svorky antény a zisku antény proti půlvlnnému dipólu.

Např. vysílač o výkonu 5 W, připojený bezeztrátovým napáječem k anténě se ziskem $G_d = 12 \text{ dB} / G_d = 16/$, má ve směru maxima vyzářování $ERP = 80 \text{ W}$. Má-li anténní napáječ útlum $3 \text{ dB} / G = 0,5/$, bude ERP poloviční /tj. $40 \text{ W}/$. Někdy se též vyskytuje údaje označené EIRP. Je to efektivní vyzářený výkon vztažený k isotropickému zářiči, takže mezi ERP a EIRP platí vztah

$$N_{\text{EIRP}} = 1,64 N_{\text{ERP}}$$

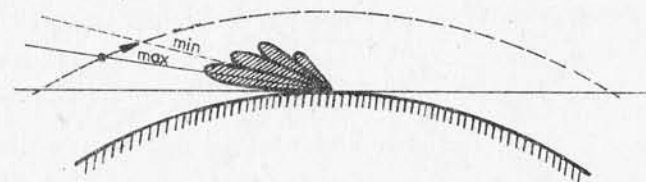
2.2. RUŠIVÉ JEVY A ANOMÁLIE ŠÍŘENÍ VLN

Radiové signály probíhají jednou či dvakrát kosmickým prostorem a ionosférou a navíc má družice rychlý vlastní pohyb a vlastní rotaci. Tyto děje snižují kvalitu spojení dvojitým způsobem: kolísáním síly signálu /únikem/ a kmítočtovým posuvem.

Síla signálu se mění především v závislosti na délce vzestupné a sestupné trasy tak, jak je patrné z TAB.1. Při provozu přes převáděč se uplatní rozdíl $b_{\text{tmax}} - b_{\text{tmin}}$ dvakrát. Krátce kolem východu a západu družice, kdy se vlny šíří těsně podél zemského povrchu, nastává dodatečný útlum o hodnotě 6 až 17 dB. Je-li pozemní anténa otočná pouze v horizontální rovině a nesleduje-li družici i v elevaci, dochází k změnám intenzity signálu podle tvaru jejího vertikálního vyzářovacího diagramu. Anténa v konečné výšce nad zemí má vertikální diagram rozště-

pen do řady laloků, jež jsou odděleny hlubokými minimy /obr.2/.

Pravidelně se opakující únik je způsoben vlastní rotací družice. Je-li družice i pozemní stanice vybavena jednoduchými anténami s lineární polarizací, nastává hlavně na vyšších kmítočtech únik s hlubokými minimy v okamžicích, kdy jsou polarizační roviny antén na sebe kolmé. Zlepšení přináší použití antény s kruhovou polarizací alespoň na jednom konci trasy a stabilizace polohy družice vůči Zemi.

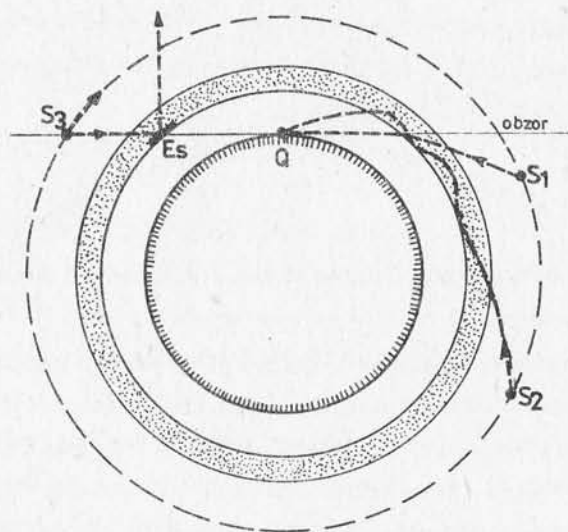


Obr.2. Vertikální vyzářovací diagram směrové antény nad zemí

O další nepravidelnosti příjmu se přičiňuje ionosféra. Při průchodu radiové vlny ionizovaným prostředím dochází k tzv. Faradayově rotaci, což je v podstatě stáčení původní polarizační roviny vlny v závislosti na hustotě ionizace podél trasy šíření a na délce trasy ionosférou. Např. vlna vyslaná s horizontální polarizací se změní na vlnu s vertikální polarizací. Následkem je opět únik s hlubokým minimem. Jev je markantnější na nižších kmítočtech a odpomůže jedině kruhová polarizace.

Ionosféra není zdaleka homogenní prostředí. Je v neustálém pohybu, zhušťuje se i zředuje a vytváří různé obláčky. Na těchto nepravidelnostech se radiová vlna rozptyluje nebo i zasotřuje. Úkaz se nazývá scintilace a je mnohem zjevnější na kmítočtech pod 145 MHz.

Všeobecně na 29,5 MHz se projevuje ionosféra nejvýrazněji. V různých denních a ročních dobách podle okamžitého stavu ionosféry, ovlivněného sluneční činností a geomagnetickou aktivitou, se vyskytují různé zajímavé úkazy. Typická je např. prodloužená slyšitelnost palubních vysílačů po teoretickém západu /nebo před východem/ pod optický obzor pozemní stanice. Dochází k tomu dvojnásobným lomem v ionosféře /obr.3 -S₁/.



Obr.3. Šíření vln ionosférou na 29 MHz

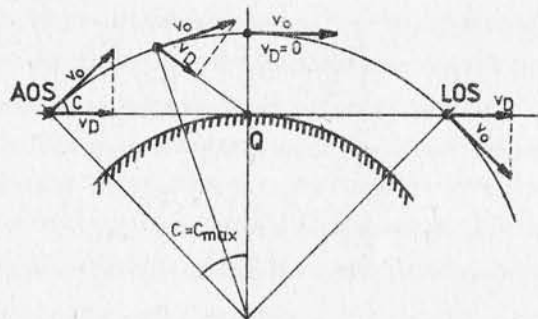
větší vzdálenosti může urazit radiová vlna při šíření ionosférickým kanálem /obr.3 -S₂/.

Často dochází i k vícecestnému šíření, případně i kombinovanému odrazem od zemského povrchu, takže přijímané signály mají ozvěnu 50 až 70 ms /což odpovídá délce trasy 15 000-21 000 km/. Výskyt mimořádné vrstvy E na

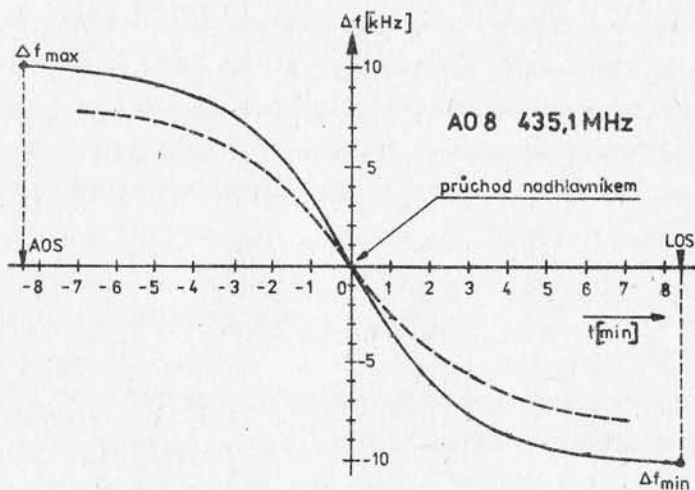
vhodném místě může naopak způsobit, že při východu /nebo západu/ družice oblaka E_s odrážejí radiové vlny do kosmického prostoru a signály z družice lze přijímat, až když je družice dostatečně vysoko nad obzorem /obr.3/.

Na kmitočtech 145 MHz a vyšších se popsané úkazy téměř nevyskytují. Krátké prodloužení doby příjmu může být způsobeno troposférickými podmínkami. Také byl zaznamenán vliv sporadické vrstvy E, potlačující signály při poloze družice nízko nad obzorem. Výrazný vliv na charakter signálu a jeho zabarvení mají aurorální oblasti a podle kvality signálu při přeletech družice nad severními oblastmi lze předpovídat možnost vzniku i již existující výskyt radioaurory. Je proto i pouhé sledování palubních majákových vysílačů velmi užitečné.

Pro úplnost můžeme mezi rušivé vlivy, projevující se na amplitudě signálů, zahrnout i nelineární přenosové vlastnosti převáděče. Převáděč je schopen lineárně zpracovat vstupní signály až do jistého maximálního výstupního výkonu. Aby nedocházelo k přebuzení příliš silnými vstupními signály, což by mělo za následek vznik nelineárního zkreslení /intermodulace, křížová modulace/, je převáděčový řetěz vybaven účinným automatickým řízením zisku - AGC. Začne-li některý účastník provozu vysílat nepřiměřeným výkonem, např. o 10 dB větším než je úroveň pro plné vybuzení převáděče, automatika zmenší citlivost přijímače a signály všech ostatních stanic poklesnou o 10 dB. Záleží pak na časové konstantě AGC, jak se projeví tento rušivý efekt.



Obr.4. Účinná slučka rychlosti pro Dopplerův posuv kmitočtu



Obr.5. Časový průběh Dopplerova posuvu kmitočtu při přeletu

Na družici A07 /mód B/ bylo proti módu J zaměněno vstupní a výstupní pásmo a kmitočtový plán byl

$$\text{vstup} \begin{cases} 578,150 - 432,175 = 145,125 \text{ MHz} \\ 578,150 - 432,125 = 145,175 \text{ MHz} \end{cases} \text{výstup}$$

takže Dopplerův posuv měl opačný smysl

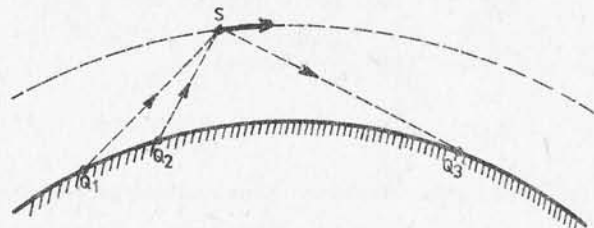
$$\Delta f_D = \pm 8,3 - (\pm 2,8) = \pm 5,5 \text{ kHz}$$

Přirozeným důsledkem inverzní transpozice je i obrácení smyslu postranních pásem, takže SSB signál vyslaný s horním postranním pásmem bude převeden a vyslán k Zemi s dolním postranním pásmem. Z předchozích příkladů je zřejmá výhodnost inverzní přeměny, protože vede k zmenšení Dopplerova posuvu. U převáděčů typu 435/145 nebo 145/435 MHz přináší inverzní transpozice snížení posuvu na jednu polovinu proti neinvertující transpozici. Obdobné poměry budou u převáděčů typu 1260/435 MHz, neboť i zde je poměr vstupního a výstupního kmitočtu 3:1.

Dopplerův posuv je při provozu nepříjemný při příjmu signálů SSB. Bohužel, cesta k jeho kompenzování není schůdná, protože posuv je různě velký pro různé přelety a navíc i různý pro různé stanice podle jejich okamžité polohy vůči družicovému převáděči. Situace je znázorněna na obr.6, kde u stanice Q_1 se bude kmitočet stanice Q_2 posouvat stejným směrem i přibližně stejným tempem jako její vlastní kmitočet. Zato při spojení se stanicí Q_3 bude posuv kmitočtu Q_3 zcela jiný, neboť od stanice Q_1 se družice vzdaluje, ale k stanici Q_3 se blíží.

Logickým důsledkem Dopplerova posuvu je i to, že přesné na- ladění na protistanici /QZF/ je možné jen při současném posle-

chu vlastního signálu z převáděče a nelze plně využívat "transceiverové" metody souběžného ladění přijímače a vysílače, tj. takového systému, který napodobuje kmitočtový plán kosmického převáděče.



Obr.6. Dopplerův posuv závisí na vzájemné poloze stanic

Dalším důsledkem je, že kolem kmitočtů palubních majákových vysílačů, které jsou umístěny obvykle na okrajích převáděčového pásma, je nutné vyhradit jisté ochranné pásmo, aby nedocházelo k jejich rušení provozem na převáděči. S Dopplerovým posuvem je nutné počítat např. při kalibraci stupnice přijímače palubním majákem. Kmitočet přijímaného signálu je správný jen tehdy, když družice právě vrcholí nad obzorem a je tedy nejbližší. Na druhé straně můžeme Dopplerova posuvu využít k zpřesňování údajů o dráze družice a tím i zpřesňovat referenční údaje, jak je o tom zmínka v kapitole 6.

3. DRÁHY DRUŽIC

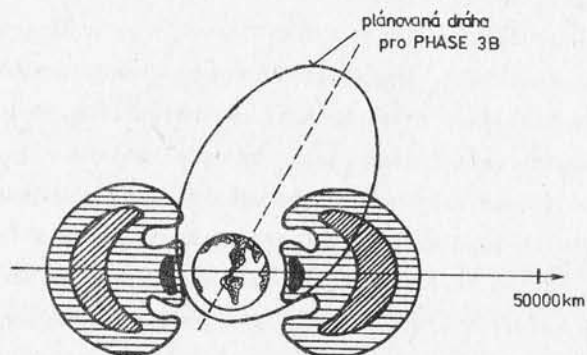
Jakékoliv kosmické těleso se může pohybovat v gravitačním poli Země pouze po některé z kuželoseček - po kružnici, elipse, parabole, hyperbole. Protože družice vykonávají periodický pohyb, může jít jen o pohyb kruhový nebo eliptický. Kruhovou dráhu považujeme za zvláštní případ dráhy eliptické.

Přesně řečeno, družice se vždy pohybuje po eliptické spirále. Následkem brzdícího účinku prostředí se totiž střední výška nad povrchem Země neustále zmenšuje, družice se dostává nakonec do hustších vrstev atmosféry a posléze v nich zanikne. Tento proces je dost pomalý a závisí mj. i na tvaru družice. Čím je počáteční dráha vyšší, tím má družice delší život.

Nahlédnutím do přehledu dosud vypuštěných družic /např. [9]/ zjistíme, že družice s výškou dráhy 200-300 km mají životnost několik dnů až týdnů, při výšce 500-600 km již asi 8-10 let a při výškách kolem 1000 km se družice dožije nejméně 1000 let atd. Aktivní délka života všech dosavadních radioamatérských družic je proto určena jedinečně trvanlivostí palubního zařízení.

Z hlediska potřeb radioamatérského provozu by bylo možné navrhnout celou řadu zajímavých kruhových drah, při kterých by se přelety pravidelně opakovaly ve stejnou denní dobu a družicový převáděč by pokrýval rozsáhlé území, ale v uskutečnění takových projektů stojí dvě překážky. První z nich je přírodního původu. Jde o tzv. Van Allenovy radiační pásy, které ob-

klopují Zemi v podobě prstenců /obr.7/. V těchto pásech se vlivem geomagnetického pole koncentrují vysokoenergetické částice /především elektrony/. Delší pobyt družice v této oblasti není žádoucí, protože povrch družice je vystaven neustálému bombardování částicemi. Tím se narušuje povrch družice - zejména trpí



Obr.7. Van Allenovy radiační pásy

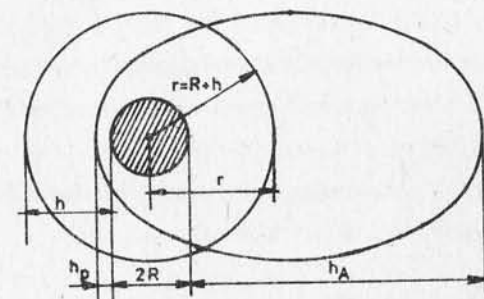
sluneční články - a také jsou ohroženy polovodičové součástky palubního zařízení. Možná je pouze pasivní ochrana stíněním a povrchová ochrana slunečních článků, která ale snižuje jejich účinnost a zvyšuje hmotnost. Proto je třeba volit dráhu, na níž družice prodlévá ve Van Allenových pásech co nejkratší dobu /dráha Phase 3 na obr.7/.

Druhá překážka je ekonomického rázu. Radiomaterské družice jsou vypouštěny vždy jako tzv. sekundární přítěž nějakého jiného profesionálního družicového programu. To znamená, že družice je přibalena k hlavnímu přístrojovému pouzdru a po dosažení oběžné dráhy je od mateřské družice nebo plošiny odvržena něja-

kým jednoduchým způsobem /pružinou, malou pyrotechnickou náloží apod./. Typickým příkladem jsou družice A05 až A08, které byly přibaleny k meteorologickým družicím /ITOS, NOAA, LANDSAT/. Teprve u družic 3. generace /Phase 3/ se plánuje úprava počáteční parkovací dráhy přidavným raketovým motorkem.

3.1. NÍZKÁ KRUHOVÁ DRÁHA

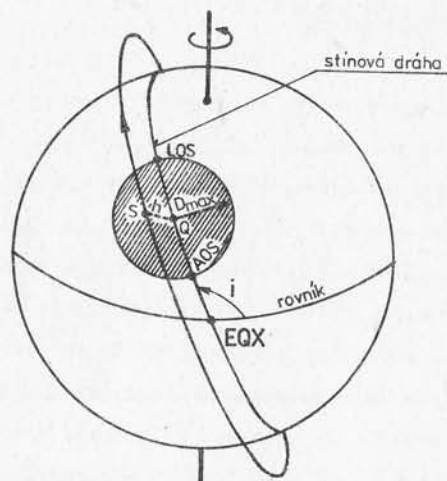
Na nízké kruhové dráze se pohybují všechny družice 2. generace, tj. A06, A07, RS1,2, A08, A09, RS3-RS8. Kruhová dráha je zvláštní případ dráhy eliptické, při níž obě ohniska splynou v jeden bod ve středu Země, výstřednost je nulová a družice obíhá Zemi rovnoměrnou rychlostí. Ve skutečnosti dráha není nikdy přesně kruhová. Jde vždy o elipsu, v jejímž jednom ohnisku je střed Země a družice pak zaujímá různou výšku nad zemským povrchem. Nejbližší je v přízemí /perigeu/ a určuje se výška perigea h_p ; nejdále je v odzemí /v apogeu/ a určuje se výška apogea h_A /obr.8/. Málo výstřednou eliptickou dráhu můžeme bez



Obr.8. Kruhová a eliptická dráha

velké chyby aproximovat kružnicí o poloměru $r = (r_A + r_P) / 2$, kde výška dráhy je $h = (h_A + h_P) / 2$. V dalších výpočtech budeme uvažovat tvar Země ideálně kulový, s poloměrem $R = 6378$ km.

Z výšky h nad zemským povrchem družice "vidí" kruhovou část povrchu /vyšrafovaná ploška na obr.9/. Tento "obzor" družice



Obr.9. Geometrie oběžné dráhy

určuje maximální komunikační dosah převáděče - komunikace je možná jen mezi stanicemi nacházejícími se v oblasti "ozářené" družicovým vysílačem, tj. pro obě pozemní stanice musí být družice nad obzorem. Jednoduchý vztah pro dosah převáděče, měřený na zemském povrchu lze určit z obr.1:

$$\begin{aligned} \text{úhel } C_{\max} &= \arccos [R / (R+h)] \\ \text{vzdálenost } D_{\max} &= 111,3 \cdot C \quad [\text{km; grad}] \quad /11/ \end{aligned}$$

Podobně lze z obr.1 odvodit max. možnou délku přeletu nad pozemní stanicí, která nastává při dráze procházející nadhlavníkem

$$T_{\max} = C_{\max} \cdot T / 180 \quad /12/$$

Délka oběžné doby /perioda/ družice T je jednoznačně určena poloměrem dráhy, tj. i výškou dráhy nad Zemí, a vypočítá se pomocí 3. Keplerova zákona, doplněného Newtonovým gravitačním zákonem. Pro kruhovou dráhu platí

$$T^2 = 4\pi^2 r^3 / (k \cdot M)$$

kde T je oběžná doba, r poloměr dráhy, M hmotnost Země, k gravitační konstanta. Po dosazení konstant a úpravě vzorce pro praktické jednotky získáme vztah pro oběžnou dobu

$$T = 1,65844 \cdot 10^{-4} \sqrt{(6378 + h)^3} \quad [\text{min; km}] \quad /13/$$

nebo při známé oběžné době pro výšku

$$h = 331,2838 \cdot \sqrt[3]{T^2} - 6378 \quad [\text{km; min}] \quad /14/$$

Vzorce /13/ a /14/ platí přesně pro tělesa obíhající Zemi ve velké vzdálenosti $r \gg R$. Při nízkých drahách nemůžeme uvažovat Zemi jako hmotný bod a vztahy pro T a h se značně komplikují. Přesto jsou vzorce /13/ a /14/ použitelné s chybou asi 0,2% - družice na nízké dráze obíhá rychleji než podle /13/. Typické hodnoty pro dosavadní družice 2. generace jsou uvedeny v TAB.2. Vzorce /11, 12, 13/ jsou užitečné když určujeme neznámé parametry nové družice, nebo když upřesňujeme již částečně známé údaje.

Rovina dráhy družice, která musí vždy procházet středem Země,

svírá s rovinou rovníku úhel i /obr.9/. Tento úhel se nazývá inklinace - sklon dráhy. Je-li $i = 0^\circ$, má družice rovníkovou dráhu; při sklonu $i < 90^\circ$ dráha souhlasí se směrem otáčení Země - tzv. přímá dráha. Při sklonu blízkém 90° nazýváme dráhu polární. Když je úhel i větší než 90° , pohyb družice směřuje proti otáčení Země. Taková dráha se nazývá retrográdní /viz obr. 9/. Sklony drah družic 2. generace jsou rovněž uvedeny v TAB.2.

PARAMETRY DRAH DRUŽIC 2. GENERACE

Tabulka 2.

Družice	h [km]	i [deg]	T [min]	T _{max} [min]	C _{max} [deg]	D _{max} [km]	V [km/s]
AO9	540	97,46	95,46	12,20	22,8	5073	7,59
AO8	915	99,00	101,23	16,60	29,0	6458	7,40
AO6-7	1460	101,60	114,96	22,70	35,5	7911	7,14
RS1-8	1660	83,00	119,40	24,90	37,5	8345	7,05

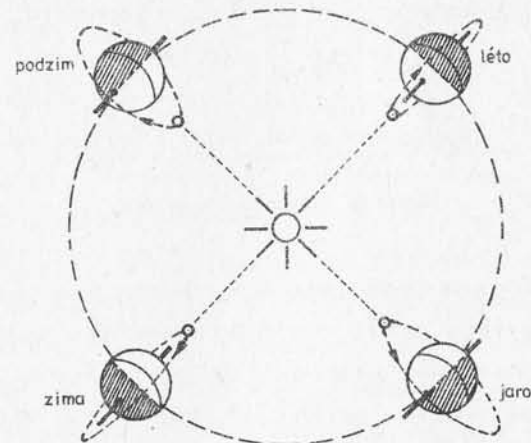
Výsledný pohyb družice vzhledem k pozemnímu pozorovateli vzniká složením oběžného pohybu družice a rotace Země. Správná představa je taková, že oběžná dráha družice je v kosmickém prostoru stálá /alespoň v prvním přiblížení/ a pod touto dráhou nezávisle rotuje Země. Země se otočí o 360° přibližně za 24 hodin, za každou minutu se pootočí o $0,25^\circ$. Při oběžné době $T = 120$ minut se Země pootočí za jeden oběh družice o 30° .

Skutečné poměry jsou trochu složitější. Následkem nekulového tvaru Země /více hmoty je soustředěno v rovině rovníku/ dochází k stáčení roviny dráhy družice. U přímé dráhy se rovina stáčí proti směru zemské rotace, tj. směrem na západ, u dráhy retrográdní nastává stáčení ve směru rotace Země. Velikost stáčení závisí na sklonu dráhy a na poloměru oběžné dráhy podle vzorce

$$dL_0/dt = -10,043 \cdot [R/(R+h)]^{7/2} \cos i \quad [\text{deg/den}] \quad /15/$$

Velikost stáčení u družic na nízkých drahách je řádu $1^\circ/\text{den}$.

Stáčení dráhy se využívá k tomu, aby vznikla tzv. dráha synchronní se Sluncem, potřebná pro meteorologické družice. U této synchronní dráhy leží Slunce neustále v rovině družicové dráhy a družice v průběhu celého roku přelétává nad osvětlenou polovinou Země a může snímkovat oblačný příkrov /obr.10/. Navíc má družice po celý rok pravidelný slunečný režim - během

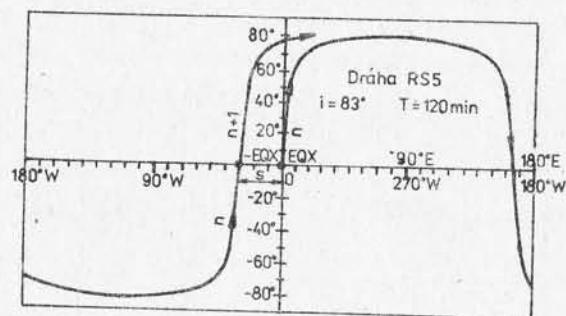


Obr.10. Dráha synchronní se Sluncem

každého oběhu se střídá "den" a "noc". Aby vznikla dráha synchronní se Sluncem, musí se její rovina stočit za jeden rok o 360° , tj. denní stáčení musí být $360^\circ/365,25 = 0,9856^\circ/\text{den}$ ve směru pohybu /a rotace/ Země. To je právě důvod, proč se

meteorologické družice a tím i sekundární radioamatérské družice vypouštějí na retrogradní dráhy.

Znázorníme-li dráhu družice na mapě světa v rovníkové projekci, zobrazí se dráha jako vlnovka /obr.11/. Dráhou družice zde myslíme její středovou projekci na zemský povrch - tzv.



Obr.11. K výkladu separace drah

stínovou dráhu. Je to spojnice bodů, nacházejících se postupně na zemském povrchu právě pod družicí /body SSP - subsatellite point/. Začátek oběhu počítáme od okamžiku, kdy družice přechází z jižní polokoule na severní, tj. kdy protíná rovinu proloženou rovníkem. V astronomii se nazývá tento bod výstupný uzel, a u družic se ujal označení EQX /equator crossing/ - česky křížení rovníku. V družicové geometrii udáváme zeměpisnou délku jen jako západní v oboru 0 - 360°. Vyhnete se tak potížím se změnou znaménka $\pm 180^\circ$ při přechodu ze západní na východní polokouli.

Na obr.11 vychází první vlnovka dráhy z EQX na nultém poledníku. Kdyby se Země neotáčela, procházela by družice za dobu

$T/2$ sestupným uzlem na 180°W. Za dobu např. $T/2 = 60$ min se Země pootočí východním směrem o 15°, takže sestupný uzel bude na zeměpisné délce 195° W. EQX následujícího oběhu nastane na 30° W, další křížení budou na 60, 90° W atd. Rozteč mezi jednotlivými EQX je konstantní a nazývá se přírůstek zeměpisné délky za jeden oběh, nebo stručněji separace drah. Přibližně platí

$$\text{separace } s = T/4 \quad [\text{deg záp./oběh; min}] \quad /16/$$

Pro přesné určení separace drah musíme vzít v úvahu vliv stáčení oběžné roviny /u retrogradní dráhy separaci zmenšuje/ a skutečnou rychlost zemské rotace, která je 360° za 23h 56m 4s /jeden hvězdný den/.

K jednoznačné identifikaci se jednotlivé oběhy družice číslovají /Orbit No ... = oběh č. .../. První oběh se počítá až od prvního EQX a nikoliv od místa startu rakety. Časový údaj EQX a jeho zeměpisná délka spolu se znalostí parametrů dráhy - T , i , s jsou údaje, z kterých lze určit polohu družice v libovolném časovém okamžiku. T , i , s zůstávají prakticky konstantní a údaje o EQX jsou publikovány v časopisech, hlášeny v zpravodajských relacích na KV pásmech, nebo dokonce přímo majákovým vysílačem z paluby družice.

Převáděče obíhající na nízké polární oběžné dráze mají své výhody i nevýhody. K výhodám patří časté startovací příležitosti, neboť meteorologické družice jsou pravidelně obnovovány. Vzhledem k malé vzdálenosti od Země je útlum trasy poměrně malý a k provozu přes převáděč stačí nenáročné zařízení pozemní stanice i malý výkon převáděče. Omezený dosah a rychle se posunující komunikační zóna mají za následek, že převáděč obsluhuje

vždy jen malou část radioamatérské populace. Proto je vzájemné rušení při provozu únosné i při šířce převáděčového kanálu 40-50 kHz. K výhodám dále patří i snadná predikovatelnost polohy a plánování spojení jednoduchými predikčními pomůckami.

Na druhé straně představuje pro uživatele rychlý pohyb řadu nevýhod. Patří k nim nepříjemný Dopplerův posuv kmitočtu, omezení dosahu na vzdálenosti kolem 8000 km, přičemž podmínky pro uskutečnění nejvzdálenějších spojení trvají jen několik desítek sekund, nutnost neustálého směřování antény na družici. Přes všechny tyto nevýhody družice na nízké oběžné dráze zřejmě neztratí svůj význam ani v době, kdy budou v provozu modernější a pokročilejší projekty.

3.2. VYSOKÁ ELIPTICKÁ DRÁHA

Vysokou eliptickou dráhou rozumíme takovou dráhu, která má apogeum ve vzdálenosti řádu 10 000 km, takže oběžná doba družice je srovnatelná s délkou dne. Na takové dráze /s výjimkou Oscara 4/ neobíhala dosud žádná radioamatérská družice, ale dráha je plánována pro družice třetí generace /Amsat Phase 3/, jejichž era právě nadchází.

Značně protáhlá eliptická dráha bude představovat velký kvalitativní skok v družicové komunikaci, neboť dovolí pracovat nepřetržitě až 10 hodin a umožní navazovat spojení téměř s protinožci. Eliptická dráha znamená i mnoho nového v problematice predikování polohy družice a směřování antén. Zdánlivý pohyb družice po obloze bude složitější než ten, na nějž jsme zvyklí u dosavadních družic na nízké kruhové dráze. Zato pohyb bude

pomalý a odpadne většina nepříjemností výše uvedených. Přesné údaje o dráze družice Phase 3 budou známy samozřejmě až po jejím startu, ale projekt Phase 3 je natolik propracován, že problematiku eliptické dráhy lze osvětlit na hypotetické, plánované dráze.

3.2.1. Základní principy a pojmy

Pohyb družice na oběžné dráze je v prvním přiblížení určen třemi Keplerovými zákony nebeské mechaniky, formulovanými pro sluneční soustavu již počátkem 17. století:

1. Planety obíhají v elipsách, v jejichž jednom společném ohnisku je Slunce.
2. Plochy opsané průvodičem Slunce-planeta jsou úměrné času.
3. Dvojmoce oběžných dob planet jsou úměrné trojnásobkem velikých poloos.

V našem případě je zapotřebí na místě centrálního tělesa uvažovat Zemi a místo planet družice. Hmoty družice je přitom zcela zanedbatelná proti hmotě Země.

Na obr.12. je znázorněna plánovaná eliptická dráha družice Phase 3 a označeny všechny důležité parametry popisující dráhu v její rovině.

Význam symbolů:

a ... velká poloosa	r_p ... vzdálenost perigea
b ... malá poloosa	h_p ... výška perigea
e ... číselná výstřednost	r ... průvodič
P ... perigeum	O ... střed elipsy

F ... ohnisko = střed Země

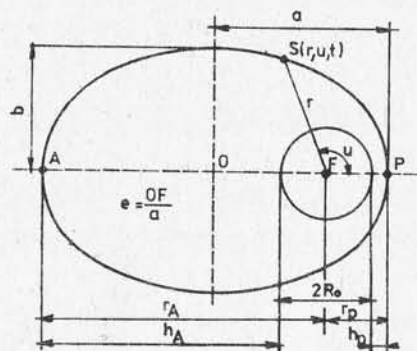
r_A ... vzdálenost apogea

R_0 ... zemský poloměr

h_A ... výška apogea

A ... apogeum

u ... pravá anomálie



Obr.12. Eliptická dráha Phase 3

Délka oběžné doby T je podobně jako u kruhové dráhy určena vztahem

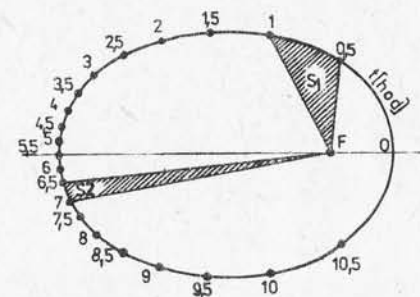
$$T^2 = (2\pi)^2 \cdot a^3 / kM \quad /17/$$
$$T = 1,65844 \cdot 10^{-4} \sqrt{a^3} \quad [\text{min}; \text{km}]$$

Tvar elipsy je určen dvojicí parametrů; v astronomii se obvykle udává velká poloosa a výstřednost, v družicové praxi výška perigea a apogea. Pro družici Phase 3 jsou plánovány tyto parametry: $h_p = 1500$ km, $h_A = 35\,786$ km. Z toho vyplývají ostatní - $a = 25\,014$ km, $b = 18\,216$ km, $e = 0,6853$, $T = 656,1$ min. Pro zjednodušení budeme předpokládat zaokrouhlené oběžnou dobu jedenačtyřhodinovou, tj. $T = 660$ min.

Poloha družice S na orbitální elipse je jednoznačně určena délkou průvodiče r a úhlem u , který svírá průvodič se směrem FP.

Úhel u se nazývá pravá anomálie. Poměrně složitými vztahy lze vypočítat i časový údaj - časový interval od průchodu družice perigeem do polohy S(r,u). Inverzní vztah $u = F(t)$, který by byl pro praxi výhodnější, vede na transcendentní rovnici a musí se řešit iteračními metodami. Podrobnější poučení je v /2/.

Na obr.13. je nakreslena táž elipsa, příslušná oběžné době $T = 11$ hodin, a na ní jsou vyznačeny polohy družice v půlhodinových intervalech. Pro názornost je též zakreslena geometrická

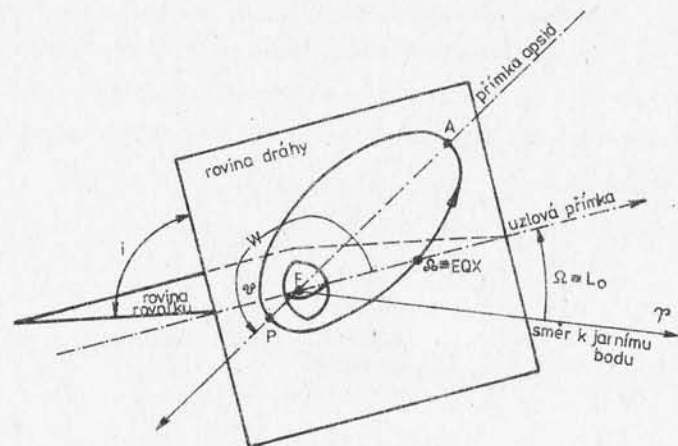


Obr.13. Pohyb po eliptické dráze /T=11 hod/

interpretace 2.Keplerova zákona. Obě plochy S1 a S2, opsané průvodičem za stejný časový interval 30 minut, jsou stejné. Již na první pohled je patrné, že pohyb v apogeu je velmi pomalý, zatím co v okolí perigea je přibližně tak rychlý, jako byl pohyb družic A06 a A07.

Dosavadní výklad se omezil na rovinu oběžné dráhy. K určení polohy a orientace dráhy v prostoru vůči Zemi potřebujeme znát další prvky dráhy. Jsou to: sklon dráhy ...i, délka výstupního uzlu ... L_0 , argument perigea ...W. Význam těchto parametrů

osvětluje obr.14. Rovina oběžné dráhy svírá s rovinou rovníku úhel i /sklon dráhy, inklinace/. Protíná se s rovinou rovníku v tzv. uzlové přímce. V bodě označeném EQX /výstupný uzel/ přechází družice rovník z jihu na sever. Polohu výstupného uzlu

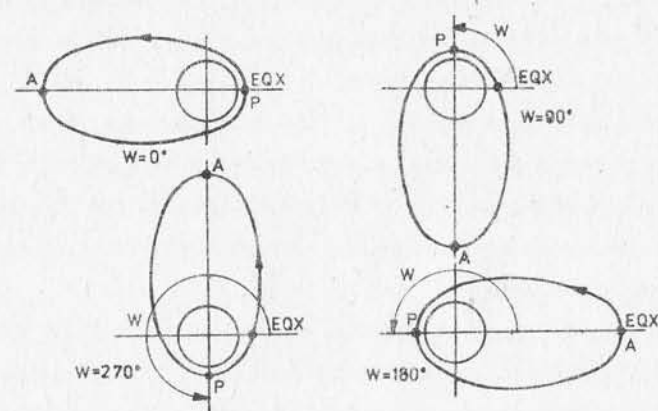


Ω ... výstupný uzel P... perigeum W...argument perigea
 ω ... sestupný uzel A...apogeum L_0 ...délka výst. uzlu

Obr.14. Parametry eliptické dráhy v prostoru

v rovině rovníku určuje délka /rektascenze/ výstupného uzlu L_0 . Je to úhlová vzdálenost měřená od vztažného směru, kterým je v astronomii směr k jarnímu bodu. Jarní bod je místo na nebeské sféře, kam se nám promítá Slunce v okamžiku jarní rovnodennosti /v souhvězdí Berana/. Poslední prvek dráhy - argument perigea W /úhlová vzdálenost/ určuje polohu osy elipsy v rovině dráhy vůči uzlové přímce. Osa elipsy, tj. spojnice perigea s apogeem se nazývá přímka apsid. Úhel W se měří od kladného směru uzlové přímky ve směru pohybu družice k polopřímce FP. Několik drah

s různým argumentem perigea je na obr.15. Pro zjednodušení se uvažuje polární dráha / $i = 90^\circ$ /. K určení polohy družice na oběžné dráze potřebujeme ještě vztažný časový údaj. Zpravidla je jím čas T_P v okamžiku průchodu družice perigeem.



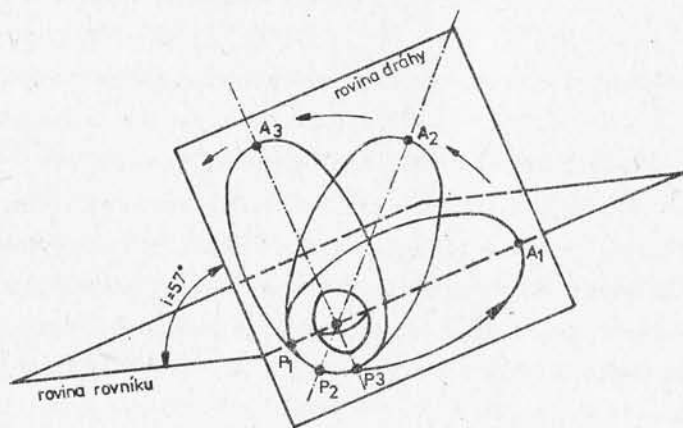
Obr.15. Význam argumentu perigea

Závěrem lze tento odstavec shrnout takto: K výpočtu polohy družice nebo jiného kosmického tělesa potřebujeme znát celkem pět údajů definujících tvar a polohu dráhy a jeden úhel časový /tzv. 6 elementů dráhy/. Jsou to: velká poloosa, výstřednost, sklon dráhy, délka výstupného uzlu, argument perigea, časový okamžik průchodu perigeem. U družic obvykle sdružujeme časový údaj a délku výst. uzlu do údaje o EQX, kdy udáváme čas a zeměpisnou délku křížení rovníku.

3.2.2. Zpřesnění teorie pohybu

Ani u vysoké eliptické dráhy nemůžeme zanedbat různé rušivé vlivy - např. gravitace Slunce, Měsíce, tlak slunečního záření a větru. Ale největší vliv má nepravidelný tvar Země společně se svým nehomogenním gravitačním polem. Kromě stáčení roviny dráhy a tedy i uzlové přímky ve směru /nebo proti směru/ rotace Země, které bylo popsáno u nízké kruhové dráhy, dochází navíc k stáčení přímky apsid v rovině dráhy družice. Zatím co stáčení uzlové přímky lze zahrnout do predikčních dat upravením hodnoty separace drah, stáčení přímky apsid musíme probrat trochu podrobněji.

Stáčení přímky apsid je znázorněno na obr.16. Je to postupné otáčení apogea a perigea kolem ohniska elipsy, a tudíž i postupná změna argumentu perigea. Rychlost stáčení závisí na



Obr.16. Stáčení přímky apsid

parametrech orbitální elipsy a na sklonu dráhy a vyjadřuje se jako přírůstek argumentu perigea za jeden den:

$$d\omega/dt = 5,0^\circ \cdot (R/a)^{7/2} \cdot (5\cos^2 i - 1)/(1-e^2)^2 \quad /18/$$

Závislost stáčení na sklonu dráhy i je významná. Podle velikosti sklonu se totiž mění dokonce smysl stáčení. Při úhlu $i < 63,43^\circ$ je smysl stáčení kladný a přímka apsid se stáčí ve směru pohybu družice /na obr.14 se argument perigea zvětšuje/. Při úhlu $i > 63,43^\circ$ je smysl otáčení opačný, směřuje proti pohybu družice. Při inklinaci přesně $i = 63,43^\circ$ je stáčení nulové a dráha je stabilní. Takového sklonu dráhy používají např. sovětské spojové družice typu "Molniya", aby byla dlouhodobě zachována stejná komunikační doba i dosah. Jejich apogea setrvává nad určitou zeměpisnou šířkou na severní polokouli.

Stáčení přímky apsid má za následek, že eliptická dráha v prostoru zaujme postupně všechny konfigurace znázorněné na obr.15. Apogea, nacházející se původně nad severní polokouli, se postupně přestěhuje nad rovník, pak nad jižní polokouli atd. Pro první družici Phase 3A byl plánován sklon dráhy $i = 57^\circ$. Stáčení přímky apsid by bylo dost pomalé - asi $0,07^\circ$ za den, tj. asi 26° za rok. Apogea by si vyměnilo s perigeem místo zhruba za 7 let. Pro druhou družici - Phase 3B je již plánována dráha typu "Molniya", takže odpadne stáčení přímky apsid a jednou navržené predikční pomůcky budou vyhovovat trvale.

Pro úplnost uvedme i vztah pro stáčení uzlové přímky pro eliptickou dráhu. Je podobný vztahu /15/ i /18/.

$$dL_Q/dt = -10,043^\circ \cdot (R/a)^{7/2} \cdot \cos i/(1-e^2)^2 \quad /19/$$

Rychlost stáčení dL_0/dt se udává ve stupních za den, a je délka velké poloosy, R je poloměr Země.

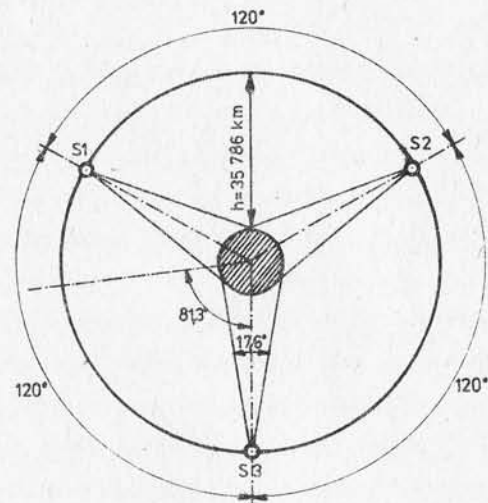
3.3. GEOSTACIONÁRNÍ A GEOSYNCHRONNÍ DRÁHA

Budoucnost radioamatérských družic patří převážně na geostacionární dráze. Takové projekty budou uskutečňovány v druhé polovině osmdesátých let jako družice 4. generace /Phase 4/. Pro úplnost kapitoly o dráhách je třeba stručně pojednat i o geostacionární dráze a to tím spíše, že profesionální spojové družice na geostacionární dráze jsou již zcela běžné a v nejbližší době budou v provozu družice pro přímé televizní vysílání nad evropským územím.

Geostacionární dráha je přesně kruhová dráha s oběžnou dobou rovnou době jedné otáčky Země. Souhlasí-li rovina dráhy s rovníkovou rovinou a je-li smysl pohybu družice shodný se smyslem rotace Země, setrvává družice stále nad jedním rovníkovým místem zemského povrchu. Proti jiným družicím má stacionární družice zjevnou výhodu v tom, že antény pozemních stanic stačí trvale zamířit na družici, jejíž poloha se vůči pozemské stanici s časem vůbec nemění.

Aby stacionární družice měla správnou oběžnou dobu, souhlasící s délkou hvězdného dne /23h 56m 4s/, musí obíhat ve výšce 35 786 km nad rovníkem. Z této výšky "vidí" družice Zemi jako kotouček s úhlovým rozměrem $17,24^\circ$ a ozařuje na Zemi plochu o poloměru 9 051 km /81,3 zeměpisných stupňů/. Družicový převaděč může proto obsluhovat maximálně 42,4% zemského povrchu. K pokrytí celé zeměkoule je zapotřebí tři stacionárních družic

zavěšených nad rovníkem s roztečí 120° /obr.17/. Ani takový družicový systém není zcela dokonalý. Družice nemohou obsluhovat polární oblasti, protože v místech se zeměpisnou šířkou větší než $81,3^\circ$ nejsou nad obzorem. Při poloze pozemní stanice mezi dvěma stacionárními družicemi je kritická zeměpisná šířka



Obr.17. Soustava geostacionárních družic

ještě menší - $72,4^\circ$. Družice také neumožní navazovat spojení s protinožci. I v těch případech, kdy pozemní stanice má nad svým obzorem dvě stacionární družice, zůstává dost značné území na protější straně zeměkoule mimo komunikační dosah převaděčů.

Dopravení družice na geostacionární dráhu je náročné na přesnou funkci raketových motorů. Navíc jsou i po usazení družice potřebné jemné korekce polohy, neboť dráhu družice ovlivňuje

gravitační pole Slunce a Měsíce; uplatňuje se též nekulový tvar Země a nehomogenita jejího gravitačního pole i tlak slunečního záření. Družice pak "oscilují" kolem své nominální polohy, resp. opisují osmičkové křivky. Proto se telekomunikační družice opatřují korekčními reaktivními motorky na stlačený plyn, jimiž se poloha družice koriguje, resp. opravuje se směrování palubních antén.

Pro radioamatérské družice se zatím nepředpokládá potřeba tak precizní stálosti polohy a připouští se jistý vlastní pohyb - drift. Dokonce jeden z projektů uvažuje s jedinou driftující družicí na dráze s výškou mírně podstacionární nebo nadstacionární. Taková družice by pak např. během několika měsíců obkroužila Zemi a postupně poskytovala v různých místech na Zemi výhody "téměř stacionární" polohy. Veškeré projekty radioamatérských družic na geostacionární dráze musí být vypracovány a realizovány velmi odpovědně. Nad rovníkem ve výšce 35 786 km začíná být již těsno. Na geostacionární dráze se již nachází mnoho profesionálních družic a jenom pro rozhlasovou službu jsou plánovány polohy po 6° zeměpisné délky; obavy z případného vzájemného rušení či kolise jsou oprávněné.

Pro úplnost je třeba ještě vysvětlit pojem dráhy geosynchronní. Geosynchronní dráha je pouze obecnějším případem dráhy geostacionární. Oběžná doba se rovná jednomu hvězdnému dni jako u dráhy geostacionární, ale sklon dráhy může být libovolný. Družice pak vždy za 23h 56m 4s zaujme na obloze stejnou polohu. Souhlasí-li zeměpisná poloha pozorovatele se zeměpisnou délkou družice, bude družice zdánlivě vykonávat pohyb jen

ve vertikálním směru. Na jiných místech bude družice opisovat složitější uzavřenou křivku. Obecná geosynchronní dráha je pro komunikační účely málo vhodná.

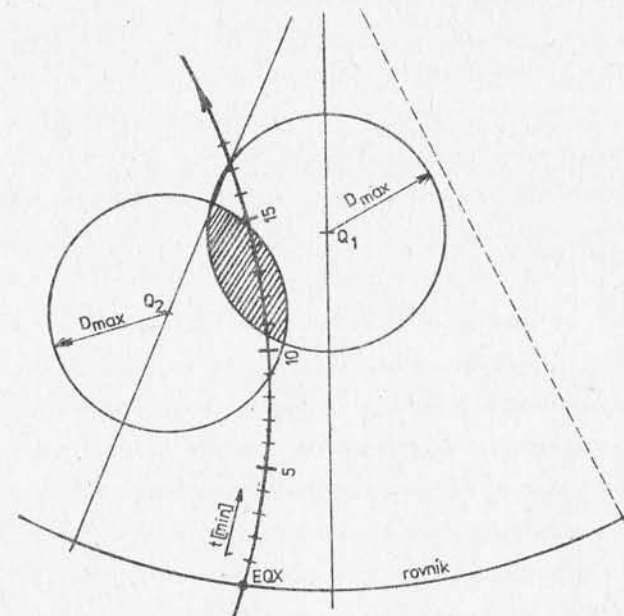
4. PREDIKOVÁNÍ POLOHY DRUŽICE

K provozu potřebujeme znát dobu, kdy je družice nad naším obzorem, v kterém směru a v jaké výšce, případně i to, zda je současně nad obzorem žádané protistanice. Zejména u družic na nízké oběžné dráze jsou to úlohy velmi potřebné, protože přelet družice trvá jen několik minut. Často nám postačí alespoň určit dobu východu družice nad obzor /označuje se AOS - Acquisition of signal/ a dobu západu družice /označuje se LOS - Loss of signal/ - viz obr.1 a obr.9.

Velmi názorně lze úlohy řešit na rozměrnějším glóbusu. Kolem stanoviště stanice Q nakreslíme obzorníkovou kružnici odpovídající výšce dráhy; na kružnici lze vyznačit i azimutální stupnici. Těsně nad povrch glóbusu upevníme drát nebo průhledný pás tak, aby jeho sklon k rovníku odpovídal inklinaci družicové dráhy, a vyznačíme na něm časovou stupnici odpovídající oběžné době. Natočením glóbusu nastavíme bod křížení rovníku na udanou zeměpisnou délku EQX a sledujeme, zda dráha družice protne obzorníkovou kružnici a kolikátou minutu po křížení rovníku /obr.9/. Současně ale musíme natáčet glóbus ve směru rotace Země /tj. východním směrem/ o $0,25^\circ$ za každou minutu od okamžiku křížení.

Při plánování komunikace s žádanou stanicí /oblastí, zemí/ zakreslíme obzorníkové kružnice z obou stanovišť a hledáme odpovídající místo EQX, při němž dráha prochází oblastí společné

viditelnosti družice co nejdéle /obr.18/. Na časové stupnici odečítáme, za jak dlouhou dobu po EQX nastanou geometrické podmínky pro uskutečnění spojení a jak budou dlouho trvat.



Obr.18. Určení geometrických podmínek pro spojení mezi dvěma stanicemi

Názornost modelování na glóbusu je vlastně jediná přednost této metody. U družic s nízkou dráhou je nevýhodné, že využívá jen malou část povrchu glóbusu. Další potíže nastanou, když se mají současně modelovat oblety několika družic s různými dráhovými parametry nebo dokonce oběžná dráha značně eliptická, s nelineárním časovým dělením. Proto v provozní praxi dáváme přednost řešení navigačních úloh na mapách. Avšak žádná karto-

grafická projekce nezobrazuje věrně všechny potřebné parametry - např. obzorníková kružnice se nezobrazí jako kružnice a její tvar závisí na zeměpisné šířce, azimutální stupnice /kompasová růžice/ je zobrazena nelineárně atp.

Přesto jsou grafické predikční pomůcky dostatečně přesné a názorné, a proto také velmi oblíbené. V následujících odstavcích jsou popsány metody predikce pro jednotlivé typy družicových drah, včetně potřebných matematických vztahů.

4.1. KRUHOVÁ DRÁHA

Základem je mapa severní polokoule v stereometrické polární projekci s lineární stupnicí zeměpisné šířky. Tato mapa je používána v meteorologii a letecké navigaci a pro naše účely je velmi vhodná, protože kruhová dráha družice se v ní zobrazuje jako kruhový oblouk s lineárním časovým dělením. Také obzorník a jiná geometrická místa bodů stejně vzdálených od stanoviště /tzv. ekvidistancionály/ se zobrazují jako křivky blízkící se kružnici. Pouze kompasová růžice není lineární, s výjimkou směru sever-jih.

Do polární mapy je třeba vynést dráhu družice již korigovanou vlivem otáčení Země. Vztahy pro určení zeměpisné polohy družice /vlastně její projekce na zemský povrch - SSP/ v čase t po křížení rovníku se získají řešením vzorců sférické trigonometrie podle obr.19. Platí

$$\sin F = \sin t \cdot \sin i \quad \text{a} \quad \operatorname{tg} L = \operatorname{tg} t \cdot \cos i$$

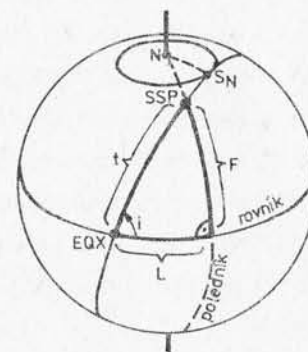
takže pro zeměpisnou polohu bodu S (L,F) v čase t minut po EQX

včetně vlivu zemské rotace platí

$$\text{zem. šířka } F = \arcsin [\sin i \cdot \sin (360t/T)] \quad /20/$$

$$\text{zem. délka } L = \operatorname{arctg} [\cos (180-i) \cdot \operatorname{tg} 360/T] + t/4 + L_x \quad /21/$$

i je sklon dráhy, T oběžná doba v minutách, L_x zem. délka bodu EQX. Ve vzorci /21/ člen $t/4$ odpovídá vlivu rotace Země. Chyba vzniklá zanedbáním rozdílnosti délky hvězdného dne od 24 hodin a zanedbáním vlivu stáčení výstupního uzlu během jednoho oběhu je zcela zanedbatelná.



Obr.19. K výpočtu zeměpisných souřadnic stínu družice /SSP/

Vzorec /21/ platí pro dráhu retrográdní / $i > 90^\circ$ /, zeměpisná délka L vychází kladně směrem západním v souledu se směrem měření zeměpisné délky družic / $0 - 360^\circ$ W/. Pro dráhu přímou vychází zpočátku L záporná a je třeba přičíst 360° . Dále je nutné dát pozor na změnu znaménka funkce $\operatorname{tg} (360t/T)$. Po čtvrtině dráhy $t/T = 1/4$ je tg záporný a arctg vychází jako záporný úhel.

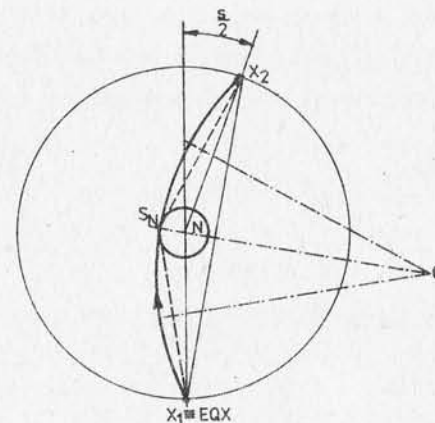
Správná hodnota zeměpisné délky v intervalu ($t/T = 1/4$, $t/T = 1/2$) je $180^\circ + L$. Uvedené vztahy jsou potřebné hlavně tehdy, když predikci polohy řešíme na počítači.

Na polární mapě můžeme využít toho, že dráha má tvar kruhového oblouku, a nemusíme ji počítat. Ke konstrukci kruhového oblouku postačí znát tři jeho body. Jeden bod je výstupní uzel $EQX \equiv X_1$, druhý bod je sestupný uzel X_2 , který má zeměpisnou délku $EQX + 180 + s/2 / s$ je separace drah/, třetím bodem je bod S_P , který leží na ose úsečky X_1X_2 . Bod S_P je bodem dráhy s nejvyšší zeměpisnou šířkou, tzn. je bodem nejbližším severnímu pólu /obr.19/. Jeho zeměpisná šířka se rovná sklonu dráhy i . Je-li sklon dráhy větší než 90° , bude zeměpisná šířka bodu S_P $180^\circ - i$ a bod se bude nacházet vlevo od severního pólu /obr.20/. U dráhy přímé leží bod S_P vpravo od severního pólu N /obr.21/. Kruhový oblouk družicové dráhy je částí kružnice opsané trojúhelníku $X_1 X_2 S_P$ a její střed získáme jako průsečík os stran trojúhelníka. Na kruhovém oblouku vyznačíme lineární časovou stupnici od 0 do $T/2$ minut.

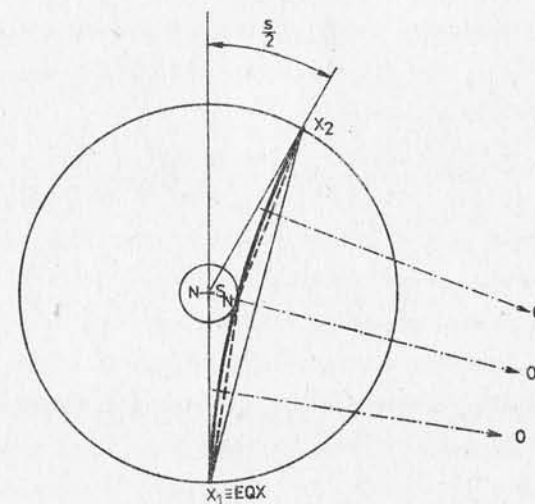
Do mapy je třeba dále zakreslit obzorníkovou "kružnici" kolem stanoviště pozemní stanice. Dva body na místním poledníku jsou známé a jejich zeměpisné šířky jsou $F_Q \pm C_{max}$. Úhel C_{max} je max. délka oblouku při nadhlavníkovém přeletu /viz obr.1 a TAB.2/. Ostatní body ekvidistancionály je nutno získat poččetně. Stačí vypočítat jen jednu /"východní" nebo "západní"/ polovinu - ekvidistancionála je osově souměrná. Jednotlivé body křivky mají zeměpisné souřadnice F, L vyhovující vztahu

$$\cos C_{max} = \sin F \cdot \sin F_Q + \cos F \cdot \cos F_Q \cdot \cos(L - L_Q) \quad /22/$$

kde F_Q a L_Q je zeměpisná šířka a délka stanoviště.



Obr.20. Retrogradní dráha v polární projekci a její konstrukce



Obr.21. Přímá dráha v polární projekci

Chceme-li predikční pomůckou určovat i výšku družice nad obzorem /elevaci/, musíme zakreslit do mapy další, menší, soustředné ekvidistancionální "kružnice" odpovídající zvoleným elevačním úhlům. Vztah mezi elevačním úhlem B a vzdáleností vyjádřenou obloukem C je popsán rovnicí

$$C = \arccos [\cos B \cdot R / (R+h)] - B \quad /23/$$

nebo

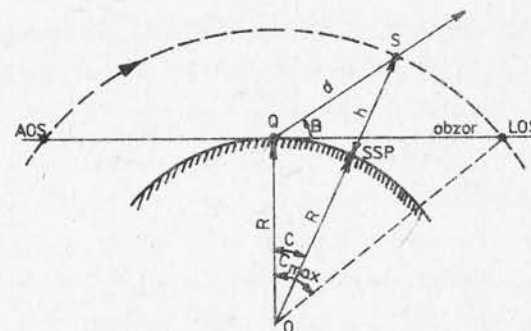
$$B = \arctg \left[\frac{\cos C - R / (R+h)}{\sin C} \right] \quad /24/$$

R je poloměr Země ... 6378 km, h výška dráhy. Geometrie je znázorněna na obr.22. a 23.

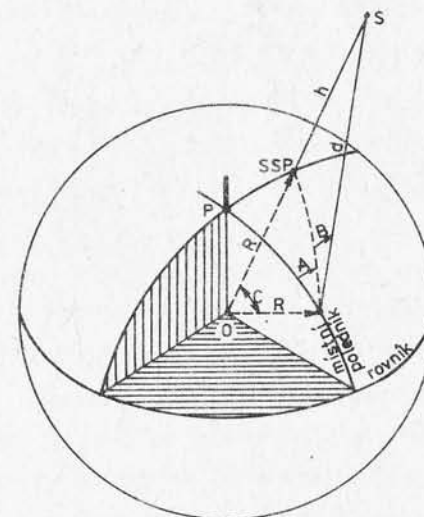
Posledním úkolem je vynést do polární mapy azimutální stupnici /kompasovou růžici/. S výjimkou směru S - J jsou směry do jiných světových stran zakřivené v závislosti na vzdálenosti od stanoviště. Závislost azimutálního úhlu A na zeměpisných souřadnicích udává vztah

$$A = \arctg \left[\frac{\sin(L-L_Q)}{\cos^2 Q \cdot \operatorname{tg}^2 Q - \sin^2 Q \cdot \cos(L-L_Q)} \right] \quad /25/$$

Výsledkem využití všech popsaných principů a vztahů je predikční pomůcka navržená pro stanoviště se souřadnicemi 50°N , 15°E /tj. zhruba uprostřed českých zemí/ pro družice A08 a RS. /Obr.24/. Umožňuje s přesností jedné minuty určit využitelné přelety družic, přičemž se dá s postačující přesností určit azimut a odhadovat elevace. V části mapy, kde to nepřekáží, jsou zakresleny vzorové dráhy družic s časovými stupnicemi. Dráhy i s minutovým dělením si překreslíme na průsvitku a připevníme otočně kolem severního pólu. Nyní již jen potřebujeme znát čas

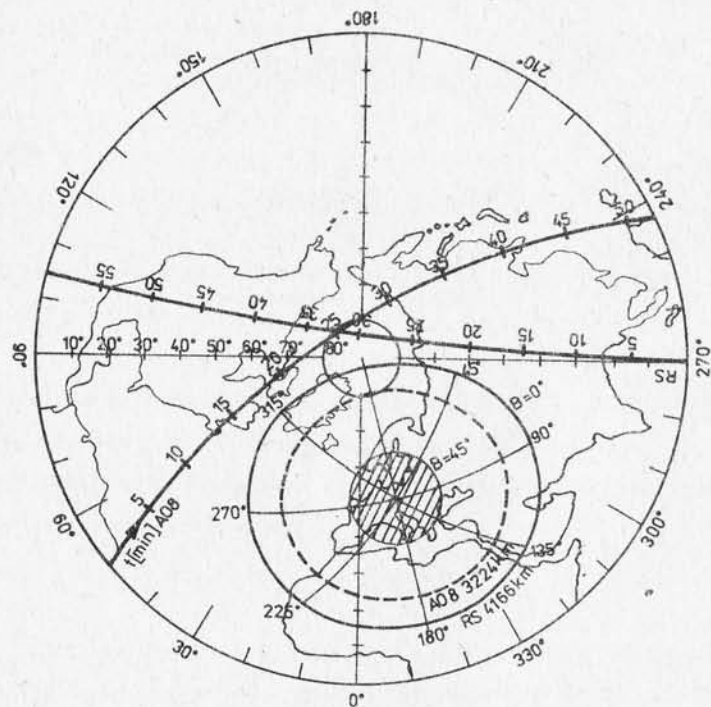


Obr.22. Výpočet elevačního úhlu B



Obr.23. Prostorové znázornění pro výpočet elevačního a azimutálního úhlu

a místo křížení rovníku /EQX/. Na bod EQX nastavíme počátek vzorové dráhy a odečítáme, kolikátou minutu po EQX družice vystoupí nad obzor /AOS/, kdy zapadne /LOS/, a současně na azi-



Obr.24. Predikční pomůcka OSCARLOCATOR

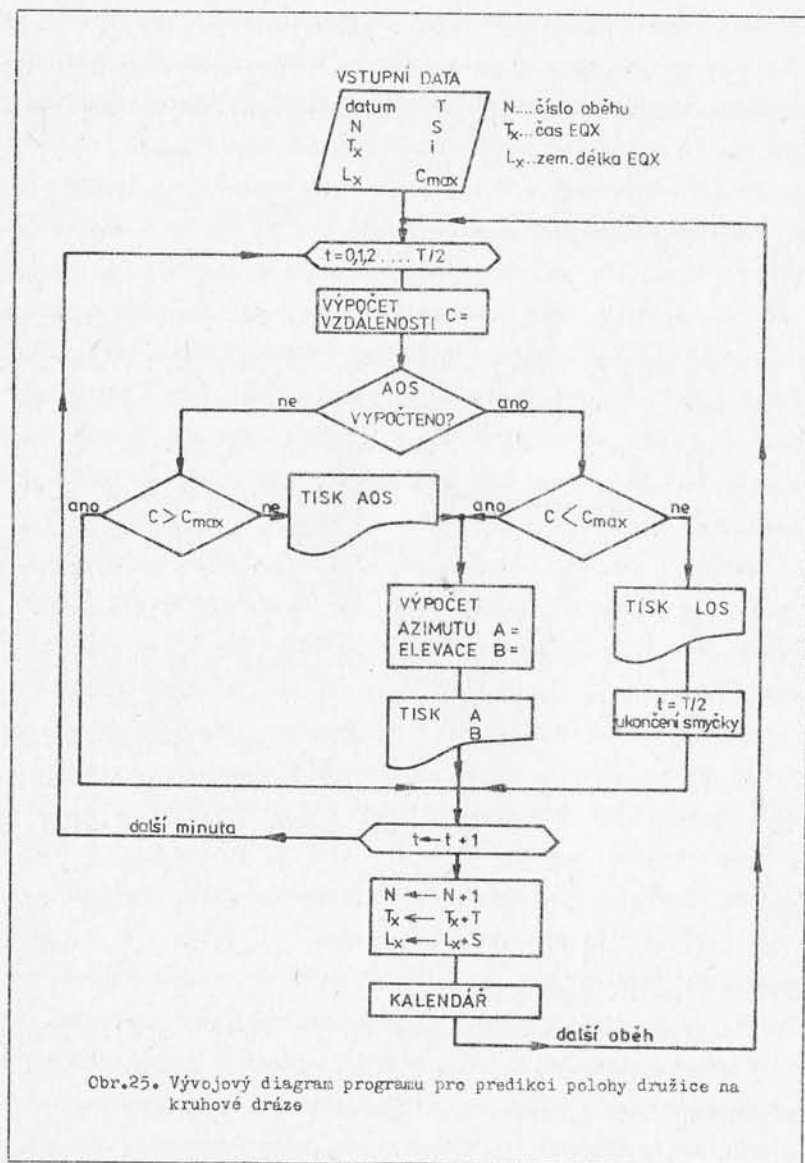
mutální stupnici odečítáme příslušné azimuty a během přeletu na ekvidistancionálních potřebnou elevaci antény.

Pro další oběh družice pootočíme dráhu směrem západním o úhel separace drah a k předchozímu času EQX přičteme dobu jednoho oběhu. Pro popsanou, velmi rozšířenou predikční pomůcku

se vžil název OSCARLOCATOR nebo zkráceně OSCARLATOR a lze na ní řešit prakticky všechny úlohy jako na glóbusu. Dá se ještě různými doplňky zlepšit, účelné je např. doplnit ekvidistancionálou pro max. komunikační dosah /odpovídající úhlu $2C_{max}$ /.

Ryze "počítačový" přístup k výpočtům predikcí je schůdný jen s programovatelným kalkulátorem nebo počítačem. Provozní zkušenosti ukázaly, že nejvhodnější je kombinace digitálního a analogového způsobu. Počítačem se vypočtou jednotlivé EQX a případně i doby AOS/LOS. Ostatní údaje se odečítají během přeletu na OSCARLATORu. Při zcela digitální predikci bez mapy schází "zeměpisný názor" na komunikační využitelnost družice. V budoucnu bude určitě běžné využívat k zobrazení mapy i polohy družic domácí televizor.

Vývojový diagram programu pro výpočet AOS/LOS, azimutu a elevace je naznačen na obr.25. Po zadání referenčního EQX /datum, číslo oběhu N, čas EQX T_x , zeměpisná délka EQX L_x / se zadaným krokem /obvykle 1 minuta/ mění čas a v jednotlivých časových okamžicích se vypočítává zeměpisná poloha stínu družice vztahem /20/, /21/ a jeho oblouková vzdálenost k stanovišti vztahem /22/. Jakmile je vzdálenost menší než C_{max} vytiskne se čas AOS a program zahájí výpočet azimutů a elevací vztahy /25/ a /24/. Jejich výpočet pokračuje až do časového okamžiku, kdy družice "vystoupí" z plochy omezené obzorníkem, tj. vzdálenost C bude opět větší než C_{max} . Vytiskne se čas LOS a časová smyčka se ukončí. Po přičtení periody oběhu a separace drah se přechází na výpočet dalšího oběhu. Součástí programu je i "kalendářní" podprogram, který hlídá přechod přes 24. hodinu, přes poslední den měsíce a roku. Protože vztahy obsahují velké množství go-



niometrických funkcí, probíhají výpočty relativně pomalu. Vyplatí se proto zabudovat do programu různé zrychlovací obraty, aby se počet "zbytečně" počítaných souřadnic a vzdáleností snížil.

4.2. VYSOKÁ ELIPTICKÁ DRÁHA

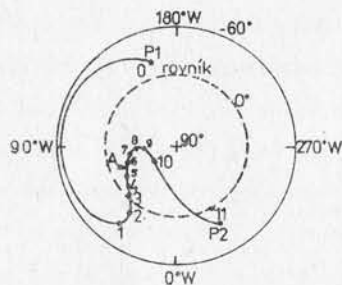
Problematika predikování polohy družice na značně excentrické dráze je proti kruhové dráze podstatně složitější jednak proto, že pohyb družice je nerovnoměrný, jednak proto, že výška nad zemským povrchem, a tedy i komunikační dosah se neustále mění. Moderní výpočetní technika snadno zvládne potřebné výpočty a dokonce lze sestavit systém pracující v reálném čase, který ovládá anténní rotátory. Nemá ale zatím každý doma mikro počítač nebo programovatelný kalkulátor. Proto mají stále význam jednoduché grafické predikční pomůcky, a to tím spíše, že pro směrování běžných antén je přesnost 5° více než dostatečná.

Na rozdíl od kruhových drah, s nimiž je dostatek zkušeností a kde jsou metody predikce bohatě prověřeny praxí, u eliptické dráhy je třeba použít jiných postupů, jejichž vhodnost ukáže nejbližší budoucnost. Všechny dále uvedené příklady vycházejí z dráhy, která byla plánována pro družici Phase 3A. Proto uvedené obrázky a údaje mají význam pouze informativní a ilustrují navrhovanou metodu predikce.

Podobně jako u družice na nízké kruhové dráze základní představu o poloze, pohybu a komunikačních možnostech skýtá okamžitá zeměpisná poloha stínu družice na povrchu Země /bod SSP/, případně celá stínová dráha. Stínovou dráhu můžeme vynést spolu

s časovými údaji do mapy světa - nejvhodnějším zobrazením je opět polární projekce, protože se na ní snadno a názorně modeluje otáčení Země. To má, vzhledem k dlouhé době oběhu, na rozdíl od nízké kruhové dráhy, zcela zásadní vliv na tvar stínové dráhy.

Na obr.26 je schematicky znázorněna polární mapa v rozsahu od 60° jižní šířky s vyznačeným rovníkem. Do mapy je zakreslena

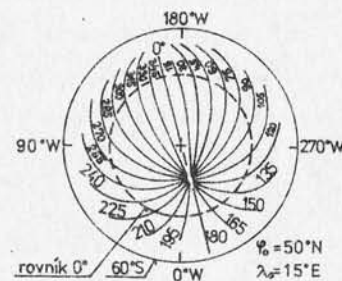


Obr.26. Dráha družice Phase 3A v polární projekci

stínová dráha družice s parametry Phase 3A $i=57^\circ$, $T=11$ hod., $W=206^\circ$. Dráha začíná v bodě P_1 - v perigeu na jižní polokouli na zeměpisné šířce $-21,6^\circ$ v čase např. 00:00 UTC. Po 11 hodinách, tj. po jednom oběhu, družice dospěje do "následujícího" perigea P_2 . Za 11 hodin se Země otočí o 165° , takže zeměpisná délka perigea P_2 leží o 165° západněji než P_1 . Podél dráhy je vyznačena časová stupnice s intervalem 1 hod a také je označena poloha družice v apogeu bodem A. Křížení rovníku nastává přibližně 2h 47m po průchodu perigeem. Další oběh družice začíná na mapě z bodu P_2 a polohu dráhy získáme tak, že na prů-

svitce zakreslenou vzorovou dráhu pootočíme kolem severního pólu o 165° na západ, tj. tak, aby bod P_1 vzorové dráhy se ztotožnil s bodem P_2 prvního oběhu.

Z dráhy znázorněné v polární projekci lze určit alespoň azimut družice. K tomu účelu se použije síť křivek z obr.27. Jsou tam v téže projekci zakresleny po 15° azimutály pro stanoviště v Čechách $/50^\circ\text{N}, 15^\circ\text{E}/$. Je to vlastně azimutální stupnice z pre-



Obr.27. Síť azimutálních čar v polární projekci

dikční pomůcky OSCARLATOR, rozšířená na téměř celou zeměkouli. Elevační úhel nelze ani přibližně odhadovat a z popsané mapy ani spolehlivě nevyčteme, kdy je družice nad naším obzorem. Určit se dá pouze průchod družice nadhlavníkem, když stínová dráha prochází právě naším stanovištěm. U družice Phase 3B budou poměry příznivější. Phase 3B má mít inklinaci $i=63^\circ$ a argument perigea $W=240^\circ$. V tom případě bude apogeu položeno vždy nad 50° severní šířky, což znamená, že v naší zemi bude při každém oběhu nad obzorem.

Úplný přehled o azimutu a elevačním úhlu poskytuje počítačem

kde F_Q , L_Q je zeměpisná šířka a délka stanoviště a L zeměpisná délka družice. Přitom záporní délku považujeme za zápornou, výchozí za kladnou.

Je-li úhel C menší než $81,3^\circ$, je geostacionární družice nad naším obzorem a má význam dále počítat azimut a elevaci. Azimutální úhel ze stanoviště na severní polokouli se počítá vztahem

$$A = 180^\circ + \arctg [\operatorname{tg}(L_Q - L) / \sin F_Q] \quad /27/$$

Pro elevační úhel platí vztah /24/, který po dosazení konstant se zjednoduší na

$$B = \arctg \left(\frac{\cos C - 0,151266}{\sin C} \right) \quad /28/$$

V TAB.3 jsou pro stanoviště 50°N , 15°E vypočteny azimuty a elevace geostacionárních družic umístěných v odstupu po 6° zeměpisné délky /plánované polohy pro rozhlasovou družicovou službu/. Družice, které jsou nad obzorem níže než asi 5° , jsou prakticky nevyužitelné.

GEOSTACIONÁRNÍ DRUŽICE

Tabulka 3.

Azimutální a elevační úhly pro stanoviště 50°N 15°E		
L Zem. délka vých.	A Azimut	B Elevace
- 61	279,2	0,2
- 55	271,4	4,0
- 49	263,5	7,7
- 43	255,7	11,4
- 37	247,9	15,0
- 31	240,0	18,4
- 25	232,2	21,6
- 19	224,4	24,7
- 13	216,6	27,5
- 7	208,7	29,9
- 1	200,9	31,8
5	193,1	33,2
11	185,2	34,0
17	177,4	34,1
23	169,6	33,6
29	161,7	32,4
35	153,9	30,6
41	146,1	28,3
47	138,2	25,6
53	130,4	22,7
59	122,6	19,5
65	114,7	16,1
71	106,9	12,6
77	99,1	9,0
83	91,2	5,3
89	83,4	1,5

5. PALUBNÍ VYBAVENÍ DRUŽIC

S výjimkou prvních jednoduchých družic nese každá družice na palubě celý soubor elektronických zařízení. Jeho skladba se s rostoucím pokrokem stává stále důmyslnější a složitější, navíc se mění podle poslání družice. Hlavní přístrojové bloky se však opakuji u všech družic. Jsou to:

- energetický a napájecí blok
- majákový vysílač
- telemetrický systém
- povelový přijímač a blok ovládací logiky
- převaděč
- anténní systémy.

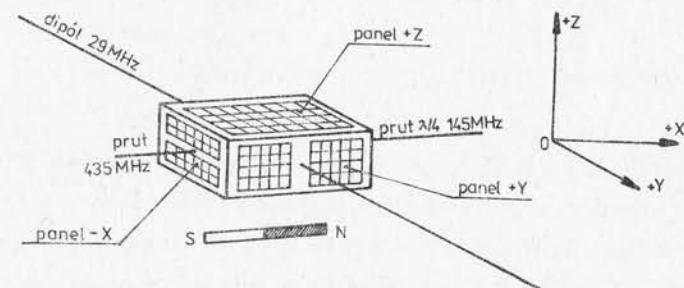
K těmto blokům pak podle potřeby mohou přistupovat různé další přístroje a obvody, např. pro vykonávání fyzikálních měření a pokusů, obvody pasívní či aktivní stabilizace polohy, televizní kamery atd. V nejnovějších družicích se přechází na autonomní řízení režimu palubních zařízení, takže v palubní výbavě je i mikropočítač.

5.1. ENERGETICKÁ SOUSTAVA

Energetický a napájecí blok rozhoduje o životnosti družice a o tom, jak složitá a na spotřebu náročná zařízení lze na palubě umístit. Počínajíce družicemi 2. generace se jako primár-

ní zdroj používají sluneční fotoelektrické články. Dnešní účinnost přeměny energie dosahuje až 11% z teoretické hranice asi 25%. Sdružením mnoha slunečních článků se vytvoří panel sluneční baterie. Požadované napětí při dané výkonové úrovni se získává sérioparalelním zapojením modulů z křemíkových článků. Jednotlivé články jsou pokryty tenkou ochrannou vrstvou spékaneho křemíku, chránící proti protonové a elektronové radiaci. Ochranný povlak ale snižuje výkon článků. Výkon slunečních baterií klesá s dobou jejich života - řádově o 20 - 30% za 5 let. U dosevadních radioamatérských družic je spotřeba palubní elektroniky relativně malá, takže zatím postačilo slunečními články pokrývat povrch pouzdra.

Množství vyrobené elektrické energie závisí na úhlu dopadu slunečních paprsků na sluneční panely; družice mají jistou vlastní rotaci, takže poměry se neustále mění. Proto lze z telemetrických údajů o proudu jednotlivých panelů získat informaci o rychlosti a směru rotace družice. Z toho důvodu se panelům přiřazuje označení podle vztažné souřadné soustavy /příklad na obr.29/, která souvisí i s orientací družice vůči Zemi.



Obr.29. Družice A06 a její souřadné osy

Družice na dráze synchronní se Sluncem procházejí zemským stínem při každém oběhu. Délka průchodu stínem je kratší než polovina oběžné doby. Na vyšších drahách je doba zastínění družice podstatně kratší. Např. u geostacionární družice nastává "zatmění družice" /eklipse/ jen ve dnech 27. února - 12. dubna a 1. září - 15. října, s maximální délkou 72 minut ve dnech rovnodenností.

Po dobu eklipsy energetické výdaje pokrývá palubní akumulátor, který je jinak neustále dobíjen ze sluneční baterie. Akumulátor je nejnamáhanějším zařízením na palubě a také družice A06 i A07 skončily činnost pro jeho poškození. Používá se kvalitních, vybíraných akumulátorů NiCd a správný režim nabíjení a vybíjení hlídá regulační elektronika /obvykle zdvojená/. Z váhových důvodů nemůže být akumulátor příliš předimenzován nebo zdvojen. Z akumulátoru se odebírá proud přes stabilizátory, které dodávají napětí na požadovaných úrovních. Zásadně se používá impulsně řízených obvodů, takže účinnost přeměny napětí je velmi vysoká /70-80%/. Je to nutné s ohledem na úsporu elektrické energie a snížení tepelných ztrát. Chlazení ve vakuu je obtížné a musí se realizovat jen vyzařováním.

5.2. MAJÁKOVÉ VYSÍLAČE A VOLBA KMITOČTU

Majákový vysílač zprostředkovává přenos všech důležitých údajů z paluby a je proto napojen především na telemetrický systém. Kromě toho může být klíčován či modulován např. z palubní paměti a vysílat otevřenou řečí kratší provozní či jiné informace. Druh provozu je různý - A1, F1, F2 a dokonce i F3

pro přenos syntetické řeči. Kmitočet majáku se obvykle volí tak, že na sestupné trase vyznačuje okraj převáděčového pásma. Na palubě bývají ještě další majákové vysílače, pracující na jiných pásmech, určené pro výzkum šíření vln nebo pro redundanci /či zmnožení/ toku informací. Zásadně však alespoň jeden z majákových vysílačů je trvale v provozu. Výkon majákového vysílače se pohybuje na úrovni řádu 100 mW /u nízkých drah/, takže příjem na Zemi je možný i s jednoduchou anténou a s průměrným přijímačem. Anténní systém je sdílen s převáděčem, pracujícím na stejném pásmu. Z hlediska snadného zaměřování polohy družice je velmi výhodné, když alespoň jeden majákový vysílač pracuje na kmitočtech UHF. Vyloučí se tak chyby vznikající anomálním šířením na delších vlnách.

Volba kmitočtů majákových vysílačů a také převáděčových vysílačů je vázána kmitočtovým přidělem ustanoveným Mezinárodní úmluvou o telekomunikacích /Radiokomunikační řád/. Výhradně pro radioamatérskou službu v kosmu jsou povolena tato pásma:

7,000 - 7,100 MHz	10,45 - 10,50 GHz
14,000 - 14,250	24 - 24,05
18,068 - 18,168	47 - 47,2
21,000 - 21,450	75,5 - 76
24,890 - 24,990	142 - 144
28,000 - 29,700	248 - 250
144,000 - 146,000	

Na ostatních UHF radioamatérských pásmech je radioamatérská družicová služba přípustná jako druhotná s tím, že nesmí způsobovat rušení prioritním službám:

435 - 438 MHz	
1260 - 1270	jen pro vzestupnou trasu
2400 - 2450	
3400 - 3410	jen oblast 2 a 3
5650 - 5670	jen pro vzestupnou trasu
5830 - 5850	
76 - 81 GHz	
144 - 149	
241 - 248	

5.3. TELEMETRICKÝ SYSTÉM

Telemetrický systém uskutečňuje dálkové měření elektrických a fyzikálních hodnot v důležitých uzlech palubního zařízení. Pomocí čidel se snímají hodnoty napětí, proudů, vř výkonů, teploty nebo i údaje z dalších měřicích obvodů /čítač radiačních částic, magnetometr apod./. Změřené hodnoty se v A/D převodnicích přemění na digitální formu a dále se vhodným způsobem zakódují. Sekvenční logické obvody pak organizují postupné seřazení připravených dat; doplnění čísla telemetrických kanálů a identifikačním znakem majákového vysílače. Jednodušší systémy kódují údaje do Morseovy abecedy; mnohokanálové systémy, u nichž je potřebná větší rychlost toku dat, kódují data do dálkopisného kódu Baudot nebo ASCII.

Jako typický příklad uveďme šestikanálovou telemetrii družice A08, jejíž jedna sekvence vysílaná Morse rychlostí 100 zn./min vypadá např. takto:

HI 158 248 372 433 535 621 HI

HI je identifikační znak radioamatérské družice. V následujících tříčíslíkových skupinách označuje první číslice pořadové číslo telemetrického kanálu a dvojčíslí je již vlastní informace o velikosti měřené hodnoty. K vyhodnocení proto potřebujeme znát tzv. kalibrační vztahy pro jednotlivé TLM kanály. Pro družici A08 to jsou:

1 ... celkový proud sluneční baterie

$$I = 7,15 \cdot (101 - N) \quad [\text{mA}]$$

2 ... nabíjecí/vybíjecí proud akumulátoru

$$I = 57 \cdot (N - 50) \quad [\text{mA}]$$

3 ... napětí akumulátoru $U = 0,1 \cdot N + 8,25 \quad [\text{V}]$

4 ... teplota základní desky $T = 95,8 - 1,48 \cdot N \quad [^{\circ}\text{C}]$

5 ... teplota akumulátoru $T = 95,8 - 1,48 \cdot N \quad [^{\circ}\text{C}]$

6 ... vř výkon převaděče "J" $P = 23 \cdot N \quad [\text{mW}]$

N znamená číselný údaj - 2. a 3. místo skupiny.

Na podobném principu pracují telemetrické systémy ostatních družic. U nejmodernějších družic /UOSAT, Phase 3B/ je požadovaný objem přenášených informací velký a proto se přechází na metody přenosu dat obvyklé ve výpočetní technice. Rychlost vysílání 1200 bitů/s na družici UOSAT odpovídá rychlosti asi 6000 zn./min. Takto vysílaná data lze pak na Zemi přímo zpracovávat a vyhodnocovat počítačem. Na organizaci zpracování TLM dat se může podílet také palubní mikropočítač, který naměřené údaje předzpracuje nebo uchová v paměti měření uskutečněné v době, kdy je družice mimo dosah pozemní řídicí stanice.

5.4. OVLÁDACÍ OBVODY

Povelový přijímač a blok ovládací logiky přijímají a vykonávají povely vysílané pozemními řídicími stanicemi. Musí pracovat naprosto spolehlivě, protože např. povel k vypnutí palubního vysílače /třeba při rušení jiné radiokomunikační služby, nebo při havarijním stavu akumulátoru/ musí být vykonán za všech okolností. Povelely se ovládají i neelektronické součásti družice. U družice A08 a A09 existuje povel k vysunutí teleskopické antény pro pásmo 29 MHz nebo k vysunutí tyče pro gravitační stabilizaci polohy, u družice Phase 3 je to povel k zapálení přídatného raketového motoru, u geostacionárních družic to budou povely k ovládní korekčních trysek. Z uvedených příkladů je patrné, že spolehlivá funkce ovládacích obvodů je pro činnost družice životně důležitá. Proto bývá celý systém ovládní včetně povelových přijímačů zdvojený. Povelové přijímače pracují na VHF/UHF amatérských pásmech, příslušné kmitočty i způsob kódování povelů není zveřejňován, aby se zabránilo zneužití.

Ovládní provozu složitější družice je časově velmi náročné pro obsluhu pozemních řídicích stanic a proto se ovládní automatizuje již přímo na palubě družice. Na družici A07 fungovalo např. samočinné přepínání režimů převáděčů podle stavu palubního akumulátoru. Při přílišném vybití se uvedla družice do režimu "D", kdy byl zapojen jen jeden majákový vysílač. Při dostatku energie byl v chodu režim "B" - převáděč 435/145 MHz s plným výkonem, jinak byl zapnut režim "C" - převáděč 435/145 MHz s výkonem sníženým na čtvrtinu nebo převáděč "A" - energie-

tický úsporný převáděč 145/29 MHz. Kromě toho palubní hodiny střídaly po 24 hodinách převáděče M módu A a B.

Na družici UOSAT - A09 i na připravované Phase 3 se v rozsáhlé míře využívá mikroprocesorové techniky. Režim družice je řízen palubním mikropočítačem podle programu, který byl vložen do paměti počítače před startem, nebo který může být operativně pozměněn nebo přepsán pozemní řídicí stanicí až na oběžné dráze. Přirozeně i při takovém autonomním palubním systému musí zůstat zachována přednost povelů z pozemních řídicích stanic.

5.5. PŘEVÁDĚČE

Z hlediska radioamatérského provozu je převáděč nejdůležitějším zařízením palubní výbavy. Převáděč /transponder/ je soustava přijímače a vysílače, která přijímá signály pozemských stanic a po náležitém zesílení je vysílá na jiném kmitočtu. Na rozdíl od běžných pozemních FM převáděčů, které dovolují provoz vždy jen jednomu uživateli, jsou družicové převáděče konstruovány jako širokopásmové lineární zařízení, tj. bez demodulace. Každý uživatel může proto obsedit část převáděčového pásma svým signálem.

Lineární převáděče byly v padesátých letech vypouštěny do výšky 20 - 30 km stratosférickými balóny /evropské projekty ARTOB, BARTOB/. Přitom byly získány cenné zkušenosti. Ukázalo se, že je nevhodné, aby převod byl uskutečňován uvnitř jednoho kmitočtového pásma pro potíže s desensibilizací palubního přijímače /stalo se i na Oscaru 4/ a zejména z provozních důvodů.

Účastníci provozu v tom případě nemohou slyšet své vlastní signály nazpět, nemohou se naladit na protistanici a proto vysílání se uskutečňuje "na slepo". Vzniká vzájemné rušení a provoz není pružný. Družicové převaděče se proto kontrolují zásadně s převodem z jednoho pásma na jiné pásmo.

Vstupní a výstupní kmitočty kromě technických hledisek musí vyhovovat i Radiokomunikačnímu řádu /viz odst. 5.2./. Ze vztahu /3/ vyplývá, že při trojnásobném zvýšení kmitočtu /např. z 145 na 435 MHz/vzroste útlum trasy zhruba o 10 dB. Sestupná trasa je kritičtější, protože na družici z energetických důvodů je obtížné instalovat výkonnější vysílač. Pro sestupnou trasu se proto zpravidla volí nižší kmitočtové pásmo než pro trasu vzestupnou.

Zkušenosti ukazují, že signál radioamatérské stanice je subjektivně považován za silný, když odstup signálu k šumu (S/N) dosahuje 20 dB. K dosažení tohoto psychologického efektu by měly "silné" signály zpracované převaděčem dosáhnout alespoň této úrovně. Současně jsou při tom dobře čitelné signály o 14 dB slabší (S/N = 6 dB). Výkonové rozdíly mezi radioamatérskými stanicemi jsou převážně menší než 14 dB /poměr výkonů 1 : 25/, takže příležitost k provozu má téměř každý. Při současném zpracování více signálů dojde působením automatického řízení zisku převaděče k zeslabení asi o 7 dB, jak ukázala statistická měření. Teoreticky by zeslabení mělo být podstatně větší, ale příznivě se uplatní statistické rozložení CW a SSB signálů v časové oblasti. Nestane se totiž, aby všichni uživatelé převaděče ve stejný okamžik stiskli klíč nebo plně promodulovali svůj vysílač. Převaděč by proto měl poskytnout při plném vybuzení

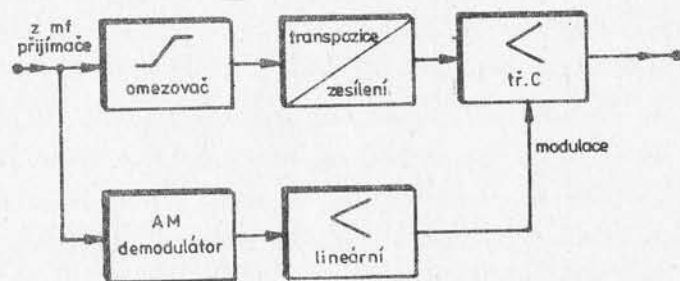
takový výkon, aby u pozemního přijímače vytvořil odstup S/N = 27 dB. U převaděče A06 nebyl tento požadavek splněn a byl to jeden z důvodů, proč stanice používaly nadměrných vyzářených výkonů a poškozovaly spoluúčastníky provozu i palubní akumulátor.

Správné úrovně poměry v převaděči udržují účinné obvody automatického řízení zisku /AGC/. Musí jednak zabránit přebuzení výkonových stupňů, jednak zabránit rychlým změnám výstupní úrovně. Volí se proto náběhový čas asi 0,1 s a doba doběhu AGC asi 2 s. S činností AGC souvisí i nutnost dodržovat doporučené maximální vyzářené výkony u pozemních stanic.

Uvažme zjednodušený příklad, kdy převaděč má maximální výstupní výkon 10 W a vysílá přes něj současně 20 stanic se správným doporučeným výkonem 100 W ERP. Na výstupu plně vybuzeného převaděče je tudíž 20 signálů, každý s výkonovou úrovní 0,5 W. Zahájí-li vysílání neukázněná stanice s desetinásobným ERP, obvody AGC nastaví zesílení převaděče tak, že silná stanice bude mít na výstupu převaděče výkon 5 W a na ostatních 20 stanic zůstane také 5 W - jejich signály budou proto zeslabeny o 3 dB. Bude-li neukázněná stanice vysílat s výkonem 2000 W ERP /a to není nic nedosažitelného - stačí 100 W vf na 13 dB anténě/, "zabere pro sebe" prakticky veškerý výstupní výkon převaděče 10 W a signály ostatních stanic budou potlačeny nejméně o 13 dB. Z příkladu je patrné, jak je důležitá vzájemná ohleduplnost a dodržování ham-spiritu při provozu přes lineární převaděč.

Vysílací část převaděče bývá řešena podstatně složitěji než řetězem zesilovačů pracujících v třídě A nebo AB. Je to nutné s ohledem na celkovou energetickou účinnost, která u zesilovačů

třídy A, AB, B dosahuje ve špičkách jen 20 - 50% a při středním vybuzení jen 5 - 20%. Na palubě není nikdy nadbytek elektrické energie a tak zesilovače musí být úspornější. Používá se proto speciálních obvodových technik, jako jsou zesilovače třídy D a systém EER /Envelope Elimination and Restoration/. Princip EER - vyloučení a obnovení obálky - je znázorněn na obr.30. Z mf signálu převaděčového přijímače se AM demodulátorem snímá amplituda obalové křivky signálu. Mf signál se po průchodu omezovačem



Obr.30. Princip metody EER

zpracovává a zesiluje v nelineárních zesilovačích třídy C s vysokou účinností. Sejmутá modulační obálka se lineárně zesílí a v koncovém stupni nelineárního řetězu se opět amplitudově namoduluje. Signál se vlastně zpracovává souběžně ve dvou kanálech. V nelineárním kanálu se přenáší pouze fázová informace původního signálu, v lineárním "obálkovém" kanálu se přenáší amplitudová informace. Po složení těchto dvou informací v koncovém modulovaném stupni se získává nezkrácený zesílený původní signál. Účinnost takto koncipovaných vysílacích řetězů je téměř nezávislá na úrovni vybuzení a dosahuje 50 - 60%.

Pro převaděče na nízké oběžné dráze je postačující šířka pásma kanálu asi 50 - 100 kHz, protože komunikační oblast o poloměru asi 3000 - 4000 km se rychle posunuje po zemském povrchu a pokrývá jen malou část světové radioamatérské populace. U budoucích družic na vysoké eliptické nebo geostacionární dráze budou převaděče obsluhovat téměř polovinu Země po dobu několika hodin, či trvale. Zájemců o družicový provoz bude proto mnohonásobně více a převaděče takových družic mohou uspokojit zájem jen při podstatně širším převaděčovém pásmu. Logickým důsledkem tohoto trendu je přechod na vyšší amatérská pásma.

Stalo se zvykem označovat jednotlivé typy převaděčů podle kmitočtové transpozice písmeny velké abecedy /tzv. mód/. V následující tabulce je přehled dosud užitých i plánovaných módů. Stojí za povšimnutí, že u všech kmitočtových transposic s UHF pásmy se používá inverzní transpozice, aby se zmenšil vliv Dopplerova posuvu kmitočtu.

PŘEHLED PŘEVÁDĚČOVÝCH MÓDŮ

Tabulka 4.

MÓD	Družice	Vzestupná trasa	Sestupná trasa
A 145/29 MHz	AO6	145,900-146,000	29,450 - 29,550
	AO7	145,850-145,950	29,400 - 29,500
	RS1	145,880-145,920	29,360 - 29,400
	RS2	145,880-145,920	29,360 - 29,400
	AO8	145,850-145,950	29,400 - 29,500
	RS5,6	145,910-145,950	29,410 - 29,450
	RS7,8	145,960-146,000	29,460 - 29,500
B 432/145 MHz	AO7	432,175-432,125	145,925-145,975
J 145/435 MHz	AO8	146,000-145,900	435,100-435,200
U 432/145 MHz	Phase 3B	435,175-435,025	145,825-145,975
L 1260/436MHz	Phase 3 Syncart	1269,850-1269,050	436,150-436,950

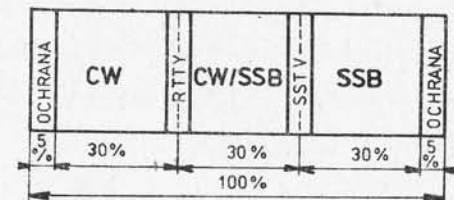
Po počáteční anarchii /po vypuštění AO6/ byl pro družice AMSAT vyhlášen jednotný kmitočtový plán /band-plan/ rozmístění jednotlivých druhů provozu v převáděčovém pásmu. Kmitočty a dělení pásma se zásadně určuje ve výstupním kanálu, tj. na kmitočtech sestupné trasy. Princip rozdělení pásma znázorňuje obr.31.

Šířka celého kanálu se uvažuje jako 100%. Na počátku i konci pásma se vyhražuje 5% segment jako ochranné pásmo pro majákové vysílače, zpravodajské a tísňové vysílání. Zbytek pásma - 90% - je rozdělen na třetiny po 30%. Kmitočtově nejnižší třetina je určena výhradně pro CW provoz, druhá třetina pro smíšený provoz CW/SSB, nejvyšší třetina výhradně pro provoz SSB. Na hranicích třetin se má uskutečňovat provoz RTTY /mezi 1. a 2. třetinou/ a SSTV /mezi 2. a 3. třetinou/. Na obr.32 je konkrétní kmitočtový plán pro módy A, B, J. Šířka ochranného pásma u módu B byla 2,5 kHz, u módu A a J je 5 kHz.

5.6. ANTÉNNÍ SYSTÉMY A STABILIZACE POLOHY

Na dosavadních radioamatérských družicích jsou používány jednoduché, málo směrové antény především z důvodů ekonomických. Antény s větším ziskem by sice dovolily snížit výkon palubních vysílačů i ERP pozemních stanic, ale na druhé straně by vyžadovaly správné směrování k Zemi a tedy i stabilizaci polohy družice vůči Zemi. Na nízké kruhové dráze je útlum trasy poměrně malý /viz TAB.1/ a tak stačí jednoduché antény dipólového typu.

Po odvržení družice od posledního raketového stupně nebo od mateřské družice je vždy družici udělen mechanický impuls,



Obr.31. Obecný kmitočtový plán převáděčového pásma

	OCHRANA	CW	RTTY	CW/SSB	SSTV	SSB	OCHRANA	
29,400			29,435			29,465		mód A
145,925			145,940			145,960		mód B
435,100		435,135				435,165	435,200	mód J

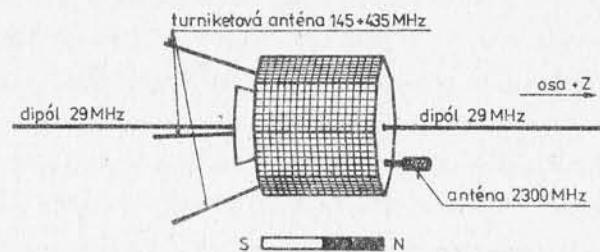
Obr.32. Kmitočtový plán módu A, B, J

který ji pak nutí vykonávat vlastní rotační pohyb /tzv. spin/, orientovaný obecně kolem všech tří os. Je-li družicová anténa jednoduchého dipólového typu /dipól, čtvrtvlnný prut/ s lineární polarizací, mění se tudíž neustále polarizační rovina vyzařovaných vln. To se týká i družicové antény určené k příjmu. Má-li pozemní stanice také anténu s lineární polarizací, vzniká následkem rotace družice a následné depolarizace únik s hlubokými minimy při příjmu majáku nebo při provozu přes převáděč, kde je tento efekt ještě výraznější.

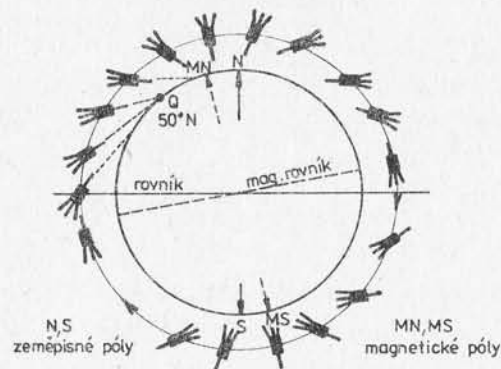
Nepříjemnému úniku se čelí dvěma způsoby: používá se antén pro kruhovou polarizaci /nejlépe na palubě i na Zemi/, stabilizuje se alespoň částečně poloha družicových antén vůči zemskému povrchu. Například na družicích A07, A08, A09-UOSAT se velmi osvědčila turniketová anténa, skládající se ze 4 šikmých čtvrtvlnných prvků napájených s fázovým posuvem 90° /obr.33/. Anténa pracuje na základním kmitočtu 145 MHz i v harmonickém módu na 435 MHz.

Vlastní rotaci družice lze do značné míry potlačit jednoduchou pasívní magnetickou stabilizací. Ve zvolené ose pouzdra je zabudován silný tyčový permanentní magnet. Celá družice pak funguje jako kompasová stříelka, osa magnetu se snaží zaujímat polohu směřující k zemským geomagnetickým pólům. Tak se po několikátýdenním ustálení stane, že se družice během obletu pouze dvakrát překlopí nad geomagnetickými póly. Situace je znázorněna na obr.34.

Uspořádání antén na družici musí být takové, aby mezi anténami byla co nejmenší vzájemná vazba. Na družici A07 byl zářič pro 29 MHz umístěn v ose z - rovnoběžně s osou magnetu. Není to

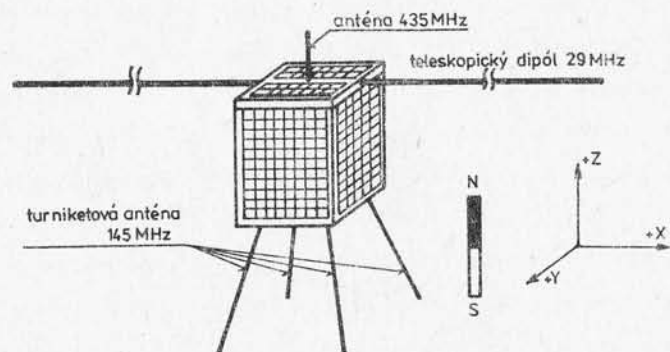


Obr.33. Družice A07 - orientace antén a stabilizačního magnetu



Obr.34. Funkce pasívní magnetické stabilizace polohy družice A07

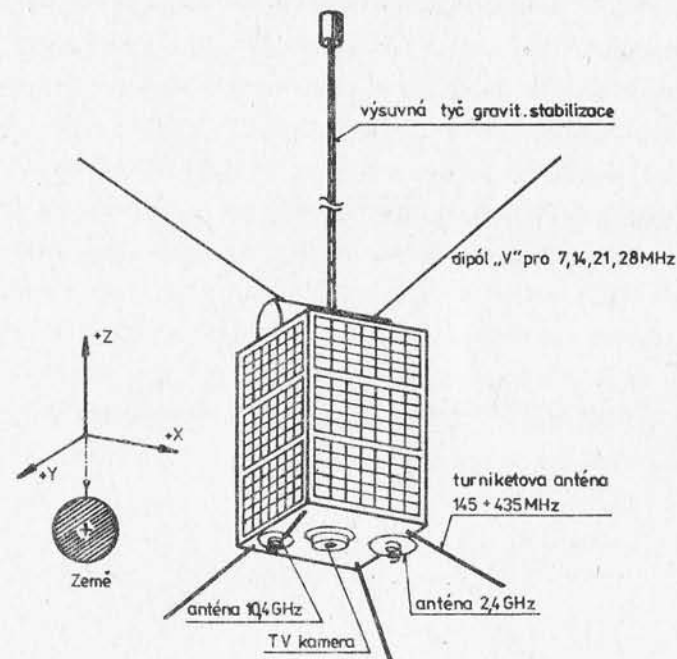
poloha příliš dobrá. Jak naznačuje obr.34, docházelo při přeletech blízkých nadhlavníku k tzv. "jižnímu efektu" u stanic na středních severních šířkách. Tehdy totiž směřuje družicový dipól k pozemní stanici svým koncem a má v tom směru vyzařovací minimum. Přijímané signály na Zemi jsou proto velmi slabé a zlepšit se teprve, až družice zaujme polohu severně od pozemní stanice. Podobný efekt "severní" se vyskytuje na jižní polokouli. Orientace 29 MHz dipólu na družici A06 - kolmo k ose magnetu - byla podstatně příznivější /obr.29/. Proto u družice A08 byl zvolen opět dipól kolmý na osu magnetu /obr.35/.



Obr.35. Družice A08

Na družici A09-UOSAT je problém s umístěním antén vyřešen tím, že poloha družice je stabilizována ve svou osách a že družice obsahuje pouze majákové vysílače. Družice je pomocí aktivní, magnetické a pasivní gravitační stabilizace orientována tak, že spodní základna pouzdra /osa -z/ směřuje neustále k Zemi a

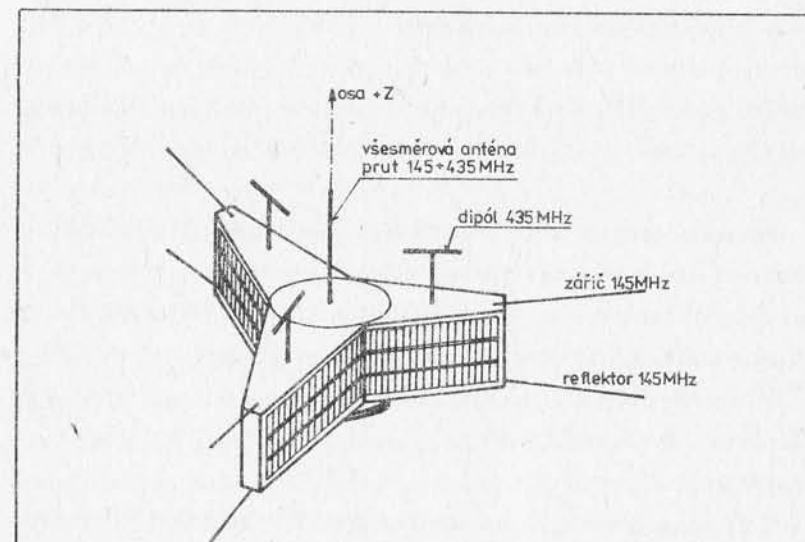
zbývající spin kolem osy z má být po ustálení velmi pomalý - asi 1 otáčka za 100 minut. Proto je možné na spodním víku uspořádat i směrové antény pro SHF a televizní kameru /obr.36/.



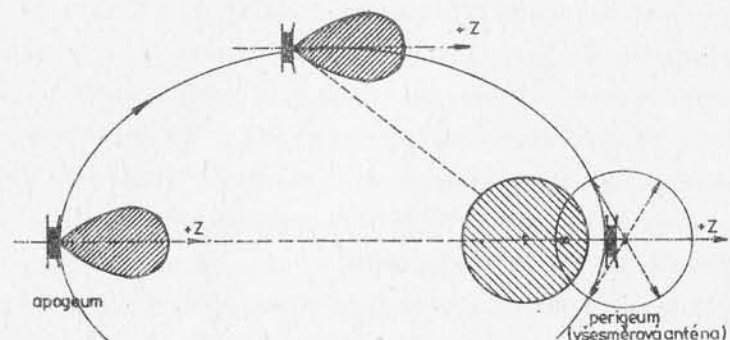
Obr.36. Družice A09-UCSAT

Pro družice typu Phase 3 jsou nutné antény s jistým ziskem, aby pro komunikaci v apogeu nebylo třeba velkých výkonů jak na Zemi, tak na palubě. Družice má tvar tříramenné hvězdy /obr.37/. Na koncích ramen jsou připevněny dvouprvkové systémy zářič + reflektor pro pásmo 145 MHz. Zářiče jsou napájeny s fázovým posuvem 120° , tj. třífázově, čímž vzniká kruhově polarizovaná

vlna /obdoba točivého pole u třífázového motoru/. Celkový zisk systému pro 145 MHz je asi 8 dB_i. Nad horním krytem hvězdicového pouzdra jsou umístěny tři dipóly pro 435 MHz, navzájem natočené o 120° a také napájené třífázově. Víko pouzdra slouží jako odrazná stěna a zisk tohoto systému je asi 10 dB_i. Uprostřed mezi dipóly je vztyčena všesměrová anténa pro 145 MHz, využívaná s rukávovým napájením i pro 435 MHz. Je určena pro provoz v blízkosti perigea. Družice bude stabilizována v prostoru rotací kolem osy z tak, aby v apogeum směřovala osa +z i maximum vyzařovacího diagramu antén k Zemi /obr.38/. Když bude družice blíže k Zemi a útlum trasy bude menší, bude hlavní lalok diagramu směřovat mimo, takže efektivní zisk palubních antén se sníží. Takovým způsobem se do značné míry vyrovná proměnný útlum trasy. V blízkosti perigea bude převaděč přepnut na všesměrovou čtvrtvlnnou anténu.



Obr.37. Družice Phase 3



Obr.38. Družice Phase 3 - orientace antén

6. PROVOZ PŘES DRUŽICOVÉ PŘEVÁDĚČE

Provoz přes družicové převáděče je dostupný každé průměrně vybavené stanici. V následujících odstavcích jsou uvedeny základní požadavky na zařízení pozemní stanice, různé náměty a rady pro začínající i pokročilejší zájemce o kosmické převáděče.

6.1. VYSÍLAČ POZEMNÍ STANICE

K provozu postačí každý vysílač pro CW nebo SSB o výkonu řádu 10 W, s anténou se ziskem kolem 10 dB_d. Směrodatný je efektivní vyzářený výkon, který pro dosevadní družice na nízké dráze byl stanoven na max. 80 - 100 W ERP, pro sovětské družice stačí třetina. Při vhodných provozních podmínkách /málo zatížený převáděč, blízký přelet/ je možné pracovat s překvapivě malými výkony a přes převáděče AO7B a RS byla navázána spojení i s pouhými 100 mW ERP. Je samozřejmé, že příslušný ERP je dosažen jen tehdy, když anténa míří na družici. Je-li k dispozici výkon kolem 100 W, postačí jednoduchá pevná anténa /dipól, GP/ a odpadájí starosti se směřováním.

V každém případě je třeba, aby pozemní stanice mohla nějakým způsobem regulovat vyzářený výkon /v nouzi alespoň odsměrováním antény/, aby nepřetížila převáděč. Správná úroveň ERP se posuzuje slyšitelností vlastních signálů. Nesmějí být silnější než signály majákového vysílače. Oscilátor vysílače by

měl být vybaven dostatečně jemným laděním, aby bylo možné rychle, přesné naladění na protistanici a stupnice by měla dovolit odečítat kmitočet s přesností alespoň 5 kHz. Pro provoz CW se v jednoduchých vysílačkách běžně používají rozlaďované krystalové oscilátory /VXO/.

Vysílače pro SSB nemusí být nutně vybaveny přepínáním postranních pásem (LSB/USB). Při provozu přes družicové převáděče se na vzestupné trase vysílá s takovým postranním pásmem jako při normálním provozu na stejném pásmu, tj. na VHF, UHF s horním postranním pásmem - USB. Jak bylo naznačeno v odst. 5.5. vývoj družicového provozu spěje stále k vyšším kmitočtům. Perspektivně budeme muset i pro družice typu Phase 3 zvládnout výrobu výkonu řádu desítek wattů na pásmu 1260 MHz.

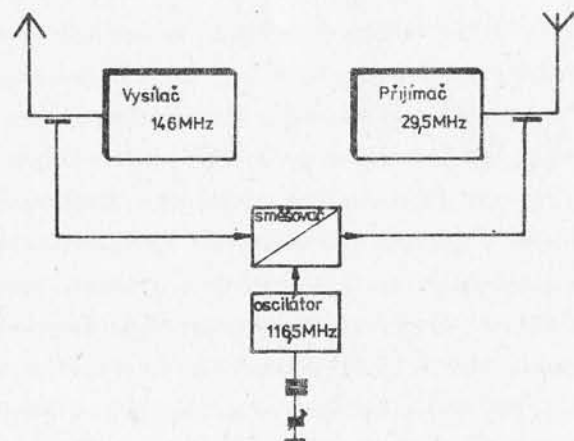
6.2. PŘIJÍMAČ POZEMNÍ STANICE

Kvalitní, citlivý a selektivní přijímač je jedním z předpokladů úspěšného provozu. Podobně jako u vysílače se vyžaduje jemné ladění a dobře ocejchovaná kmitočtová stupnice. Šumové číslo by mělo být dostatečně malé, dobrá hodnota je $F = 2 + 3$ ($3 + 5$ dB) na 145 a 435 MHz, na 29 MHz může být i trochu horší. Vstupní obvody přijímače nebo anténního předzesilovače musí být řešeny tak, aby nedocházelo k snížení citlivosti /desensibilizaci/ při zaklíčování vysílače. To znamená na vstupu laděné obvody a zesilovače schopné lineárně zpracovat vyšší úroveň /elektronky, FET, zesilovače se zápornou zpětnou vazbou/.

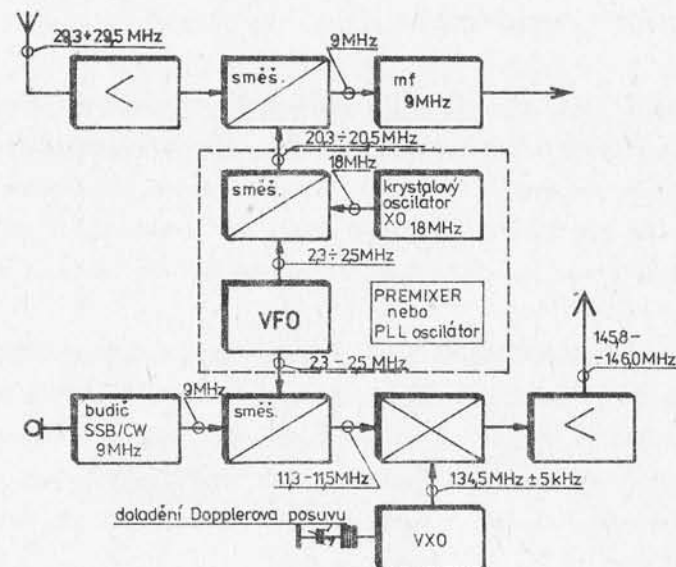
Velmi důležitá je dostatečná selektivita přijímače. Úroveň většiny signálů družice nemá velký odstup od úrovně šumu a

proto každé zlepšení zúžením šířky pásma přijímače přijde vhod. Pro příjem CW je velmi výhodná plynule řiditelná selektivita. Detektor SSB musí být vybaven oscilátorem nosného kmitočtu pro příjem LSB i USB, protože existují družicové převaděče neinvertující i invertující, u nichž signál vyslaný ze Země jako USB je na sestupné trase signálem LSB//dochází k inverzi postranního pásma/.

Obtížný problém je souběžné ladění přijímače a vysílače. Jak už jsme si ukázali v prvním odstavci, přesné zvládnutí souběhu je následkem Dopplerova posuvu nerealizovatelné. Při ladění vysílače na přijímaný kmitočet lze použít pro přibližné naladění přepočítávací kmitočtové tabulky. Jemné doladění pak provádíme při vysílání řady teček. Ladící postup se dá usnadnit a zrychlit směřovací přípravkem, který imituje funkci převaděče /obr. 39/. Vstup a výstup se vhodným způsobem /volnou kapacitní vaz-



Obr.39. Ladící přípravek



Obr.40. Transceiver pro mód A

bou, směrovým vedením/ naváže na výstup vysílače a vstup přijímače.

Myšlenku spřaženého ladění lze dovést až do konce zapojením podle obr.40, kde je navrženo blokové schéma družicového transceivru pro mód A. Protože je nutný současný poslech vlastních signálů z převaděče při vysílání, transceiver má samostatný vysílací a přijímací řetěz. Oba trakty spolu souvisí pouze hlavním oscilátorem. SSB budič může pracovat i na jiném kmitočtu než mf přijímače, pak je nutné pozměnit kmitočet rozlaďovaného transpozičního oscilátoru. Rozlaďování transpozičního oscilátoru ± 5 kHz slouží ke korekci Dopplerova posuvu kmitočtu.

6.3. ANTÉNY POZEMNÍ STANICE

Podobně jako u "normálního" pozemského provozu jsou účinné antény základním předpokladem úspěchu. Přes převaděče módu A bylo sice pracováno i s tak kuriózními systémy, jako jsou třeba dvě antény LW určené pro KV pásma, ale soustavnější práce vyžaduje přece jen solidnější zvládnutí potřebné anténní techniky.

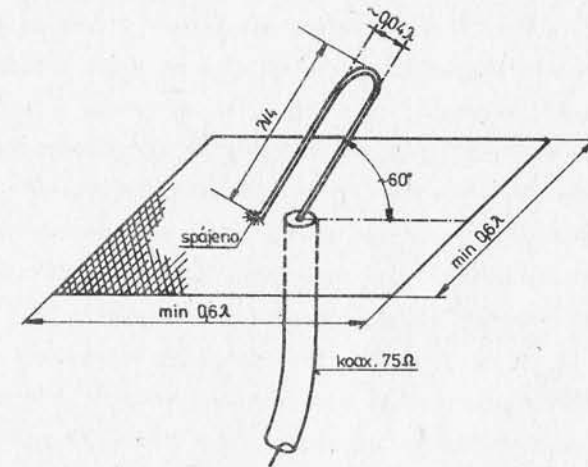
První základní rozdíl proti "normálním" anténám spočívá v tom, že po převážnou část přeletu družice je zapotřebí přijímat a vysílat v jiném směru než vodorovném, často ve směru nadhlavníku. Jediná anténa, pokud to není směrovka ovládaná v obou rovinách, nestačí k využití celé provozní doby při přeletech.

Druhý problém je specifický pro družice na nízké dráze. Je to rychlý pohyb družice, vyžadující častou změnu směrování antény s užším vyzařovacím diagramem.

Třetí problém představuje měnící se polarizační rovina lineárně polarizovaných vln, ať již na anténě pozemní nebo družicové. Změna je způsobena jednak vlastní rotací družice, jednak Faradayovým stáčením původní polarizační roviny při průchodu vln ionosférou.

Pro toho, kdo chce vysílat jen příležitostně, je nejvhodnější jednoduchá vysílací anténa pro 145 MHz /dipól, GP/ napájená výkonem 50 - 100 W. Oba typy ale nejsou dostatečně výkonné pro dálkový provoz, kdy je družice nad obzorem níže než $10 - 20^\circ$. Navíc dipól není dostatečně všesměrový a proto např. pro družici A08 je lépe, když je nainstalován ve směru V - Z

/tj. maximum vyzařování S-J/. Anténa GP má nevýhodu, že vyzařuje jen nepatrně směrem vzhůru. Zlepšení přináší úmyslné deformování vyzařovacího diagramu skloněním zářiče, jak je znázorněno na obr.41. Skloněním zářiče se sníží i vstupní impedance



Obr.41. Skloněný skládaný zářič

antény, takže je přizpůsobení přijatelné i s kabelem 75 ohmů. Zářič by měl být upevněn nad vodivou plochou o rozměrech alespoň $0,6 \times 0,6$ vlnové délky. /Výhodně lze instalovat nad plechovou střechou./

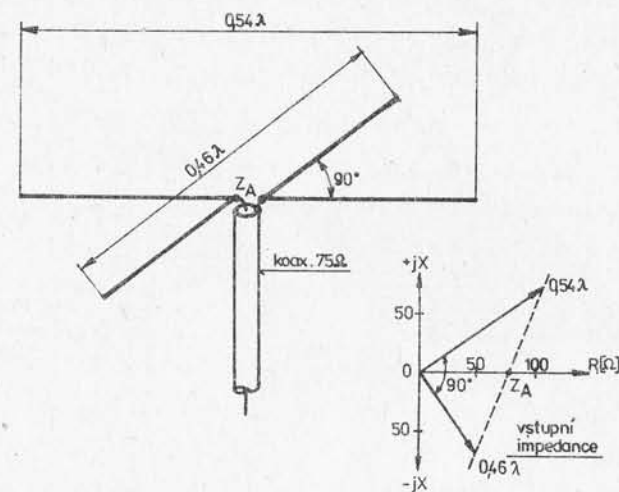
Velmi vhodná je kombinace dvou antén: vodorovného dipólu /nejlépe zkříženého s napájením pro kruhovou polarizaci/ nad odraznou plochou pro vysoké elevační úhly a svislé všesměrové ziskové antény (fázová kolineární soustava podle /8/). Svislá anténa je přitom využitelná k provozu přes pozemní převaděče.

Je účelné věnovat dostatečnou pozornost přijímací anténě

pro 29 MHz, která je zpravidla limitujícím činitelem při provozu na módu A. Na 29 MHz se ve značné míře uplatňuje šum vnějšího prostoru, rušení ionosférickými signály v období dobrých KV podmínek a zejména poruchy a rušení průmyslového charakteru /jiskření, zapalování atp./. Proto je i jednoduchá směrová anténa /např. HB9CV/ k nezaplacení, neboť dovolí alespoň částečně potlačit rušení a zlepšit odstup signálu od šumu. I jednodušší antény /dipól, vertikál/ instalujeme co nejvýše a takovým způsobem, aby přijímaly co nejméně průmyslových poruch. Otázka správné polarizace není na 29 MHz kritická. Po průchodu ionosférou obsahuje radiová vlna složky různě polarizované a tak k hlubokému úniku zpravidla nedochází. Přesto je užitečné, když máme k dispozici dvě různé přijímací antény /např. LW a GP/, které můžeme rychle přepínat. Minimum příjmu nenastává nikdy současně na horizontální a vertikální anténě nebo i na libovolných anténách, vzdálených navzájem 1 - 2 vlnové délky. Přepínáním během provozu si volíme tu anténu, která dává momentálně lepší signál a realizujeme vlastně výběrový příjem /diversity/ s ručním ovládním. Kdo rád experimentuje, může vyzkoušet anténu s eliptickou polarizací, popsanou v /7/ a znázorněnou na obr.42. Je to soustava dvou zkřížených dipólů, z nichž jeden má délku větší než odpovídá půlvlnné resonanci, druhý délku kratší. Tím způsobem vzniká mezi dipóly fázový posuv /zhruba 90° / a k napájení není třeba zvláštní fázovací vedení. Také impedance v místě napájení vyhovuje přibližně napájecí 75 ohmů.

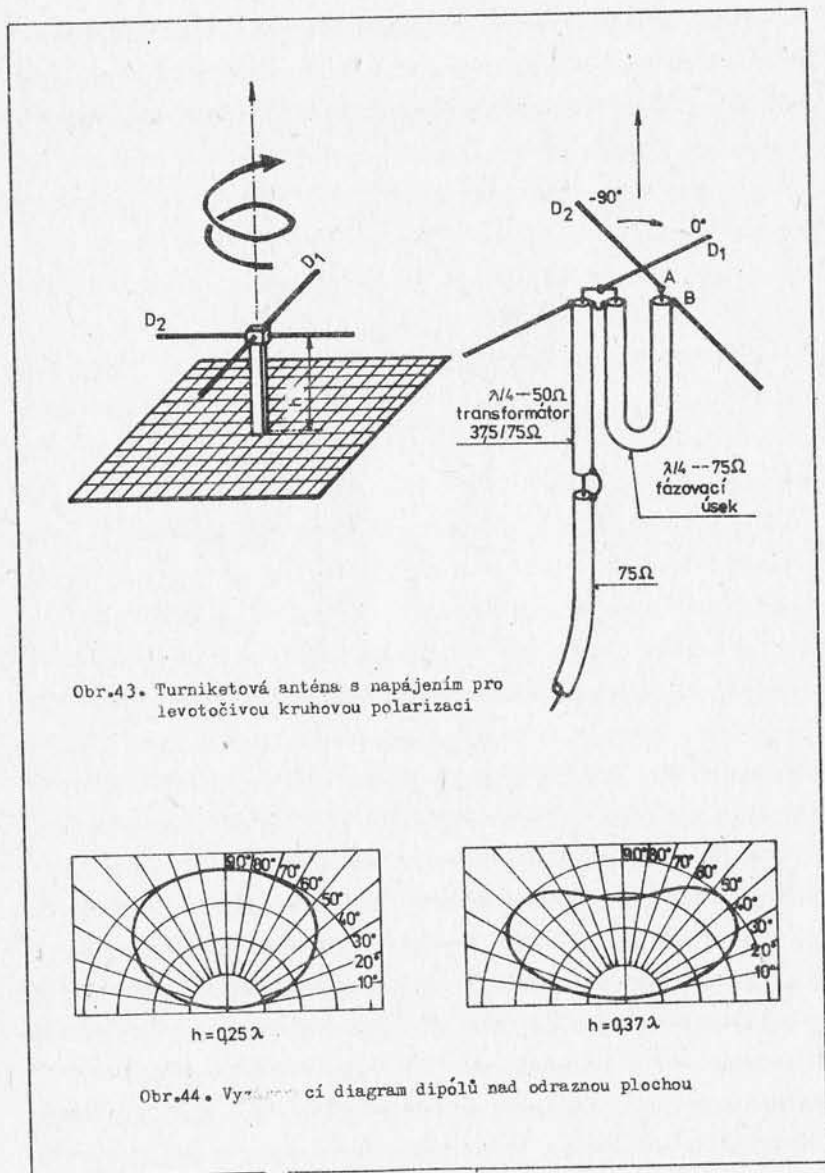
Princip dvou přepínatelných antén se využívá často i pro převáděče módu B a J, protože je obvykle snadnější doplnit stávající antény o dvě nové, menší antény, než pořídit systém

s ovladatelným sklápěním. V takovém případě horizontální směrové antény slouží k provozu, když je družice nad obzorem níže než $15 - 20^\circ$. Pro družici výše položenou se přejde na druhou

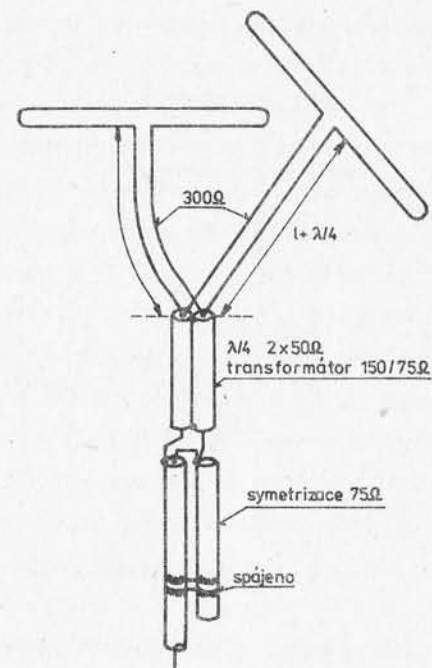


Obr.42. Zkřížené dipóly pro eliptickou polarizaci

dvojici antén, vyzařujících převážně vzhůru. Typickou anténou pro tyto účely je zkřížený dipól /turniketová anténa/ nad odraznou plochou, s napájením pro kruhovou polarizaci /obr.43/. Výšku dipólů nad odraznou plochou volíme větší než čtvrt vlny /a menší než $0,45 \lambda$ /, protože prosedlaný vyzařovací diagram je pro přelet družice vhodnější než diagram s maximem v nadhlavníku /v nadhlavníku je útlum trasy nejmenší - obr.44/. Místo odrazné plochy můžeme s trochu horšími výsledky použít tyčových reflektorů, takže se systém změní na 2 x 2 el. Yagi. Dipóly jsou napájeny s vzájemným fázovým posuvem 90° , získaným



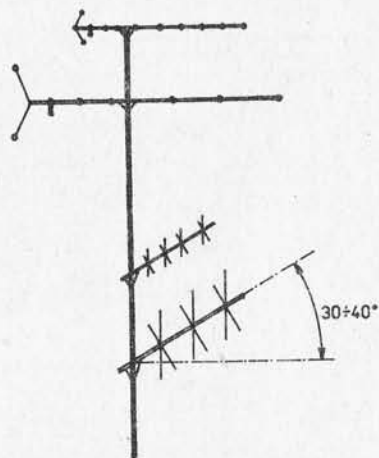
zpožďovacím čtvrtvlnným úsekem a přes čtvrtvlnný impedanční transformátor. Propracovanější provedení by vyžadovalo ještě symetrizovat napáječe. Dipóly mohou být také konstruovány jako



Obr.45. Napájení zkřížených skládaných dipólů

skládané. V tom případě se propojí čtvrtvlnným vedením 300 ohmů a impedanční transformátor musí být zhotoven z vedení o impedanci 150 ohmů. Napájecí systém může být řešen tak, že napáječe vedoucí k dipólům se liší vzájemně o délku čtvrtvlny při jinak libovolné délce /obr.45/.

Pro méně výkonné vysílače je nutné, aby doplňková anténa pro vyšší elevační úhly měla větší zisk. V takovém případě vyhoví 4 - 5 prvková anténa Yagi /pokud možno pro kruhovou polarizaci/, nainstalovaná se sklonem $30 - 40^\circ$ a natáčená společně s horizontální anténou /na společném otočném stožáru - obr.46/.



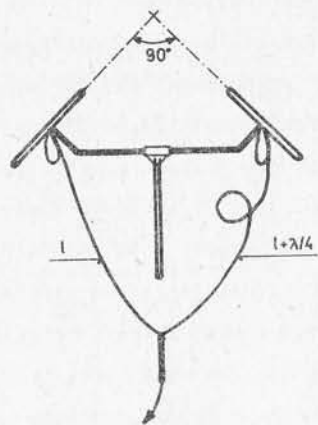
Obr.46. Skloněné doplňkové antény

Všechny doposud popsané antény byly určeny pro družice na nízké oběžné dráze. Převáděče obíhající na vysoké eliptické dráze budou vyžadovat větší vyzářený výkon /200-500 W ERP/ a proto i výkonnější anténní systémy. Bude proto třeba konstruovat dvojici antén /pro 145 a 435 MHz/, nejlépe pro kruhovou polarizaci, s ovládním v horizontální i vertikální poloze. Vzhledem k pomalému pohybu družice v apogeu bude změna směrování při průchodu apogem velmi pomalá a s anténami pevně zaměřenými na apogeu bude možné pracovat v intervalu ± 1 hodina, i déle.

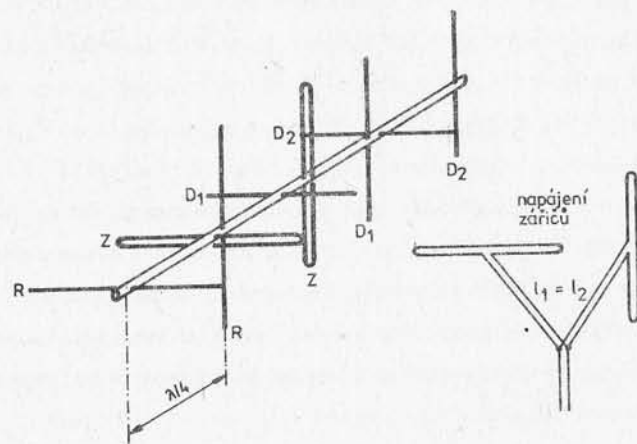
Pro družice, na nichž jsou instalovány antény pro kruhovou polarizaci, je nutné, aby pozemní stanice dodržovala správný smysl kruhové polarizace u svých anténních systémů. Použití polarizace s opačným smyslem přináší při přenosu ztrátu až 30 dB. Správný smysl je pro jednotlivé družice a převáděčové módy vždy předepsán a liší se pro jižní a severní polokouli /viz překlápění družice na obr.34/. Na anténě dle obr.43 je na horním ramenu dipólu D2 proud opožděn o 90° proti pravému ramenu dipólu D1 a vektor elektrické složky vyzařovaného elektromagnetického pole se otáčí ve vyznačeném směru. Při pohledu od antény do směru, kterým vyzařuje, má polarizace tedy smysl levotočivý /LHCP/. Smysl polarizace můžeme změnit na pravotočivý /RHCP/ přehozením napájení v bodech A, B, nebo prodloužením fázovacího úseku z délky čtvrtvlnné na délku $3/4$ lambda.

Antény typu Yagi pro kruhovou polarizaci se konstruuji dvěma způsoby. Podle prvního způsobu /obr.47/ jsou dvě identické antény umístěny blízko sebe a natočeny tak, aby prvky byly navzájem kolmé. Způsob jejich fázování je shodný s obr.43 nebo 45. Druhý konstrukční směr, elektricky dokonalejší, používá společného ráhna a zkřížených prvků. Fázový posuv 90° se zde raději získává vzájemným posunutím jedné soustavy prvků ve směru osy ráhna o délku čtvrtvlny. V takovém případě jsou zářiče obou dílčích směrovek propojeny stejně dlouhými napájecími. Změna smyslu polarizace se dosáhne prodloužením jednoho nebo druhého napáječe o délku půl vlny /obr.48/.

Klasickým typem antén pro kruhovou polarizaci jsou šroubovicové antény. Proti anténám Yagi jsou nepoměrně širokopásmovější /až 1:1,5/ a proto velmi vhodné pro UHF pásma, kde je kon-

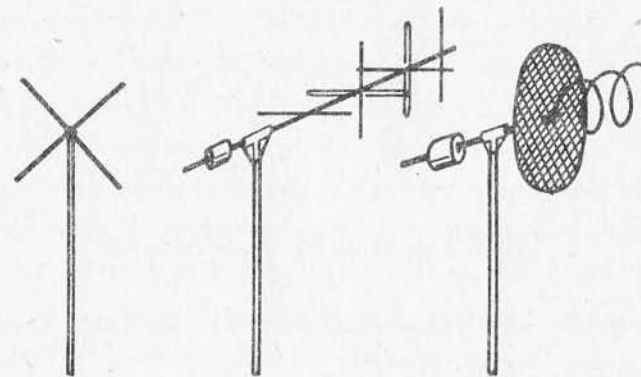


Obr.47. Dvě samostatné antény Yagi s napájením pro kruhovou polarizaci



Obr.48. Dvě antény se zkříženými prvky, vzájemně posunutě o čtvrt vlny

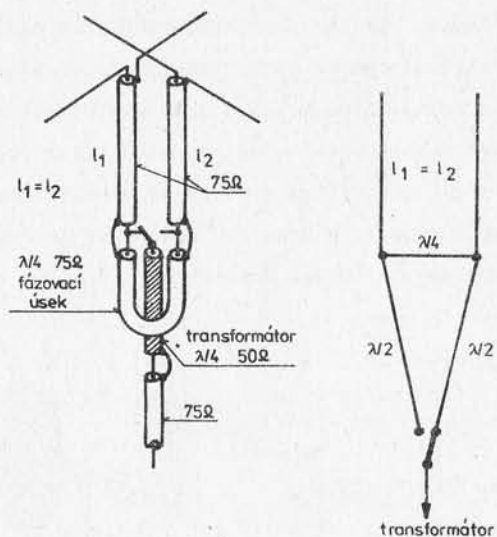
strukce antén Yagi již choulostivá. Smysl polarizace odpovídá smyslu stoupání závitů při pohledu ve směru vyzařování. Nevýhodou je, že smysl polarizace nelze přepínat vnějšími obvody. Anténu by bylo nutno vyrobit jako dvě šroubovice s protichůdným smyslem vinutí, ale taková konstrukce je již nepříjemně složitá. U antén s kruhovou polarizací jsou potíže se správným způsobem upevnění na stožár. Stožár by neměl být rovnoběžný s žádnou rovinou prvků antén Yagi a proto se prvky orientují šikmo $\pm 45^\circ$. Nejlepší způsob je uchycení antény až za reflektorem a to platí i pro šroubovicovou anténu /obr.49/.



Obr.49. Způsoby montáže antén pro kruhovou polarizaci

Závěrem je popsán systém pro přepínání smyslu kruhové polarizace /obr.50/. Zářiče jsou napájeny stejně dlouhými napájecími, které jsou na konci propojeny prodlužovací smyčkou dlouhou čtvrt vlny. Jediným přepínacím kontaktem lze prodlužovací smyčku vřadit do jednoho nebo druhého napáječe. Za přepínacím kontaktem

je zapojen čtvrtvlnný impedanční transformátor $Z_0 = 50 \text{ ohmů}$.
Když je to mechanicky výhodnější, může být přepínací kontakt



Obr.50. Přepínání smyslu kruhové polarizace

zapojen až na koncích dvou prodlužovacích půlvlnných vedení podle obr.50.

6.4. VLASTNÍ PROVOZ

Před zahájením prvních pokusů se přesvědčíme poslechem majákových vysílačů, že družice "poslouchá" naše predikce a je v předpověděnou dobu skutečně nad obzorem. Dále se přesvědčíme, že zaklíčování vysílače neovlivňuje žádným způsobem přijímač -

síla a čitelnost majákových signálů se nesmí změnit. Dokud neodstraníme případné závady, nemá význam pokračovat.

K prvním pokusům o zaslechnutí vlastních signálů si vybereme přelety, kdy je převáděč málo obsazen. Jsou to dopolední oběhy ve všedních dnech nebo časné ranní oběhy o víkendech. Vhodné jsou i přelety daleko na východu, kdy je převáděč mimo dosah silných západoevropských stanic. Také se samozřejmě poslechem telemetrie nebo provozu ubezpečíme, že převáděč je skutečně zapnut. Vysílací anténu zamíříme do směru určeného predikční pomůckou, vysílač naladíme do přibližného "souběhu" s přijímačem a při vysílání řady teček se snažíme přijímačem nalézt své signály. Jejich nalezením si zpřesníme vzájemnou kalibraci stupnic přijímače a vysílače, případně ověříme správnou funkci ladícího přípravku. Pokud uslyšíme své signály silněji než signály majákového vysílače, ihned snížíme výkon vysílače. Dále si ještě ověříme směřování antény a opravíme na optimum. Po zvládnutí popsaných operací můžeme zkusit zavolat výzvu, nebo se naladíme na kmitočet jiné stanice a krátce ji zavoláme.

Při provozu plně využíváme výhod duplexního charakteru spojení, protějšek můžeme kdykoliv přerušit tečkami nebo "BK". Proto je také provoz svižný a u dosavadních družic na nízké dráze i velmi stručný. Během provozu stále sledujeme, zda naše signály nejsou nadměrně silné a podle toho upravujeme výkon vysílače. Běžné antény se ziskem 10 - 12 dB stačí dosměřovat v intervalu 3 - 5 minut. Dále při provozu dodržujeme ochranné pásma kolem majákových kmitočtů a kmitočtový plán převáděčového pásma /viz část 5./.

6.5. PROVOZNÍ PREDIKCE

Provozní predikce odvozujeme z referenčních oběhů, které jsou publikovány v časopisech nebo sdělovány v různých zpravodajských vysíláních na KV. Referenčním oběhem rozumíme první oběh, který začíná po 00 UTC příslušného dne /první EQX/. Další EQX vypočítáme přičítáním oběžné doby a separace. Výpočty zakrouhlujeme na celé minuty a celé stupně, pomocí predikční mapky /resp. pomocí tabulek, řešením na počítači/ určíme časy využitelných přeletů a potřebné směřování antény. Přelety družic na nízkých retrográdních drahách se přibližně opakují následující den /nebo ob den/ s malou, několikaminutovou diferencí. To zjednodušuje vypracovávání predikcí, protože ani několikastupňová nepřesnost zem. délky EQX nezanášá do predikcí podstatnější chybu. Kromě této jednodenní nebo dvoudenní periody můžeme vysledovat pro jednotlivé družice i delší periody, v nichž se EQX a tedy i doby přeletů prakticky přesně opakují. Je proto možné jednou vypočítanou tabulku, třeba i včetně směřování antény, využít mnohokrát.

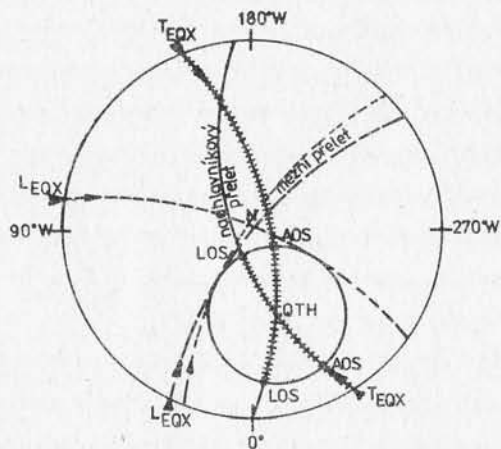
Publikované referenční oběhy nemusí být přesné. Zejména pro družice s výškou menší než 1300 km bývají zatíženy chybou, vyplývající z neustálého zrychlování oběžné doby /snášení družice/. Zrychlování nastává především brzdícím účinkem vysoké atmosféry Země a není pravidelné. Za zvýšené sluneční činnosti se ionosféra ohřívá a rozpíná do větších výšek a její brzdící účinek je potom větší. Proto nám nezbyvá než predikční údaje zpřesnit pozorováním AOS/LOS majákových vysílačů. Porovnáním pozorování s teoretickými časy získanými predikční pomůckou, získáme

diferenci, o kterou musíme posunout časové údaje EQX. Pro měření AOS/LOS zásadně používáme přelety blízké nadhlavníkovým. Tehdy družice vychází i zapadá rychle /kolmo na obzor/ a určení času AOS/LOS je spolehlivé. Vždy se snažíme měřit na majákovém vysílači nejvyššího kmitočtu, aby se zmenšila chyba ohybem vln v troposféře a ionosféře. U majákových vysílačů v pásmu 29 MHz nemá význam měřit AOS/LOS, které nastávají na severu v denní době. Následkem anomálního šíření v ionosféře nad polárními oblastmi je běžné, že maják slyšíme řadu minut před teoretickým AOS /nebo po LOS/. Stejnou opatrnost musíme zachovat i v období výskytu sporadické vrstvy E. Přesnost měření AOS/LOS samozřejmě také ovlivňuje kvalita našeho optického obzoru /vliv překážek, kladného či záporného převýšení/.

K zpřesnění predikcí můžeme také použít měření Dopplerova posuvu a pomocí něho zjišťovat, kdy družice vrcholí. Postup vyžaduje změřit v půlminutových až minutových intervalech změnu kmitočtu majákového vysílače a vynést graf podle obr.5. Okamžik vrcholení nastává uprostřed esovité křivky. Podle rozdílu f_{\min} a f_{\max} lze určit, zda jde o nadhlavníkový přelet /tehdy je rozdíl největší/, a tím i zpřesnit predikci zemské délky EQX. I při tomto měření jsou výsledky přesnější na vyšších kmitočtech, kde je Dopplerův posuv výraznější.

Zpřesňování zemské délky EQX je běžnými prostředky obtížné. Anténou s úzkým vyzářovacím diagramem lze zaměřit polohu družice při AOS nebo LOS, což přichází v úvahu hlavně u UHF. Přesnost bude sotva lepší než $\pm 5^\circ$. Měření zpřesníme pozorováním těch přeletů, kdy družice vystupuje jen krátce nad východní nebo západní obzor /tzn. mezní přelety/. Podle toho, zda družici

uslyšíme či nikoliv, usoudíme že poloha EQX nastala západněji nebo východněji od původně predikovaného údaje /obr.51/. Přesnost všech popsaných měření zlepšíme jejich opakováním a je velmi účelné, když při měření spolupracují dvě vzdálenější stanice.



Obr.51. Zpřesnění času a zem. délky křížení rovníku /EQX/

Pro družice na vysoké eliptické dráze se předpokládá, že referenční predikce budou udávány, spíše než údajem o EQX, zeměpisnou polohou a časem průchodu apogeem, což je poloha pro provoz nejzajímavější. V takovém případě je třeba pouze vypočítat azimutální a elevační úhel podle vzorců /22, 24, 25/, kde za h_A dosazujeme h_A ... výšku apogea. Vzorce se dále zjednoduší tím, že zeměpisná šířka apogea bude vždy stejná. Proto postačí vypočítat tabulku závislosti azimutu a elevace na zemské délce apogea. Navíc pomalý pohyb družice umožní její zaměření podle UHF majáku.

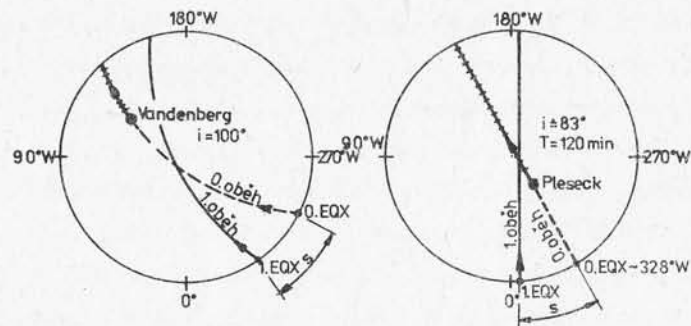
6.6. POČÁTEČNÍ PREDIKCE

Po vypuštění nové družice jsou vždy potíže se zjišťováním referenčních údajů pro predikce a často i oficiální údaje bývají nepřesné. Pomocí několika pozorování a s využitím navigační pomůcky OSCARLATOR můžeme potřebná data odvodit. Vycházíme přitom z toho, že jsou již předem známy alespoň některé plánované parametry dráhy /oběžná doba nebo výška dráhy, sklon dráhy/ a startovací místo.

Družice jsou vypuštěny ze startovacího místa /kosmodromu/ na oběžnou dráhu bez manévrování, takže stínová dráha vychází z místa kosmodromu. Raketa startuje v první fázi letu kolmo vzhůru a teprve 2. nebo 3. stupeň uděluje družici vodorovný impuls pro kruhovou dráhu /úvaha platí jen velmi zhruba/. Vzestupná dráha rakety trvá asi 3 - 5 minut, takže připočtením této doby k času startu získáme přibližně časový okamžik, kdy družice začíná oběžnou dráhu nad kosmodromem. Pomocí OSCARLATORu upraveného pro plánovanou oběžnou dobu a sklon dráhy pak určíme snadno počet minut potřebných k tomu, aby družice dospěla do bodu prvního křížení rovníku. Vycházejíce z l.EQX stanovíme slyšitelné přelety a poslechem kontrolujeme, jak předpověď souhlasí se skutečností. Postup určení l.EQX je naznačen na obr.52.

I když nevíme o družici vůbec nic, můžeme určit zhruba oběžnou dobu jako rozdíl mezi dvěma po sobě následujícími časy AOS nebo LOS. Porovnáním délky několika slyšitelných přeletů lze určit přibližně nadhlavníkový přelet /je z nich nejdelší/. Další, již podstatnější zpřesnění poskytne změření AOS/LOS dvou přibližně nadhlavníkových přeletů stejného smyslu /např. pře-

lety z jihu na sever/ s jednodenním odstupem. Ze zjištěné doby oběhu určíme přibližnou výšku vzorcem /14/, max. dosah vzorcem /11/, separaci drah vzorcem /16/ a pomocí OSCARLATORU získáme názor na pohyb družice a alespoň přibližné predikce pro první dny.



Obr.52. Určení prvního oběhu po startu

Pro úplnost jsou v tabulce 5. uvedeny zeměpisné souřadnice známých kosmodromů.

ZEMĚPISNÁ POLOHA KOSMODROMŮ		Tabul. 5.
Bajkonur	47° 22' N	65° 45' E
Kapustin Jar	48° 36' N	45° 48' E
Pleseck	62° 54' N	40° 10' E
Cape Canaveral	28° 37' N	180° 32' W
Vandenberg	34° 37' N	120° 36' W
Kourou /Fr.Guyana/	5° 15' N	52° 45' W

Radioamatérské družice byly zatím vypouštěny z Vandenbergu na dráhy retrogradní / $i = 97 - 102^\circ$ /, z Plesecku na dráhy přímé / $i = 82 - 83^\circ$ /.

7. DRUŽICE SOUČASNÉ A BUDOUCÍ

Na začátku roku 1982 je v provozu současně osm radioamatérských družic. Je naděje, že v činnosti vydrží ještě několik let a proto jsou uvedeny stručně jejich technické a provozní údaje. V závěru kapitoly jsou nastíněny družicové projekty nejbližších let.

7.1. AMSAT OSCAR 8

AOS je služebně nejstarší družicí a přesluhuje již plánovanou tříletou dobu života. Přesto je palubní zařízení včetně akumulátoru dosud v dobrém stavu.

Start: 5.3.1978 v 1754 UTC /Vandenberg/

Dráha: kruhová, polární, retrogradní, sklon $99,0019^\circ$,
výška /počáteční/ 910 km

Oběžná doba /počáteční/: 103,23536 min

Separace drah /počáteční/: $25,808073^\circ$ záp./oběh

Rozměry: 380 x 380 x 330 mm

Hmotnost: 27,2 kg

Dráha se postupně nepravidelně snižuje a oběžná doba zkracuje, současně se zmenšuje i separace drah. Při lineární aproximaci změn lze odvodit vztahy pro oběžnou dobu a separaci v závislosti na počtu oběhů N

$$T = 103,23536 - N. 2,5341 \cdot 10^{-6} \quad [\text{min}]$$

$$s = 25,808073 - N. 3,8947 \cdot 10^{-7} \quad [\text{deg záp./oběh}]$$

A08 má na palubě 2 lineární převaděče a 2 majákové vysílače:

Převaděč	Výkon	Trasa vzestupná	Trasa sestupná	
mód A	1-2W	145,850-145,950	29,400-29,500	MHz
polarizace		levotočivá	lineární	
maják	0,25W		29,402	MHz
mód J	1-2W	146,000-145,900	435,100-435,200	MHz
polarizace		pravotočivá	lineární	
maják	0,1W		435,095	MHz

Provozní rozvrh převaděčů byl několikrát měněn, v roce 1981 se ustálil takto:

pondělí, pátek mód A
úterý, čtvrtek mód A + J současně
sobota, neděle mód J
středa převaděče vypnuty

Oba majákové vysílače vysílají šestikanálovou telemetrii provozem A1 a rychlostí 100 zn./min. Telemetrie je popsána v odst. 5.3. Vnější vzhled a orientace antén je patrná z obr. 35. Na převaděči módu J vznikla po startu závada, takže výkon je jen čtvrtinový - asi 500 mW /TLM údaj 6. kanálu 620/. Signály na sestupné trase jsou proto dost slabé. Převaděč módu A pracuje stejně dobře jako tomu bylo na A06.

Z telemetrického vysílání je nejdůležitější 3.kanáel, který udává napětí palubního akumulátoru 16V/6Ah. Pokud poklesne údaj pod 50 /tj. asi 1,1V na článek/ je družice přeprnuta do mó-

du D - výhradně nabíjení. Při nadbytku energie jsou zapínány oba převaděče současně /mód A+J/.

7.2. A09 - UOSAT

UOSAT je první britskou radioamatérskou družicí. Na rozdíl od převaděčových družic UOSAT má poslání ryze vědeckovýzkumné, experimentální a výchovně vzdělávací. Družice je svým vybavením určena k studiu ionosféry, struktury geomagnetického pole a sluneční činnosti. Dále se na palubě ověřují některé nové systémy, mající i význam pro konstrukci budoucích družic /maják 10,45 GHz, rychlý přenos dat, palubní mikropočítače, digitální televize, syntezátor řeči, nový princip stabilizace v prostoru/.

Start: 6.10.1981 v 1127 UTC /Vandenberg/

Dráha: kruhová, polární, retrogradní, sklon $97,462^\circ$,
výška /počáteční/ 540 km

Oběžná doba /počáteční/: 95,4643 min

Separace drah /počáteční/: $23,8675^\circ$ záp./oběh

Dráha se následkem malé výšky snižuje ještě rychleji než dráha A08. Přibližné vztahy pro zkracování oběžné doby a separace jsou

$$T = 95,4643 - N. 1,366 \cdot 10^{-4} \quad [\text{min}]$$

$$s = 23,8675 - N. 2,387 \cdot 10^{-5} \quad [\text{deg.záp./oběh}]$$

Očekávaná délka života družice je asi 4 roky. Družice bude klestat stále rychleji a zanikne v hustých vrstvách atmosféry.

Celkový vzhled družice je znázorněn na obr.36. Je na něm patrné uspořádání rozvinutých antén. Ze spodní plošiny vycházejí 4 ramena turniketové antény pro 145 MHz. Táž anténa slouží i pro

435 MHz. Z horního víka vyčnívá 15 m dlouhá výsuvná tyč se závažím 2,5 kg pro gravitační stabilizaci polohy a šikmo směřují ramena KV dipólu o délce 2 x 2,5 m.

Správnou orientaci družice vůči Zemi zajišťuje systém aktivní magnetické a pasívní gravitační stabilizace. Polohu družice vyhodnocuje navigační tříosý magnetometr tím, že změřené vektory zemského magnetického pole porovnává s modelem pole uloženým v paměti počítače. Na základě vyhodnocení rozdílů je napájen systém elektromagnetů, které natáčejí postupně družici jako magnetickou střelku do správné polohy. Po tomto manévru, zaručujícím zamíření osy družice "-z" a přesností 2° na zemský střed, se vysune 15 m tyč se závažím, čímž se uskuteční pasívní gravitační stabilizace.

Činnost družice řídí dva palubní počítače, programovatelné i z pozemní řídicí stanice. Kromě ovládání provozu palubního zařízení se počítače mohou podílet na sběru a zpracování dat a spolupracují se syntezátorem řeči. K příjmu povelů ze Země slouží přijímače v pásmu 145 a 433 MHz.

Telemetrické vysílání obsahuje celkem 60 analogových kanálů a 45 digitálních stavů O/I. K dispozici je rozsáhlý sortiment formátů vysílání: 1200, 600, 300, 110, 75 Bd ASCII, 45,5 Bd RTTY, Morse 50 nebo 100 zn./min., syntetická řeč s kapacitou 120 anglických slov. Data mohou být vysílána na hlavním a technickém majáku současně různým formátem, maják na 2,46 GHz přejímá vysílání hlavního majáku. Při vysílání formátem Morse se přenáší údaje pouze prvních deseti nejdůležitějších kanálů s tímto významem:

Číslo kanálu	Měřená veličina	Rozsah	Kalibrace
00	Odběr sekund.počítače	0-1A	I=1,2.N [mA]
01	Proud slun.panelu +X	0-2A	I=1,5.N [mA]
02	1/2 napětí akumulátoru	0-10V	U=(N/100).1,01 [V]
03	Radiač.detektor 20 keV	0-5V	n=40 N.1,01
04	Radiač.detektor 40 keV	0-5V	n=40 N.1,01
05	Magnetometr v ose x	0-5V	U=(N/200).1,01 [V]
06	Magnetometr v ose y	0-5V	U=(N/200).1,01
07	Magnetometr v ose z	0-5V	U=(N/200).1,01
08	Teplota baterie	-30 +50°C	t=[(474-N)/5.]1,01
09	Teplota stěny +X	-30 +50°C	t=[(474-N)/5.]1,01

Vysílaný text vypadá takto: 00xxx 01xxx 02xxx ... až 09xxx. Skupina xxx představuje číselný údaj N.

Data přednášená rychlostí 1200 Bd jsou vysílána fázově synchronními tóny 1200 Hz /log0/ a 2400 Hz /log1/ provozem AFSK. Při ostatních rychlostech jsou tóny asynchronní a s opačným významem - 1200 Hz /log1/. Formát jednoho znaku ASCII je: 1 bit start, 7 datových bitů, 1 bit pro sudou paritu, 3 bity stop.

K pozorování ionosféry slouží 4 majákové KV vysílače o výkonu 100 mW, pracující na kmitočtech 7,050, 14,002, 21,002, 29,510 MHz. Mohou vysílat telemetrii provozem A1 nebo jen nosnou vlnu - A0. Každý z nich má svůj vlastní krystalový oscilátor. Na povel mohou být majáky 14, 21 a 29 MHz uvedeny pomocí syntezátoru do pevného fázového vztahu k 7 MHz oscilátoru, což umožní vyhodnocovat vzájemné fázové poměry signálů procházejících ionosférou.

Přehled VKV majákových vysílačů:

VHF - hlavní maják, UHF - technický maják, SHF - pokusný maják, MV - pokusný mikrovlnný maják.

	VHF	UHF	SHF	MV
kmítočet	145,825 MHz	435,025 MHz	2,401 GHz	10,47 GHz
výkon	350 mW	650 mW	125 mW	125 mW
modulace	NBFM ± 5 kHz	NBFM ± 5 kHz	NBFM ± 10 kHz	AØ
Doppl.posuv	$\pm 3,1$ kHz	$\pm 9,3$ kHz	$\pm 51,3$ kHz	± 223 kHz
anténa	turniket	turniket	šroubovice 3,5 závitů	štěrbiná 4 závitů
polarizace	levotočivá	levotočivá	levotočivá	levotočivá
zisk	+ 3 dB _i	+ 5 dB _i	+ 6,5 dB _i	+ 8 dB _i

Palubní televizní kamera snímá část zemského povrchu o rozloze 500 x 500 km přímo pod družicí. Kamera je osazena snímacím prvkem v pevné fázi - CCD. Obraz se skládá z 65 536 bodů /256x256/, přičemž gradační stupnice černá/bílá má 16 úrovní, tj. je vyjádřena čtyřmi bity. Náboje jednotlivých obrazových bodů CCD jsou digitalizovány do čtyřbitových slov, která jsou uložena do paměti. Odtud jsou pak vysílána rychlostí 1200 Bd, řádek po řádku. Vysílání celého snímku trvá asi 3,5 minuty. CCD je citlivý v oblasti viditelného a červeného světla, takže je částečně potlačen vliv zamlžení a oblačného přikrovu Země. Nejmenší rozlišitelný detail na zemském povrchu má rozměry 2x2 km.

UOSAT je vybaven několika aparaturami ke studiu ionosférického prostředí, sluneční činnosti a geomagnetického pole. Dva čítače radiačních částic registrují elektrony s energií vyšší než 20 resp. 40 keV a protony o dvacetinásobné energii. Data z čítačů částic jsou vysílána telemetrickými majáky /kanály O3 a O4/ buď jako střední údaj za pětisekundovou periodu v reálném čase, nebo v režimu jemného časového rozlišení jsou vzorkována v deseti 50 ms periodách během každé sekundy, uchována v mikropočítači a vysílána na povel ze Země. To dovoluže sledo-

vat vlastností prostředí v zajímavých oblastech - nad polárními čepičkami a aurorálním oválem.

Širokorozsahový tříosý magnetometr slouží k detekci a pozorování magnetických bouří a k mapování geomagnetického pole. V každé ose jsou měřeny hodnoty s hrubým a jemným rozlišením. Prvé z nich jsou vysílány na telemetrických kanálech O5, O6, O7 /osa x, y, z/.

7.3. DRUŽICE RS3 AŽ RS8

Na počest 40. výročí vítězství Rudé armády v moskevské bitvě byla dne 17.12.1981 vypuštěna jedinou raketou série šesti radioamatérských družic RS3 - RS8. Družice mají majákové vysílače v pásmu 29 MHz a čtyři z nich převáděče módu A - 145/29 MHz. Jednotlivé družice mají mírně odlišné oběžné doby, takže se na dráze se sklonem zhruba 83° postupně dostihují a předstihují a při vhodném rozložení družic na orbitu se vytvoří téměř souvislý komunikační kanál. Další novinkou jsou adaptivní automatické telegrafní odpovídače na palubě RS5 a RS7.

Dráhy družic jsou polární, téměř kruhové, přímé. Střední výška je zhruba 1658 km. Parametry určené začátkem roku 1982 jsou v následující tabulce.

Družice	Apogeum km	Perigeum km	Oběžná doba min	Separace deg W/orb.	Sklon deg
RS3	1688,0	1577,4	118,52025	29,75679	82,959
RS4	1691,5	1640,5	119,39679	29,97606	82,960
RS5	1689,9	1653,2	119,55572	30,01583	82,963
RS6	1690,9	1592,5	118,71899	29,80655	82,954
RS7	1688,9	1634,2	119,19576	29,92619	82,963
RS8	1693,4	1657,1	119,76628	30,06853	82,957

Převáděče jsou lineární, neinvertující. Mají citlivé přijímače, takže k provozu postačí 20 - 30 W ERP. Při provozu je dobře patrný vliv vlastní rotace družice, neboť na palubě jsou antény pro lineární polarizaci.

Kmitočtový plán převáděčů /kmitočet MHz/

Družice	Vzestupná trasa	Sestupná trasa	Majáky
RS3	-	-	29,321 /29,401/
RS4	-	-	29,360 /29,403/
RS5	145,910-145,950	29,410-29,450	29,452 /29,331/
RS6	145,910-145,950	29,410-29,450	29,453 /29,411/
RS7	145,960-146,000	29,460-29,500	29,501 /29,341/
RS8	145,960-146,000	29,460-29,500	29,502 /29,461/

Telegrafní odpovídače

RS5	145,826	29,331
RS7	145,840	29,340

Každá družice má dva přepínatelné majákové vysílače. Majáky označené závorkami jsou v provozu jen zřídka. Signály majáku RS3 a RS4 jsou znatelně silnější než signály ostatních majáků.

Majákové vysílače vysílají trvale telemetrii morseovkou provozem A1 a rychlostí 75 - 100 zn./min. Nejpomaleji vysílá RS5, nejrychleji RS8. Formáty telemetrického vysílání jsou následující:

RS3	EKxx	EDxx	EOxx	EGxx	EUxx	ESxx	EWxx	RS3	EKxx	...
RS4	EKxx	EDxx	EOxx	EGxx	EUxx	ESxx	EWxx	RS4	EKxx	...
RS4	SKxx	SDxx	SOxx	SGxx	SUxx	SSxx	SWxx			
RS5	EKxx	EDxx	EOxx	EGxx	EUxx	ESxx	EWxx	RS5	EKxx	...
RS5	SKxx	SDxx	SOxx	SGxx	SUxx	SSxx	SWxx			
RS5	UKxx	UDxx	UOxx	UGxx	UUxx	USxx	UWxx			
RS5	WKxx	WDxx	WOxx	WGxx	WUxx	WSxx	WWxx			
RS5	WKxx	WDxx	WOxx	WGxx	WUxx	WSxx	WWxx			

xx je dvoumístný číselný údaj, písmena označují telemetrický kanál. Družice RS6, 7, 8 vysílají telemetrii podobnou RS5, liší se jen identifikační značkou. U vysílání RS3, 5, 6, 7, 8 se vynechává první tečka prvního písmena ve skupině, když je některá palubní funkce mimo provoz. První skupiny telemetrie RS5 pak vypadají takto: Kxx IKxx AKxx MKxx. První telemetrický kanál po volacím znaku - kanál "K" udává výstupní výkon převáděče podle vztahu $P = 0,2 \cdot N^2$ [mW], kde N je číselný údaj xx. Při údajích 00 je převáděč vypnut.

Nejzajímavějším palubním zařízením jsou automatické telegrafní odpovídače - roboty. Když je robot v provozu, vysílá opakovaně asi v minutových intervalech všeobecnou výzvu /příklad pro RS5/:

"CQ CQ CQ DE RS5 QSU ON FQ 145830 KHZ K"

Pozemní stanice se musí naladit na udávaný kmitočet /pro RS5, je to správně 145826 kHz/ s přesností asi ± 2 kHz a zavolat robota přesně tímto způsobem:

"RS5 DE OKLXYZ +"

Během vysílání je zpětná kontrola /příposlech/, protože robot přijímané signály opakuje na sestupné trase. Rychlost vysílání není kritická, robot je adaptivní a přijme libovolné tempo mezi 70 - 120 zn./min. Pokud je vysílání pozemní stanice příliš pomalé, robot vyšle "QRQ", v opačném případě "QRS". Když přijímaný text neodpovídá očekávané struktuře, robot vyšle podle druhu chyby RPT, QRM nebo QRZ. Jakmile robot přijme formálně správné zavolání, odpoví tímto textem:

"OKLXYZ DE RS5 QSO NR xxx OKLXYZ DE RS5 QSO NR xxx OP
ROBOT TU FR QSO 73 SK"

a spojení je ukončeno. Číslo spojení xxx jsou průběžná od 001 do 999. Palubní deník, tj. značky korespondujících stanic s pořadovým číslem spojení, je uložen v paměti a na povel řídicí stanice je odvysílán.

Z dvanácti oběhů družice za jeden den je 9 až 10 přeletů využitelných. Maximální délka přeletu je asi 25 minut. Velký počet využitelných přeletů a celkem 5 družic /včetně AOS/ s různým EQX nás patrně přinutí přehodnotit dosavadní metody predikování polohy družic, protože příprava k provozu by byla dost precná. Zdá se, že zatím nejschůdnější cestou bude používání všesměrových antén a zjišťovat družici nad obzorem jen podle slyšitelnosti majákových vysílačů.

7.4. BUDOUCÍ PROJEKTY

Psát o budoucnosti radioamatérských družic je úkol dost nevděčný, protože je to obor rychle se rozvíjející. Mnoho publikovaných projektů se nedočkalo realizace, nebo došlo k změnám a zpožděním, naopak jiné projekty se uskutečnily velmi rychle.

Nejbližším známým a nejpřitažlivějším projektem je družice na vysoké eliptické dráze - Phase 3. Po neúspěšném startu Phase 3A je na léta 1982-83 připravován start zlepšené verze - Phase 3B. Družice bude vypuštěna raketou Ariane z kosmodromu Kourou nejdříve na tzv. parkovací dráhu geostacionárních družic $h_p = 200$ km, $h_A = 36.000$ km/. Dráha Phase 3B bude pak upravena přídatným raketovým motorkem, takže se zvětší výška perigea na 1500 km a sklon dráhy z počátečních 6° na 63° . Apogeum by pak mělo trvale nastávat asi nad 50° sev. zeměpisné šířky. Životnost

družice je plánována na 5 - 8 let. První exemplář Phase 3 bude mít převaděč typu 435/145 MHz. Jsou obavy, že převaděčové pásmo široké jen 150-180 kHz nebude stačit zájmu, protože v aktivním dosahu převaděče bude najednou až 80% celosvětové radioamatérské populace. Proto se intenzívně pracuje na vývoji převaděčů typu UHF/UHF se šířkou pásma 600 i více kHz.

Pro druhou polovinu 80. let se připravuje realizace kanadského projektu SYNCART s první družicí 4. generace. Družice by se měla pohybovat na dráze blízké geostacionární. Dále se uvažuje o systému tří geostacionárních družic, které by zajistily zcela globální družicovou komunikaci. Každá ze tří geostacionárních družic ponese tři navzájem kmotočtově navazující převaděče. Družice budou doplněny třemi pozemními převaděčovými stanicemi, umístěnými v mezilehlých bodech. Kmotočtový plán bude takový, že v každé třetině celého pásma bude možné pracovat s třetinou světa, obsluhovanou příslušnou družicí. Přirozeně, takové systémy mohou být realizovány výhradně na UHF/SHF pásmech.

Družicím na nízké kruhové oběžné dráze nebude ani potom odzvoňeno. Budou mít stále význam jako levný a relativně dostupný komunikační prostředek pro kratší vzdálenosti a zejména jako nástroj k zkoumání ionosféry a nejbližšího okolí Země.

A tak na závěr výhledu do budoucnosti i na závěr přednášky dovolte autorovi vyjádřit přesvědčení, že antény nás pozemšťanů budou stále častěji mířit do kosmu, aby přijímaly signály z vesmírných posílů stvořených lidským důmyslem a lidskýma rukama.

SEZNAM OBRAZKŮ A TABULEK

- Obr.1. Geometrie spojové trasy
- Obr.2. Vertikální vyzařovací diagram směrové antény nad zemí
- Obr.3. Šíření vln ionosférou na 29 MHz
- Obr.4. Účinná složka rychlosti pro Dopplerův posuv kmitočtu
- Obr.5. Časový průběh Dopplerova posuvu kmitočtu při přeletu
- Obr.6. Dopplerův posuv závisí na vzájemné poloze stanic
- Obr.7. Van Allenovy radiační pásy
- Obr.8. Kruhová a eliptická dráha
- Obr.9. Geometrie oběžné dráhy
- Obr.10. Dráha synchronní se Sluncem
- Obr.11. K výkladu separace drah
- Obr.12. Eliptická dráha Phase 3
- Obr.13. Pohyb po eliptické dráze / $T=11$ hod./
- Obr.14. Parametry eliptické dráhy v prostoru
- Obr.15. Význam argumentu perigea
- Obr.16. Stáčení přímky apsid
- Obr.17. Soustava geostacionárních družic
- Obr.18. Určení geometrických podmínek pro spojení mezi dvěma stanicemi
- Obr.19. K výpočtu zeměpisných souřadnic stínu družice /SSP/
- Obr.20. Retrogradní dráha v polární projekci a její konstrukce
- Obr.21. Přímá dráha v polární projekci
- Obr.22. Výpočet elevačního úhlu B
- Obr.23. Prostorové znázornění po výpočtu elevačního a azimutálního úhlu
- Obr.24. Predikční pomůcka OSCARLATOR
- Obr.25. Vývojový diagram programu pro predikci polohy družice na kruhové dráze
- Obr.26. Dráha družice Phase 3A v polární projekci
- Obr.27. Síť azimutálních čar v polární projekci
- Obr.28. Příklad pohybu družice Phase 3 na obloze

- Obr.29. Družice A06 a její souřadné osy
- Obr.30. Princip metody EER
- Obr.31. Obecný kmitočtový plán převáděčového pásma
- Obr.32. Kmitočtový plán módů A, B, J
- Obr.33. Družice A07 - orientace antén a stabilizačního magnetu
- Obr.34. Funkce pasívní magnetické stabilizace polohy družice A07
- Obr.35. Družice A08
- Obr.36. Družice A09-UOSAT
- Obr.37. Družice Phase 3
- Obr.38. Družice Phase 3 - orientace antén
- Obr.39. Ladicí přípravek
- Obr.40. Transceiver pro mód A
- Obr.41. Skloněný skládaný zářič
- Obr.42. Zkřížené dipóly pro eliptickou polarizaci
- Obr.43. Turniketová anténa s napájením pro levotočivou kruhovou polarizaci
- Obr.44. Vyzařovací diagram dipólů nad odraznou plochou
- Obr.45. Napájení zkřížených skládaných dipólů
- Obr.46. Skloněné doplňkové antény
- Obr.47. Dvě samostatné antény Yagi s napájením pro kruhovou polarizaci
- Obr.48. Dvě antény se zkříženými prvky, vzájemně posunuté o čtvrt vlny
- Obr.49. Způsoby montáže antén pro kruhovou polarizaci
- Obr.50. Přepínání smyslu kruhové polarizace
- Obr.51. Zpřesnění času a zeměpisné délky křížení rovníku /EQX/
- Obr.52. Určení prvního oběhu po startu

- Tabulka 1. Útlum trasy mezi isotropickými zářiči
- Tabulka 2. Dráhové parametry družic druhé generace
- Tabulka 3. Geostacionární družice
- Tabulka 4. Přehled převáděčových módů
- Tabulka 5. Zeměpisné polohy kosmodromů

SEZNAM LITERATURY

1. Anderle, P.: Základy nebeské mechaniky, Academia, Praha 1971
2. Ďurovič, S.: Rozhlasová družicová služba, NADAS, Praha 1979
3. Charčenko, K.: Antény s eliptičeskou polarizací, Radio č.7/1979, str.12
4. Mišouš, K., Pírko, Z.: Základy astronautiky, Academia, Praha 1974
5. Šternfeld, A.: Umělé družice, Orbis, Praha 1958
6. Vanýsek, V.: Základy astronomie a astrofyziky, Academia, Praha 1980
7. Volf, I.: Pohyb umělých družic, SPN, Praha 1974
8. Hvězdářská ročenka, roč. 1972 až 1981, Academia, Praha
9. OK1NW: Všesměrové vertikální antény ze ziskem, Radioamatérský zpravodaj, č.11-12/1981, str.7

Články z časopisů:

Radioamatérský zpravodaj, roč. 1972-1981
Letectví a kosmonautika, roč. 1975-1981
Amsat Newsletter, roč.1971-1979
Orbit, roč. 1980, 1981
Radiocommunication /RSGB/, roč. 1972-1981
Radio /SSSR/, roč. 1973-1981
QST Amateur Radio, roč. 1972-1980
cq - DL, roč. 1976-1981

ÚČELOVÁ EDICE ÚV SVAZARMU

Knižnice zájmové, branně technické a sportovní činnosti

Řídí Nina Erbenová

PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY

RADIOAMATÉRSKÉ DRUŽICE

Vydal ústřední výbor Svazu pro spolupráci s armádou v Praze roku 1983 jako svou 2577. publikaci, 124 stran, 52 obrázků, 5 tabulek.

Napsal Ing. Karel Jordan OK1BMW
Lektoroval Ing. Vladimír Geryk
Obrázky nakreslil Ing. Jiří Štěpán
Návrh obálky František Prouza
Odpovědná redaktorka Ilona Manolevská
Grafická úprava Miloslav Torn

Náklad 3 000 výtisků. Publikace je vydána pro vnitřní potřebu Svazarmu a rozšiřuje se bezplatně.

Vytiskly Východočeské tiskárny Jihlava.