

Devadesát let rozhlasu – něco z historie českých a moravských vysílačů

Ing. Pavel Gregora
Praha

Dne 18. května letošního roku oslavil Český rozhlas devadesáté výročí zahájení vysílání pro veřejnost. Sdělovací prostředky tomu věnují přiměřenou pozornost a byla uspořádána celá řada vzpomínkových akcí. Zajímavé ovšem je, že se převážně mluví o programu, studiové technice, autorech, režisérech, účinkujících, redaktorech a jaksi se zapomíná na to, že rozhlas by nebyl možný bez sítě rozhlasových vysílačů a bez práce armády technických pracovníků, kteří tyto vysílače konstruovali a provozovali. Sám pojem „vysílač“ je veřejností dost často chápán zkresleně a řada lidí si pod ním představuje anténní stožár, případně budovu, ve které je umístěna technologie. Protože se naše konference nazývá „Radiokomunikace“ rozhodl přípravný výbor, aby alespoň zde bylo při příležitosti výročí věnováno trochu pozornosti vysílačové technologii. Potíž ovšem spočívá v tom, že je vyloučeno v krátkosti probrat celou historii vývoje rozhlasových vysílačů a jejich výstavby na území našeho státu. Proto se v následujícím textu omezíme pouze na některé zajímavosti, které by mohly v souvislosti s uvedeným výročím čtenáře trochu zaujmout.

1. Historický přehled

V tabulce 1 uvádím stručný přehled výstavby sítě rozhlasových vysílačů na území České republiky v období do konce druhé světové války.

rok	vysílač	výkon [kW]	výrobce
1923	Kbely	1	Huth
1925	Strašnice	0,5	SFR
1925	Brno Komárov	1	Huth
1926	Strašnice	5	Western Electric
1926	Brno Komárov	2,4	Marconi
1929	Ostrava Svinov	11	Standard Electric
1931	Brno Komárov	32	Marconi
1931	Liblice	120	Standard Electric
1939	Mělník	100	Standard Electric
1940	Dobrochov	200	Radioslavia
1943	Jihlava	5	Radioslavia
1944	Č.Budějovice	5	Radioslavia
1944	Plzeň	0,5	?

Tabulka 1: Přehled výstavby sítě rozhlasových vysílačů do konce II. světové války

V závěru druhé světové války ustupující německá armáda některé vysílače vážně poškodila nebo úplně zničila. Byly to vysílače Dobrochov, Svinov a Komárov. Všechny

tyto vysílače se podařilo relativně rychle obnovit s využitím použitelných součástek a ořistného materiálu. Poněkud kuriózní byl případ obnovy Dobrochova. Traduje se totiž, že na území republiky byl nalezen vlak, který obsahoval kompletní stokilowattový vysílač připravený k montáži. A ten tedy byl instalován v Dobrochově.

Po ukončení války nastalo nejprve nedlouhé období likvidace škod a obnovy hospodářství republiky a tak teprve koncem čtyřicátých let nastává doba intenzivní výstavby sítě rozhlasových vysílačů, kdy šlo o to zajistit na celém území dostatečně kvalitní signál alespoň dvou celostátních programů a navíc i programů regionálních. Kromě toho šlo i o posílení vysílání do zahraničí. Tato etapa je popsána v tabulce 2.

rok	vysílač	výkon [kW]	výrobce
1949	Liberec Vratislavice	0,5	?
1950	K.Vary Stará Role	30	Tesla
1950	Přeštice	30	Tesla
1951	Liberec Vratislavice	3	Tesla
1952	Topolná	2 × 200	Tesla
1952	Ústí n/L	3	Tesla
1953	Radomyšl	30	Tesla
1953	Hradec Králové	3	Tesla
1953	Litomyšl	2 × 100 a 2 × 150	Tesla
1954	Domamil	30	Tesla
1954	Zbraslav	2 × 30	Tesla
1954	Rejvíz	3	Tesla
1954	Mnichovo Hradiště	20	Tesla
1959	Liblice	2 × 150	Tesla
1971	Mělník	200	Tesla
1974	Mělník	+200	Tesla
1976	Liblice	2 × 750	Tesla
1978	Topolná	2 × 750	Tesla

Tabulka 2: Přehled výstavby sítě rozhlasových vysílačů od konce II. světové války

Nutno dodat, že prakticky u všech vysílacích středisek s jedním vysílačem 30 kW nebo 3 kW byl v krátkém čase dostavěn další vysílač stejného výkonu sloužící (bohužel) jako rušička známého kmitočtu 719 kHz vysílače Svobodná Evropa. Teprve po ukončení rušení v osmdesátých letech byly tyto vysílače použity k rozhlasovému vysílání zpravidla sdruženě s původním vysílačem.

Další výrazná etapa v síti rozhlasového vysílání se odehrála v letech 1960-1963, kdy se uskutečnila výstavba sítě VKV rozhlasu vysílači Tesla FM4 a FM10 o výkonu 4 a 8 kW. Tato síť pracovala v pásmu 66-73 MHz. Vysílače byly instalovány na hlavních televizních vysílačích. Šlo o střediska: Praha – Cukrák, České Budějovice – Klet, Plzeň – Krašov, Ústí n/L – Buková Hora, Hradec Králové – Krásné, Brno – Kojál, Ostrava – Hošťálkovice.

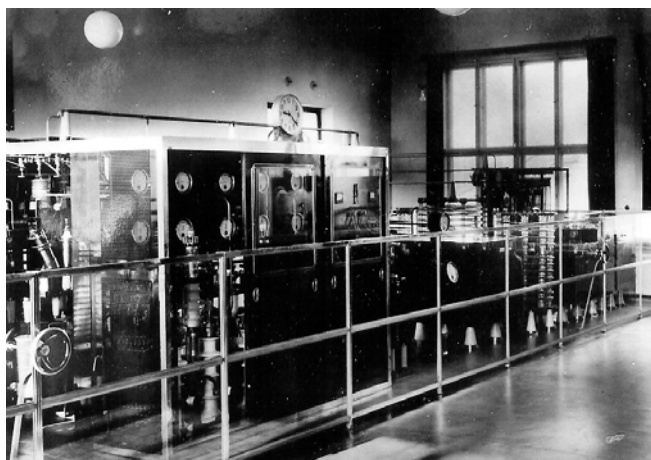
V roce 1973 byl zahájen přechod na stereofonní vysílání. Všechny dosavadní vysílače Tesla byly posupně nahrazeny vysílači polské firmy Zarat (poté, co se nepodařilo uspokojivě odzkoušet stereo vysílače Tesla). V souvislosti se změnou politického uspořádání se konečně též přešlo na celoevropské VKV pásmo 88-108 MHz.

Další významná etapa nastala po roce 1990, kdy bylo povoleno soukromé rozhlasové vysílání. V poměrně krátké době vzniklo více než 80 malých VKV FM vysílačů o výkonu v řádu stovek W až jednotek kW.

V poslední době kraluje v oblasti vysílání všeho druhu digitalizace. A tak je dnes možné přijímat rozhlas v televizních multiplexech, na internetu a konečně (od roku 2012) i v síti digitálního rozhlasu T-DAB.

2. Modulace

V prvních dobách rozhlasového vysílání byla prakticky použitelná pouze amplitudová modulace. Protože levná a jednoduchá varianta mřížková modulace neposkytovala dostatečnou kvalitu, byla už u prvních uvedených vysílačů aplikována modulace anodová (Heisingova) s jedinou modulační elektronikou a modulační tlumivkou. Protože u anodové modulace musí modulátor dodávat podstatnou část výkonu modulovaného vysokofrekvenčního stupně, neodvažovali se tehdy konstruktéři budovat nízkofrekvenční zesilovač o výkonu srovnatelného s celkovým výkonem vysílače. Řešili tedy modulaci v některém vysokofrekvenčním stupni malého výkonu, který byl následován jedním nebo několika lineárními zesilovači, kterými byl dosažen požadovaný výkon vysílače. Poslední vysílač této koncepce byl slavný 120 kW vysílač v Liblicích, který v této podobě sloužil celých 28 let, obázek 1.



Obrázek 1: Vysílač Liblice 120kW

Uvedené řešení však mělo dvě velké nevýhody. Lineární vysokofrekvenční zesilovače nemohly pracovat ve třídě C a měly proto nevelkou účinnost. Kromě toho jejich linearita nebyla tak dokonalá, aby mohlo být dosaženo nelineární zkreslení pod 10%. Proto se již ve třicátých letech začalo přecházet k modulaci v koncovém stupni. To ovšem vyžadovalo nízkofrekvenční zesilovač schopný dodat výkon rovný polovině příkonu koncového vysokofrekvenčního stupně. Jediné rozumné řešení tohoto problému byl dvojčinný zesilovač s výstupním (modulačním) transformátorem. Takový zesilovač již ze své podstaty dosahoval lepší kvalitativní parametry a navíc (v dalším vývoji) dovoľoval použít zápornou zpětnou vazbu ke zlepšení parametrů. Pokud je mi známo, byl prvním takto koncipovaným vysílačem Mělník 100 kW z roku 1939. Postupem doby se zapojení modulátoru výrazně zlepšilo odstraněním transformátorové vazby mezi jednotlivými stupni a zařazením katodového sledovače, což dovoľilo podstatně zvýšit stupeň zpětné vazby a tak docílit výborné kvalitativní parametry modulátoru (zkreslení kolem 1 %, hluk výrazně lepší než -60 dB). Takto byly řešeny veškeré naše AM vysílače od roku 1950 až do konce výstavby v roce 1978.



Obrázek 2: Modulátor Doubrochov 100 kW

Pro úplnost je dobré zmínit ještě poslední pokus o zlepšení modulátoru AM rozhlasových vysílačů. Šlo o tzv. modulátor třídy D, který používal v nf stupni šířkovou pulzní modulaci. To umožnilo zvýšit účinnost modulátoru až k 90%. Tesla se vývojem

tohoto systému zabývala koncem sedmdesátých let. Byl vyroben a odzkoušen prototyp vysílače, ale pro zařazení do výroby bylo již příliš pozdě.

Vývoj AM rozhlasových vysílačů sledoval mimo jiné i zvýšení energetické účinnosti, která u nejmodernějších typů dosahovala hodnot nad 50 %. U klasické AM se dvěma postranními pásmy je značná energetická redundance: zatímco pro úplný přenos informace stačí jediné postranní pásmo, vysílají rozhlasové vysílače (vlastně zbytečně) ještě nosnou a druhé postranní pásmo. Proto byly vyvinuty systémy, u nichž jsou nosná a jedno postranní pásmo potlačeny. Potíž ovšem spočívá v tom, že pro příjem je nutné použít speciální přijímače. Nicméně v sedmdesátých letech si nezávisle na sobě odborníci některých firem (mimo jiné též v české republice) uvědomilo, že by byl možný určitý kompromis. Ten by spočíval v tom, že by se úroveň nosné regulovala tak, aby pouze dostačovala k nezkresenému příjmu běžným rozhlasovým přijímačem. Tedy např. při tiché hudbě by mohla nosná (představující největší složku výkonu vysílače) dosáhnout zlomku jmenovité hodnoty. Potíž ovšem byla v rychlé a okamžité regulaci anodového napětí koncového stupně. Tuto potíž se podařilo odstranit instalací zpoždovací linky do modulačního řetězu a dynamickou regulací mřížkové řízených výbojkových nebo později polovodičových napájecích zdrojů. Tak byl vytvořen systém řízené nosné (DCC), který je dnes běžně využíván u velkých rozhlasových vysílačů. Při té příležitosti nemohu nezpomenout na zuřivou reakci pracovníků ČSAV, kteří pečovali o přesnost časového znamení ve vysílání, když zjistili, že jim pracovníci radiokomunikací signál zpožďují o cca 160 ms.

Velmi významným krokem v rozvoji sítě zemského rozhlasového vysílání bylo zavedení kmitočtové modulace. Ta má proti klasické AM velmi podstatné výhody. Jednak umožňuje dosáhnout podstatně lepší kvalitativní parametry, je odolnější proti nejrůznějším druhům rušení a konečně znamená značné provozní (zejména energetické) úspory. Jak bylo uvedeno v tabulce, síť kmitočtově modulovaných vysílačů se počala budovat v šedesátých letech. První generace modulátorů však příliš nepotěšila provozní pracovníky. Požadavek dostatečné stability kmitočtu umožňoval tehdy pouze serrasoid, který využíval souvislost kmitočtové a fázové modulace. Přístroj pracoval tak, že krystalem získaný kmitočet byl fázově modulován a následně „transformován“ na kmitočtovou modulaci. Bohužel to vyžadovalo modulaci na velmi nízkém (několik desítek kHz) kmitočtu a následné mohutné násobení do VKV pásma. A dlouhodobá stabilita násobičů byla téměř neřešitelným problémem. Nápravu přinesla teprve aplikace fázového závěsu, který se dodnes využívá v řadě obvodových řešení.

Další významný krok přinesla digitální modulace, která je účastníkům pardubické konference dostatečně známá. Ta se uplatňuje jak v internetovém rozhlasu, tak v rozhlasovém vysílání v televizních multiplexech, tak i v poslední době v síti T-DAB.

3. Elektronky a chlazení

Základním aktivním prvkem vysílačů byly po největší část dvacátého století elektronky. Z nich nejzajímavější byly pochopitelně elektronky velkých výkonů. Zde museli

konstruktéři řešit zejména způsob odvádění ztrátového tepla a obecně odolnost použitých materiálů proti vlivům vysokých teplot a vysokých frekvencí. Asi do výkonu 1 kW bylo možné počítat s odvodem tepla sáláním a problém se řešil dostatečně objemnou anodou a velkou baňkou ze speciálního skla. Rychlý rozvoj ovšem vyžadoval vyšší výkony a tak se jako optimální zvolilo řešení s vnější anodou chlazenou vodou. Přitom ovšem bylo potřebné vyřešit kvalitní sváry skla s kovem a dostatečnou izolaci chladičho systému od napájecího napětí. Jako katody byl používán čistý wolfram. Prakticky až do konce druhé světové války byly téměř výhradně tyto elektronky britské nebo německé proveniencí.

Velmi rychle po ukončení války ale vznikly v řadě států výroby výkonových elektronek. Bylo tomu tak i v české republice, kde vznikla výroba ve vršovickém objektu bývalé Radioslavie pod názvem Tesla Vršovice. Zde se podařilo rychle navázat na předválečné světové výrobky a po celé následující období dodával tento podnik téměř všechny výkonové elektronky do českých vysílačů. Ustálilo se provedení (od 1,5 kW) s vnější anodou, přičemž od 2 kW je anoda umístěna dole a nahoře je skleněná baňka, kterou procházejí přívody žhavení a mřížek. Od anodové ztráty 2 kW jde výhradně o nucené chlazení vzduchem nebo vodou. U nejmodernějších elektronek bylo sklo nahrazeno keramikou.

Čistý wolfram jako katoda má sice některé výhody, avšak pro správnou funkci potřebuje velmi vysokou teplotu a tedy i značný žhavicí příkon. Vysoká teplota omezuje životnost elektronky. Proto došlo koncem padesátých let k malé revoluci, při níž se jako katoda počal používat thoriovaný wolfram. Tím došlo k úspoře žhavení i k prodloužení životnosti. Jako příklad možno uvést tehdy největší vysílací triodu RD 150, která v původním provedení vyžadovala žhavení cca 34 V/470 A při emisi 100 A, zatímco s ThW potřebovala pouze 18,5 V/365 A a dosáhla vyšší emise 130 A.

Výrobce elektronek vždy vyžadoval přesné dodržování žhavicího napětí, a proto byly všechny vysílače vybaveny regulátory v podobě výkonových reostatů. Postupem doby se však přešlo na modernější regulaci polovodičovými regulátory, které mimo jiné dovolovaly i větší rozsah regulace. Proto se jako zlepšovací návrh objevila myšlenka, zda by nebylo účelné nastavovat žhavení v jednotlivých stupních tak, aby se dosáhlo pouze potřebné emise. Protože už byly k dispozici měřiče emise (určené ke kontrole stavu elektronek) a výpočet požadovaného špičkového anodového proudu je poměrně jednoduchý, bylo možné tuto myšlenku realizovat. Úspěch byl značný: byly případy, kdy životnost elektronek přesáhla 100 000 hodin, což způsobilo výrobci elektronek vrásky na čele. Přesto však se dnes tato metoda všeobecně nepoužívá.

Na závěr uvádím pro zajímavost některé parametry největší vysílací elektronky vyráběné Teslou. Jde o triodu RD 250 VM, která má anodovou ztrátu 250 kW, žhavení 17 V/680 A a emisní proud 380 A. Jako všechny elektronky posledních generací nemá skleněnou baňku, nýbrž keramický koaxiální zátav. Hmotnost této lampy je 73 kg. Používá se na našich největších vysílačích o výkonu 750 kW v Liblicích a na Topolné.

Jak už bylo uvedeno, větší výkony vyžadovaly vždy nucené chlazení. Všechny větší vysílače od roku 1932 až do roku 1954 byly výhradně vybaveny vodním chlazením. Jako chladicí medium bylo nutné použít destilovanou vodu. Požadované průtoky vody nejsou u klasického vodního chlazení nikterak malé. Tak např. uvedená elektronka RD 150 YB vyžadovala průtok 150l/min. Proto vycházelo chladicí příslušenství rozměrné a energeticky náročné. Výrobci se tedy snažili přejít na chlazení vzduchem, a to i u poměrně značných výkonů. Tak téměř všechny vysílače vyrobené Teslou od padesátých let (převážně SRV 30) byly opatřeny tímto jednodušším chladicím systémem. Podařilo se dokonce aplikovat vzduchové chlazení u tehdy největších vysílačů SRV 150 provozovaných v Litomyšli a v Liblicích. V sedmdesátých letech se ale objevily elektronky, u kterých se ke chlazení využilo skupenského tepla chladicí kapaliny – odparné chlazení – vapotrony. Protože skupenské teplo je mnohonásobně větší než teplo specifické, vyplynuly z toho podstatně menší nároky na průtok. Jediný problém, který museli vývojáři vyřešit, byl optimální tvar anody, který musel bezpodmínečně vyloučit tvorbu bublin. Jakákoli bublina vede totiž k okamžitému lokálnímu přehřátí a následné ztrátě vakua. Kuriózní, i když zcela logický je naprostý zákaz čistění chladicího systému saponáty. Vzniklá pěna by totiž vedla k naprosté katastrofě.

4. Napájecí zdroje

Každý vysílač je pochopitelně konzumentem elektrické energie. Vzhledem k tomu, že vždy obsahuje bloky různé výkonové úrovně, bývá i napájecí část rozdělena do několika částí. I tato část rozhlasových vysílačů prošla během doby určitým vývojem. Společným znakem všech napáječů u vysílačů byla okolnost, že musely dodávat stejnosměrné a většinou dobře filtrované napětí. To bylo poměrně snadno realizovatelné u nižších výkonových úrovní využitím vakuových usměrňovacích elektronek nebo pevnolátkových usměrňovačů (selen, kuprox). Se stoupaním výkonů však nastávaly problémy. Ty byly zprvu řešeny stejnosměrnými dynamy, takže např. liblický vysílač obsahoval ve své strojovně generátor mřížkového předpětí 800 V, pomocných anodových napětí 1000 V a 5000 V a žhavicího napětí 24 V/1000 A, a to všechno zdvojeno pro omezení poruchovosti. Zdroje hlavní anody však takovým způsobem proveditelné nebyly a zde nastupovala různá řešení. V prvních etapách se jeví jako nejvhodnější usměrňovače rtuťové. V Liblicích to bylo provedeno soustavou skleněných třífázových „chobotnic“ umístěných v ocelových nádobách naplněných olejem. Přitom bylo zapojeno 8 kusů těchto výbojek do série pro celkové napětí 18kV/24 A (tedy 432kW). U následujících velkých vysílačů se od točivých strojůš (s výjimkou žhavení) upustilo a zdroje nižších napětí využily diody buď vakuové, nebo plněné plynem. Hlavní usměrňovač byl vybaven rtuťovým kotlem (mutátorem). Takto byl vybaven Dobrochov – obrázek 3, a Mělník. Kotlové usměrňovače měly výhodu v tom, že je bylo možné plynule řídit fázovou regulací řídicích impulzů a byly (v případě dobré údržby) velmi spolehlivé a téměř nezničitelné. To se např. projevilo při zničení Dobrochova Němci, kdy oba kotle tuto devastaci přežily a mnoho dalších let sloužily k napájení nového

vysílače. Výjimkou z této koncepce byla dlouhovlnná Topolná (2×200 kW), kde byly v hlavním usměrňovači (zcela výjimečně) použity vakuové diody. Protože účinnost napájecího zdroje této koncepce je podstatně nižší než u jiných typů, volil výrobce zcela ojedinělé zapojení tzv. dvoucestného třífázového usměrňovače, kde se účinnost zvýšila za cenu podstatného zvýšení inverzního napětí. Použití vakuových diod s wolframovými katodami zde dovolilo plynule regulovat anodové napětí regulací žhavení.



Obrázek 3: Kotlový usměrňovač Dobrochov 100 kW

Po druhé světové válce rtuťové kotle jaksi vyšly z módy a ve zdrojích vysílačů se přešlo na plynem plněné elektronky. U menších výkonů to byly diody a výkon se reguloval jednoduchým přepínáním hvězda/trojúhelník (SRV 30, KUV 18/30), u větších se používaly tyratrony S15/40, se kterými byla možná plynulá regulace. Pokud se týče žhavení, poslední stejnosměrně žhavený typ byl KRV 100 v Litomyšli, kde byly ještě instalovány točivé generátory, které dodávaly přes 1 000 A. Ty však byly později nahrazeny germaniovými usměrňovači.

K zásadní úpravě zdrojů došlo při instalaci největších vysílačů SRV 200 a SRV 50. U nich bylo nutné řešit ochranu moderních vysílacích elektronek (RD 70 VL, RD 250 VM) před poškozením mřížek následkem zkratu. Staré pravidlo praví, že každá vysílací elektronka má právo na občasný zkrat. Jde však o to, aby se při té příležitosti do tohoto zkratu nevybila veškerá energie napájecí sítě a LC filtru. Zatímco zkratový

proud sítě stoupá poměrně pomaleji a lze ho odpojit dostatečně rychlým odpojovačem, energie filtru může mít zničující efekt. U těchto vysílačů byly tyratronové usměrňovače nahrazeny křemíkovými tyristory a napájecí okruhy byly doplněny o rychlozkratovače a rychloodpojovače. Princip je jednoduchý: Proudů jednotlivých elektronek hlídají čidla, která v případě zkratu prostřednictvím elektroniky uvedou do činnosti rychlozkratovač na výstupu filtru, který zamezí škodlivému nárůstu proudu příslušnou elektronkou. Jako rychlozkratovač se dá použít jiskřiště se zapalovací elektrodou, vodíkový tyratron, případně ignitron. Je jasné, že tento systém musí fungovat extrémně rychle v řádu mikrosekund. Funkce rychlé ochrany se kontroluje tzv. drátkovou zkouškou, kdy se přímo mezi anodu a katodu elektronky zvláštním stykačem připojí tenký drátek o předepsaném průměru. Je-li vše v pořádku, nesmí tento drátek shořet. Jiná věc ovšem je doprovodný rachot a blesky, které tuto zkoušku doprovázejí.

V moderní době dochází k důsledné tranzistorizaci vysílačů všech typů a tím k výraznému poklesu používaných napětí. Odpadá pravidlo, že výkonové stupně mají právo na zkraty, používá se poměrně malé napětí a dá se v podstatě vystačit s běžným jištěním.

5. Kmitočty

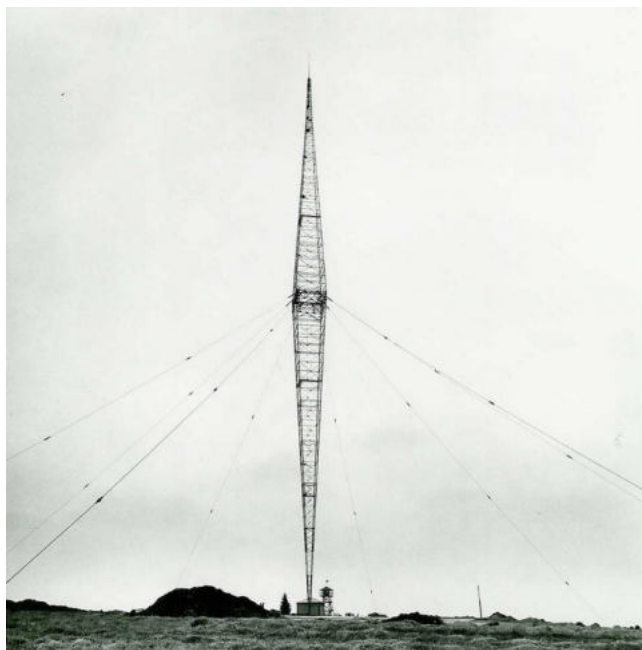
Při rychlé výstavbě rozhlasových vysílačů ve dvacátých letech dvacátého století se záhy ukázalo, že bude nezbytné nějakým způsobem koordinovat kmitočty v jednotlivých regionech. První kmitočtový plán pro Evropu vznikl v Paříži v roce 1926. Následoval v roce 1929 první tzv. pražský kmitočtový plán a situace byla dále řešena, až konečně vznikl v roce 1948 tzv. Kodaňský plán, který účinkoval několik desetiletí. S koordinací kmitočtů ovšem souvisely i požadavky na dostatečnou stabilitu. V prvních několika desetiletích to bylo řešeno výhradně krystalovými oscilátory, u nichž byl krystalový rezonátor umístěn ve více či méně dokonalém termostatu. Tak byla dosahována požadovaná stabilita ± 10 Hz. Situace se ovšem změnila po válce, kdy se začalo vysílat v synchronním provozu několika vysílačů. Aby bylo omezeno vzájemné rušení, bylo nutné zvýšit stabilitu alespoň na $\pm 0,1$ Hz. V první etapě to v české republice bylo řešeno budiči francouzské firmy SFR, kterým se běžně říkalo synchron. Ty obsahovaly vakuový krystal umístěný ve velmi dokonalém dvojitým termostatu. Kromě toho stojan obsahoval přijímač s osciloskopem, který dovoľoval každý den před zahájením vysílání srovnat kmitočty s řídicím vysílačem sítě.

Situace se změnila v osmdesátých letech, kdy se na trhu objevily syntezátory kmitočtu schopné generovat požadovaný kmitočty z přivedeného normálu. V praxi to bylo řešeno tak, že na jednotlivých vysílačích byly instalovány sekundární normály (zprvu Elektročas OTR) zavěšené na celostátním etalonu OMA 50 (který byl vysílán dlouhovlnným vysílačem z Liblic) a jejich výstup napájel syntezátory. Tato technologie se ještě zdokonalovala, takže koncem osmdesátých let tak byly vybaveny všechny rozhlasové vysílače. Po ukončení provozu OMA v devadesátých letech se přešlo na německý normál DCF 77,5 kHz.

Půvabná situace nastala koncem roku 1978, kdy byla provedena optimalizace kmitočtového plánu, při níž bylo nutné posunout kmitočty SV a DV vysílačů o 1 kHz. Syntézátory první generace byly konstruovány jako pevně naprogramované a přeladění u nich nebylo proveditelné. Naštěstí byla tato úprava avizována s dostatečným předstihem, takže bylo možné včas obstarat potřebný počet přeladitelných zařízení nové generace.

6. Antény

Žádný vysílač se neobejde bez vysílací antény. Ta má podstatný vliv na účinnost vysílání a proto již v počátku rozhlasu byla anténám věnována náležitá pozornost. První uvedené vysílače používaly drátové T antény nesené dvěma stožáry. Poslední takové řešení bylo použito v roce 1931 u vysílače Liblice. Zde ovšem šlo o anténu náležitě mohutnosti nesenou dvěma ocelovými věžemi o výšce 150 m a rozpětí 250 m. V následujícím období se přešlo na svislé unipóly příhradové nebo trubkové konstrukce. První a zároveň nejvyšší anténa tohoto typu byla uvedena do provozu v roce 1937 v Liblicích, obrázek 4. Šlo o antifadingovou anténu typu Blaw-Knox o výšce 247 m, kterou bylo možné ještě prodlužovat výsuvnou tyčí o délce 30 m. Podle názoru většiny pamětníků šlo o nejkrásnější anténu v republice a mnozí dodnes litujeme, že byla (celkem zbytečně) v roce 1974 demontována.



Obrázek 4: Anténa Blaw-Knox Liblice

Jistou kuriozitou byl po roce 1945 kotlový stožár v Dobrochově, vytvořený jako dlouhá nýtovaná trubka. Při bouřlivé výstavbě v padesátých letech byly aplikovány jednak trubkové stožáry 60 m a jednak příhradové stožáry s kapacitním „kloboukem“ o výšce 107 m. Vzhledem k provozovaným kmitočtům většinou nešlo o antifadingovou délku, takže vyzářovací diagramy měly výraznou prostorovou složku. Všechny tyto antény byly napájeny v patě a vyžadovaly tedy instalaci patního izolátoru, který musel nést váhu stožáru zvýšenou o tah příslušných kotevních lan. Tak např. zatímco liblický stožár vážil 192 tun, byl tlak na patní izolátor firmy Lapp téměř dvojnásobný.

Samostatnou kapitolou u kotvených anténních stožárů je vždy otázka elektrické izolace ocelových kotevních lan. Ta musejí být z důvodu indukce dělena kotevními izolátory na několik sekcí. Přitom ale velmi vadí, pokud některá sekce má na obou koncích izolátor a tedy není pro statickou elektřinu uzemněna. Takový úsek kotvy se podle počasí dokáže statickou nabít do té míry, že na některém izolátoru přeskočí výboj a oblouk je nadále živěn indukcí vysokofrekvenční energie. Nutno říci, že tento problém nebyl až do současné doby uspokojivě vyřešen. V Českých Radiokomunikacích jsme vyzkoušeli jediné (podle našeho názoru) dokonalé řešení. Místo ocelových lan jsme použili plastová lana Parafil vytvořená z kewlarových vláken. Překotvili jsme tak příhradový stožár vysílače Mělník. Kotvení staticky naprosto vyhovělo, po stránce dynamické jsme pouze museli vyřešit vibrace způsobené větrem

V šedesátých letech se pracovníci Výzkumného ústavu spojů (pozdějšího Testcomu) věnovali studiu antén s řízeným proudovým obložením (též rukávových antén). Výsledkem bylo patentované řešení, které bylo postupně uplatněno na několika velkých rozhlasových vysílačích. Šlo o Liblice, Mělník, Dobrochov a Topolnou. Zde všude byly demontovány dosavadní antény (a bohužel i parafílem překotvený Mělník) a nahrazeny novými typy. Nutno říci, že patrně nešlo o výrazně výhodné řešení. Antény s řízeným proudovým obložením (ARPO) sice umožňují do jisté míry regulovat vertikální vyzářovací diagram, nevyžadují instalovat patní izolátor, avšak jsou oproti klasickým unipólům výrazně složitější, vzhledem k vyššímu Q pracují s mnohem vyššími vysokofrekvenčními napětími i proudy a jsou značně úzkopásmové. To se projevuje už při přenosu postranních pásem ($\pm 4,5$ kHz) a při změnách počasí.

7. Závěr

Přestože dnes máme možnost přijímat programy nejruznějším způsobem (televize, internet, rozhlas, tisk) nezdá se, že by rozhlasové vysílání nějak významně ztrácelo své posluchače. Řada lidí je využívá jako rychlý zdroj informací, jiní jako hudební kulisu a další jako zdroj uměleckých zážitků. I když by k těmto účelům mohly např. posloužit chytré mobilní telefony nebo televizory, zdá se, že přece jen je člověku příjemná skříňka, která na nás odkudsi z kouta povídá a která se v případě potřeby dá lehce přenést a poslouží třeba na dovolené nebo na služební cestě. Jiná věc ovšem spočívá v tom, jak do té skříňky rozhlasový program dopravit. Jestliže v současné době ve večerních hodinách prozkoumáme středovlnné rozhlasové pásmo, zjistíme, že je dosud v provo-

zu řada výkonných AM rozhlasových vysílačů. Přesto se ale zdá, že jde o jakýsi relikv s omezenou životností. Pro rozhlasové vysílání dnes optimálně vyhovují sítě FM vysílačů, které s využitím RDS zaručí i velkoplošné pokrytí. Ovšem i zde lze čekat další vývoj směrem k digitálnímu systému DAB. Otázkou je, zda se v klasických kmitočtových pásmech prosadí moderní digitální vysílače DRM, které jsou už v některých zemích v provozu. Zdá se však, že tato technologie nalezne uplatnění spíše tam, kde je třeba jediným programem pokrýt neobyčejně velké území (např. střední Evropu). Vyplývá z toho, že tzv. „těžká radiotechnika“, ve které jsme pracovali s desítkou kV, stovkami kW a stovkami A a které jsme věnovali podstatnou část tohoto článku, nenávratně mizí. Avšak to je vývoj. Nelze než popřát rozhlasovému vysílání další úspěšný život.

Šedesát let televize – z historie výroby tuzemských TV vysílačů

Ing. Miloš Husník

Praha

Tradice výroby výkonových vysílačů v podniku, který dnes nese jméno TESLA, a. s. a sídlí v Praze-Hloubětíně, sahá do třicátých let 20. století. Tehdy šlo o klasické výkonové amplitudově modulované rozhlasové vysílače vyráběné ve firmě Radioslavia a později v pobočce firmy MARCONI v Praze-Vysočanech. V tomto příspěvku se popisuje etapa mnohem pozdější, a sice rozvoj výroby vysílačů televizních a FM rozhlasových, k němuž dochází počátkem let padesátých po přenesení výroby vysílačů do objektů dnešní TESLY v Hloubětíně.

V roce 1953 bylo v Československu zahájeno televizní vysílání a TESLA-Hloubětín se do této akce zapojila vývojem a uvedením do provozu našeho prvního televizního vysílače v Praze na Petříně.

Stojí za připomenutí jak dobová situace ovlivnila začátky vývoje tohoto vysílače. Kolem roku 1951 si vývojoví inženýři uvědomovali, že příchod televize je aktuální a začali s přípravnými pracemi. Jenže tato činnost ještě nebyla v plánu a v tehdejší době tuhého plánování se muselo čekat, až situaci pochopí vyšší politické orgány. A ředitel přípravné práce výslovně zakázal. Proto zvláště ing. Vacek pokračoval dál víceméně tajně. Jenže brzy nato do Československa přijel sovětský poradce s tím, že nám pomůže zavést televizi a naučí nás konstruovat televizní vysílače. Pamětníci vzpomínají, že poradce se choval dost arogantně, ale důsledkem bylo, že vývoj TV vysílačů se dostal do plánu. Poradce dlouho nepobyl, protože poznal, že vývojáři v Tesle to zvládnou sami. Na tomto místě připomeňme jména alespoň některých: pánové ing. Klika, ing. Vackář, dr. Frk, ing. Vacek, ing. Ševčík a nedlouho poté ing. Ďurovič.

1. Vysílače pro I. TV pásmo

Vývojáři TESLY měli již tehdy bohaté zkušenosti i s rozhlasovými krátkovlnnými vysílači, takže pracovní kmitočty petřínského vysílače (49,75 MHz) byl s hlediska frekvence extrapolací v poměru asi 1:2. Bylo však třeba řešit zcela nové problémy: širokopásmové zesilování v oblasti obrazových i vysokých frekvencí, zachování jednotlivých úrovní televizního signálu, sdružování kanálů obrazu a zvuku, potlačení spodního postranního pásma, frekvenční modulaci ve zvukové části vysílače a další.

Bylo třeba si např. zvyknout ladit výkonové stupně ne primárně na nejvyšší výkon, ale na požadovanou šířku pásma a při tom zachovat snesitelnou kompresi synchronimpulzů, způsobenou nelinearitou výkonového zesilovače. Onen vysílač na Petříně pracoval s výkonem 5 kW. V koncovém stupni byl osazen dvěma elektronkami, původně určenými pro krátkovlnné vysílače. Elektronky vyráběla TESLA-Vršovice, a svoji kvalitou byly velmi blízké těm, které se v té době vyráběly v zahraničí. Vysílač

pracoval s přímou tj. mřížkovou modulací koncového obrazového stupně a byl chlazen vzduchem.

Pro sdružování kanálů obrazu a zvuku byla použita tehdy často používaná metoda, kdy dva vzájemně kolmo orientované anténní zářiče byly napájeny z ramen můstku, jehož úhlopříčka byla buzena symetrizovaným signálem kanálu obrazu a současně nesymetrickým signálem kanálu zvuku. Fázové poměry byly nastaveny tak, že k plnohodnotnému sdružení obou signálů došlo až po vyzáření do prostoru. Zmíněné antény se nazývaly turniketové, nebo superturnstile.

K této televizně-pionýrské době patřil ještě vývoj měřících přístrojů, určených speciálně pro potřeby měření vysílačů, neboť jak známo nákup takových přístrojů ze zahraničí byl omezený. Později byl ustanoven speciální sektor vývoje měřících přístrojů, který se velmi osvědčil.

V roce 1955 byl dokončen vývoj dalšího typu vysílače, pracujícího rovněž v I. TV pásmu. Ten měl výkon 10 kW, a byl určen pro stanice v Ostravě, Bratislavě a dalších lokalitách. V souladu se soudobými tendencemi vysílač používal v kanále obrazu modulaci na nízké úrovni (asi 100 W) s následujícím trojstupňovým širokopásmovým zesílením. Záměr byl zřejmý: modulaci na nízké úrovni lze provést snadněji a kvalitněji. Avšak naladění následujícího několikastupňového širokopásmového zesilovače bez tehdy ještě neexistujících rozmítaných měřících přístrojů (analyzátorů) bylo nesmírně obtížné, neboť se měřilo pod po bodu.

Na vysvětlenou: problémy, které se při realizaci zesilovačů se zvyšujícími frekvencemi obecně vyskytují, jsou u výkonových zesilovačů ještě naléhavější. Vyplývá to z toho, že výkonové elektronky nemohou mít malé rozměry a že tedy spoj ke každé elektrodě má nezanedbatelnou reaktanci a že tedy skutečné schéma obvodů je mnohem složitější než na výkresu. Cirkulační vf proudy dosahují i desítek ampér a to vyvolává obtížné předvídatelné zpětnovazební působení.

V roce 1961 byl spuštěn náš nejvýkonnější vysílač pro I. TV pásmo, vyvinutý speciálně pro Cukrák. Pracoval s výkonem 30 kW a s přímou modulací koncového stupně. Pro zajímavost co znamená mřížková modulace takového koncového stupně. Rozkmit modulujícího videosignálu tu byl asi 1 000 V sync-bílá. Přitom video se přivádí do místa, které musí být vysokofrekvenčně uzemněno (jde o zesilovač s uzemněnou mřížkou), takže videosignál přichází na kapacitu několik set pikofaradů. Proto i proud vyšších videofrekvencí při plném rozkmitu dosahuje několika ampér. Takový videozesilovač byl tvořen paralelně pracujícími elektronkami v zapojení bočnickově řízeného katodového sledovače. Elektronky použité v koncovém videozesilovači měly anodovou ztrátu 1 kW. Jejich anoda byla uvnitř skleněné baňky, takže byla chlazena radiací a při provozu mírně žhnula.

Ačkoliv zmíněný vysílač zdaleka nebyl konstruován pro barevnou televizi, protože to v době jeho vzniku nebylo aktuální, později po nevelkých úpravách byl schopen

vysílat docela kvalitní barevný signál. Stojí za zmínku, že jeden kus tohoto vysílače pracoval na Cukráku po rekordní dobu v letech 1961-1996, tedy 35 let.

Po delší přestávce, až v 90. letech jsme se v TESLE k I. TV pásmu opět vrátili a to 25kW vysílačem (typ I. TV 25 F), nahrazujícím zmíněný, již dosluhující vysílač na Cukráku. Ten nový je osazen elektronkou YL 1630, dodávanou firmou Richardson spolu s příslušnými obvody speciálně pro danou elektronku vyvinutými. Proti poškození vnitřními přeskoky je elektronka chráněna jiskrovou ochranou, která včas vybijí energii filtračního kondenzátoru. Elektronka je pouze v koncovém stupni obrazového zesilovače. Budiče i celý zvukový trakt je tranzistorizovaný. Proto jsme tento vysílač považovali za „pěťadvaceti-kilowattovou jednolampovku“. Budiče byly od francouzské firmy VÉLEC, se kterou sektor televize tehdy spolupracoval.

2. Vysílače pro III. TV pásmo:

Rozšiřující se síť TV vysílačů nutila využívat vyšší, tedy třetí TV pásmo, tj. kmitočty kolem 200 MHz. Je to oblast kmitočtů, která již vyžaduje důsledný přechod na koaxiální typ rezonančních obvodů výkonových zesilovačů. TESLA-Vršovice proto vyvinula příslušnou koaxiální elektronku (tetrodu) s typovým označením RE5XN, anodovou ztrátou 5 kW a vzduchovým chlazením. V TESLE-Hloubětín pak byl vyvinut vysílač o výkonu 10kW. Tohoto výkonu bylo dosaženo sloučením výkonů dvou elektronek. Spojení jejich vstupů i výstupů bylo tehdy tzv. „natvrdo“ a proto ladění takové dvojice bylo dost obtížné. Teprve v pozdějším vývoji byly používány hybridní sdružovací 3 dB můstky, které dvojici slučovaných zesilovačů dobře oddělila. Modulován byl koncový stupeň. Ke slučování kanálů obrazu a zvuku byl použit kruhový sdružovač typu $6\lambda/4$. Počínaje rokem 1959 těmito vysílači byla doplněna základní síť prvního TV programu v Československu, a to počínaje lokalitou Kojál.

V době vývoje tohoto vysílače jsme již měli více znalostí, a mohli se tak zaměřit na zdokonalování kvalitativních ukazatelů. Jedním z nejdůležitějších parametrů u televizních vysílačů (vedle výkonu) je kvalita impulzové odezvy, protože ta se nejnápadněji projeví na kvalitě zobrazeného obrázku jako nepřirozené zvýraznění kontur. Tento parametr je silně ovlivněn předepsanými amplitudově-frekvenčními charakteristikami dvojice vysílač-přijímač.

Pro připomenutí: zvláštností televizního vysílacího systému analogové televize je vysílání s částečně potlačeným spodním postranním pásmem a příjem přijímačem, který má nikoliv širokopásmovou, ale přesně definovanou amplitudovou charakteristiku s 50% potlačením amplitudy na nosné frekvenci na skloněné části charakteristiky. Takovému přijímači říkáme Nyquistův přijímač. Tvarování strmých charakteristik jak vysílače tak přijímače pomocí klasických pasivních obvodů nutně vede k velkému zkreslení fáze a tedy i skupinového zpoždění. To je příčinou zkreslení impulzové odezvy, a proto je nutné zkreslení skupinového zpoždění korigovat. Protože parametr impulzové odezvy je definován vždy ve dvojici vysílač-přijímač, byl v roce 1959 vyvinut i příslušný měrný Nyquistův přijímač. V té době jsme poprvé mohli změřit skutečný

průběh skupinového zpoždění vysílač-přijímač a získat tak podklad pro návrh korektoru tohoto parametru.

Vývoj obvodů pro korekci skupinového zpoždění televizního vysílače probíhal v Tesle-Hloubětín od roku 1997 pod vedením ing. Ďuroviče. Fázové korektory sestávaly z řetězu čtyř pasivních LC článků all-pass typu přemostěné T. Při návrhu korektoru se vycházelo z charakteristiky vysílač-přijímač, naměřené měřičem skupinového zpoždění Wandel-Goltermann a tato charakteristika byla v několika málo krocích aproximována příslušným rozložením nul a pólů. Odtud pak byly vypočteny elementy filtru.

Vážným problémem pasivních korektorů je nemožnost jejich jemného dostavení. Je totiž vyloučeno, aby jednou navržený korektor vyhovoval i v opakované výrobě protože tolerance na výslednou charakteristiku skupinového zpoždění celku vysílač-měřicí přijímač je poměrně přísná (± 50 ns, dnes spíše ± 35 ns). Zprvu se to řešilo instalací např. tří přepínatelných korektorů s mírně odlišnou charakteristikou. Nesmírné zlepšení proto přinesla pozdější doba, kdy do videoobvodů a později i mezifrekvenčních obvodů vysílače bylo možno použít tranzistory. Ty umožnily realizaci aktivních, plynule nastavitelných fázových korektorů, což vedlo k výraznému zkvalitnění impulzové odezvy.

První TV vysílač z hloubětínské Tesly, vybavený korektorem skupinového zpoždění, byl právě zmíněný vysílač pro Kojál, daný do provozu roku 1959.

Poznámka: Později, od začátku 90. let, se začaly aplikovat filtry s povrchovou akustickou vlnou [SAW-filtry], jež mají povahu filtrů transverzálních. Byly nasazovány jak v budičích vysílačů, tak v přijímačích. Problémy spojené s fázovým zkreslením se tím velice zjednodušily, neboť tyto filtry samy negenerují zkreslení fázové.

Začátkem 60. let se objevila možnost dodávek velkého množství vysílačů do tehdejšího SSSR. Z technických jednání vyplynulo, že sovětská strana požaduje jinou koncepci vysílače s hlediska rezervování než bylo zvykem v Československu, konkrétně vždy dvojitý vysílač, tj. dva vysílače pracující paralelně. Protože již tehdy šlo o získání tohoto velkého trhu a navíc šlo o čas, TESLA pro první období převzala licenční výrobu v Leningradě vyvinutého vysílače o výkonu 5 kW pro III. pásmo, nazývaného IGLA, rok 1962. Vysílač byl technicky na slušné úrovni, avšak konstrukčně složitý a výrobně velmi pracný. Proto TESLA záhy připravuje vlastní vysílač stejné koncepce. Ten dostal jméno ZONA. Obchodně byl vysílač velmi úspěšný a postupem času došlo k dalším inovacím, takže mluvíme o vysílačích ZONA I., ZONA II., ZONA III. Vysílač ZONA I., rok 1967, byl opět výhradně čs. vývojem a byl to poslední vysílač této řady osazený ještě plně elektronkami. ZONA II., rok 1976, již měla rozsáhlou část budiče osazenou tranzistory, a byla plně přizpůsobena přenosu barevného signálu. V ZONE III., rok 1984, již byl aplikován princip modulace na mezifrekvenci (viz dále). Byl tu využit celotranzistorový budič, vyvinutý v programu vývoje vysílačů tzv. třetí generace. Tranzistorizace tu pokročila natolik, že celý zvukový kanál byl polovodičový a vysílač byl

v každém polokompletu osazen pouze jedinou elektronkou. Všechny generace vysílačů ZONA byly vybaveny automatickým přepínáním na rezervu. Do konce roku 1990 bylo do zemí tehdejšího SSSR dodáno asi 500 kusů vysílačů ZONA všech tří generací a asi 200 kusů televizních vysílačů dalších typů.

Sdružovače kanálů obrazu a zvuku u právě zmíněných vysílačů již byly dvoumístkového typu s identickými reaktancemi v mezilehlých ramenech. To vedlo k tomu, že výkonové stupně pracovaly do reálné složky impedance v širokém pásmu frekvencí, což výkonovému zesilovači svědčí.

V roce 1970 byl zmíněný typ nahrazen novějším, s typovým označením III. TV 10 (nazývaný též „FLORA“), o výkonu 10 kW a s odvozeným typem o výkonu 2 kW. Pokročilejší konstrukcí se podařilo výrazně zmenšit rozměry a byl vyvinut také ve variantě pro II TV pásmo pro Královu Holu.

Další vývojový krok byl učiněn začátkem 80. let vývojem vysílače pro III. TV pásmo patřícího do tzv. třetí generace. Hlavními rysy této generace bylo a použití vysokoziskové elektronky RE 12 XM, vyvinuté v TESLE-Vršovice a aplikace mezifrekvenční modulace. Při tomto způsobu modulace se moduluje na pevné mezifrekvenci (zde 38,0 MHz) a používá se vyvážený modulátor, čímž se dosáhne velmi dobré linearity. Promodulovaná mezifrekvence se poté směšuje na frekvenci kanálu. Významnou systémovou předností je, že část korekcí (skupinového zpoždění, nelinearity a dalších) se provádí na vysoké frekvenci (mezifrekvenci) a tedy podle pravidla zrcadlové symetrie vůči stupňům, kde ke zkreslení dochází.

3. Vysílače pro UHF pásmo

Zavádění druhého TV programu v roce 1970 si vynutilo využívat vyšší TV pásmo (IV. a V. pásmo, tedy UHF pásmo) v rozsahu frekvencí 470 MHz až 630 MHz, později 790 MHz. To vede k dalším náročnějším technologiím, při čemž rozhodujícím momentem je existence výkonového zesilovacího prvku pro tyto frekvence. V té době se ve světě používají jednak speciální, pro tyto frekvence vyvinuté elektronky (triody a tetrody), jednak klystrony (v malé míře i elektronky s postupnou vlnou). Ukázalo se, že v tehdejších našich podmínkách lze s větším úspěchem vyrobit spíše klystron.

Ukažme si v čem spočívá problém výkonových mřížkových elektronek. Na frekvencích UHF pásem je délka čtvrtvlny přibližně 10 cm. Délka mřížkového systému koaxiální elektronky musí být podstatně kratší než tato délka, jinak v napětovém uzlu by část katody nebyla vybudena. Veškerá aktivita katody se tedy soustřeďuje do délky 3-4 cm, a je tedy u výkonových elektronek velmi vytížena. Mřížka je vzdálena 0,6-0,8 mm od katody, která je žhavana na teplotu kolem 9000 °C. Tento systém, zatížený jak vodičným tak cirkulačním proudem je velmi ohrožen tepelně co do rozměrové stability a tím i stability parametrů. Technologicky se v 70. letech v Československu tento problém nepodařilo dostatečně vyřešit. K úspěšnému vyřešení došlo v TESLE-Vršovice až v 80. letech, a to aplikací válcových, laserem popalovaných mřížek z tepelně odolného

pyrolitického grafitu. Tato elektronka byla vyvinuta když už o technologii pro UHF bylo rozhodnuto ve prospěch klystronů, ale velmi dobře se uplatnila její verze pro nižší frekvence a ta byla s úspěchem tak použita ve vysílačích třetí generace, jak je popsáno výše.

U klystronu z principu jeho funkce plyne, že vzdálenosti mezi elektrodami jsou větší, katoda není namáhána vysokofrekvenčními proudy a technologicky je to tedy elektronka snáze zvládnutelná. Platíme za to ovšem cenu, spočívající v nižší účinnosti, větších rozměrech a nutnosti používat napájecí napětí kolem 20 kV. Příznivou vlastností je velké zesílení, 30 až 40 dB. To má výhodu mj. v tom, že to ulehčuje tranzistorizaci budičů a pak to umožňuje přenést filtr postranního pásma před klystron, tedy na nízkou výkonovou úroveň.

V TESLE-Vakuová technika bylo postupně několik typů klystronů vyvinuto: 5 kW se vzduchovým chlazením, dva typy 10 kW s vodním chlazením a dva typy 20 kW s odparným chlazením. Všechny se čtyřmi rezonančními dutinami, vyjma posledního z nich, který měl pět dutin a zvětšenou účinnost (až 40 % v synchronuovni).

První klystronový vysílač byl ještě celoelektronkový avšak byl již přizpůsoben vysílání barevné televize. Začal vysílat na Petříně roce 1970 výkonem 15 kW. Vývojově následující typ (IV. TV 20 B) byl obdobný avšak s větším výkonem (20 kW) a některými inovacemi. Oba byly osazeny třemi klystrony (dva v kanále obrazu a jeden v kanále zvuku), byly vnitřně rezervované a byly chlazeny vodou.

Následoval vývoj vysílačů typu IV. TV 5 (výkon 5 kW, vzduchové chlazení, rok 1973) a IV. TV 20 D (výkon 20 kW, odparné chlazení, rok 1975). Oba typy používaly stejný budič, který vyjma posledního stupně byl osazen plně tranzistory. Vysílače byly dvouklystronové a měly ještě přímou modulaci. Byly vyvinuty pro bezobslužný provoz, s možností automatického přepínání na rezervu a s dálkovým ovládním.

Nejvýkonnější televizní vysílač vyrobený v TESLE-Hloubětín byl vysílač pro IV. TV pásmo, měl výkon 40 kW a byl osazen třemi klystrony (rok 1976) a byl instalován na Cukráku.

Posledním (rok 1990) v oblasti klystronových vysílačů TESLA je typ IV. TV 20 E. Jde o dvouklystronový vysílač s odparným chlazením, který má řadu progresivních vlastností. Vyznačuje se zvětšenou energetickou účinností (5-tidutinový klystron s nízkou perveancí), aplikací modulace na mezifrekvenci, možností vysílat dvojí zvukový doprovod (na přidavné nosné 242 kHz pod normální zvukovou nosnou), možností vysílat teletext, pracovat s přesným offsetem nosného kmitočtu (s odchylkou max. ± 1 Hz) a umožňující dálkové ovládní po sběrnici.

Byl vyvinut i 20 kW televizní vysílač, osazený elektronkou tzv. IOT (*Inductive Output Tube*) od anglické firma EEV v Chelmsfordu. Jde o dvoudutinový klystron, který pracuje nikoliv s rychlostní, ale hustotní modulací elektronového svazku. To je skutečně zařazením klasické řídicí mřížky do blízkosti katody a buzení vstupním signálem. Vysoké kolektorové napětí této elektronky (běžně 28 kV) může být příčinou občasných

vnitřních přeskoků. Takový výboj by pro jemnou strukturu mřížky byl fatální a proto se tyto elektronky vybavují velmi rychlou ochranou (crowbar), jež v případě přeskoku stačí prostřednictvím tyatronu včas vybit energii filtračního kondenzátoru. Vysílače s IOT se vyznačují vysokou účinností a lze je provozovat se společným zesilováním obrazu a zvuku, takže odpadá výkonový trakt pro zvuk i sdružovač obrazu a zvuku. Doba vzniku tohoto vysílače (polovina 90. let) však spadá do období nástupu celotranzistorových vysílačů, a těm provozovatelé postupně dávají přednost.



Obrázek 1: Dvojice 20kW klystronových televizních vysílačů TESLA IV. TV 20E

V 90. letech byla doplněna řada vysílačů pro UHF pásmo i o tetrodové vysílače. Šlo o výkony 5, 10 a 2×10 kW. Tentokrát už bylo použítí tetrody schůdné neboť bylo možné použít elektronku THOMSON i s příslušnými originálními obvody. Proti vnitřním přeskokům jsou elektronky chráněny jiskrovou ochranou. Budiče jsou od francouzské firmy VÉLEC. Pro zajímavost: 2 ks 5 kW vysílačů byly dodány na Nový Zéland.

V roce 1992 se rozpracovává řada plně tranzistorových TV vysílačů o výkonu do 10 kW pro I., III. a UHF pásma. Důležitou skutečností pro vývoj takových vysílačů je, že i výkonové tranzistory pro televizní frekvence mají výkon nejvýše 200-300 W. Proto k dosažení velkých výkonů je jich třeba slučovat velké množství (běžně několik desítek). Ke slučování se používají Wilkinsonovy a hybridní 3 dB můstky, z velké části v tištěném provedení.

Devadesátá léta jsou rovněž přípravou a nástupem televize digitální. Budiče pro tyto vysílače se běžně odebírají od specializovaných dodavatelů (budič má blíže k technologii počítačů). Pro zesilovací výkonové stupně vysílačů pak digitální signál představuje úkol zesílit účinně OFDM signál s jeho charakteristickým vysokým

špičkovým faktorem (PAPR) a to pokud možno tak, aby nedocházelo k velké produkci intermodulačních produktů mimo televizní kanál. To se neobejde bez účinných předkorekcí v budiči a i tak výkonové využití tranzistorů je poměrně nízké. V květnu roku 2000 byly instalovány dva 200 W vysílače TESLA pro experimentální vysílání DVB-T v Praze (věž v Mahlerových sadech) a na Cukráku. Dále byly pro DVB-T vyvinuty vysílače 0,5 kW a 1 kW. Mimo to byl též vyvinut vysílač pro rozhlasové digitální vysílání T-DAB v pásmu L.



Obrázek 2: Tranzistorový vysílač 1 kW TESLA pro DVB-T

4. Rozhlasové FM vysílače

I když v tomto článku vzpomínáme především 60. výročí televizního vysílání zmíníme se tu i o FM vysílačích, neboť jednak jsou příbuznou částí televizního vysílače a jednak mají na svém počátku podobné osudy.

Rozvoji FM vysílání totiž zpočátku politické orgány v Československu nakloněny nebyly. Existovala obava, že těsně za hranicemi (v Německu a Rakousku) by mohly být instalovány vysílače, vysílající do Československa programy pro tehdejší politickou garnituru nežádoucí. K jejich rušení by bylo nutno zřídit další síť rušiček, podobně jako tomu bylo do roku 1988 na krátkých a středních vlnách. Na druhé straně nezavedení FM vysílání by bylo znamením zaostávání, a proto došlo ke změně tohoto postoje.

FM rozhlas v Československu se dlouhou dobu vysílal v pásmu frekvencí 66 -73 MHz a postupný přechod na pásmo 87,5-108 MHz započal až roku 1987.

Prvním FM vysílačem z produkce TESLY byl víceméně experimentální 1 kW vysílač, instalovaný na Petříně v roce 1958.

Výstavba sítě pak pokračovala teprve v letech 1960 až 1964 instalací vysílačů FM 1, FM 4 a FM 10 (tj. o výkonech 1, 4 a 10 kW). Vysílaly se dva rozhlasové programy (Hvězda a Vltava). Jim příslušející dva vysílače byly sdruženy kanálovým sdružovačem do jedné antény. Tyto vysílače byly dosud monofonní a technologií byly příbuzné s prvním petřínským TV vysílačem.

Pro stereofonní vysílání byly v roce 1968 vyvinuty vysílače FM2S a FM8S o výkonech 2 a 8 kW. FM modulátor těchto vysílačů byl vystavěn na principu tzv. serrasoidu. Název je odvozen od latinského serra tj. pila, a skutečně frekvenční modulace se generuje pomocí pilového průběhu. Tento princip představuje ve skutečnosti fázovou modulaci a některé prameny uvádějí, že tento princip modulace použil již vynálezce frekvenční modulace Edwin Armstoring v 30. letech dvacátého století. Zmíněný způsob vede k velmi malému harmonickému zkreslení, avšak k problémům se šumem, neboť z principu plyne, že se fázově moduluje na poměrně nízké frekvenci (kolem 200 kHz) a za fázovým modulátorem tedy musí následovat dlouhý řetěz násobičů. Navíc jeho úzkopásmovost není příznivá pro stereofonní systém FCC s pilotní frekvencí. Proto se později použily modulátory od maďarské firmy EMV.

V 70. letech je TESLA-Hloubětín plně vytížena výrobou TV vysílačů ZONA, a proto výrobu FM vysílačů na čas opouští. Vrací se k ní až v roce 1990, kdy zahajuje výrobu nové generace plně tranzistorových FM vysílačů. Prvními představiteli jsou malé vysílače o výkonech 200, 500 a 1000 W. Budiče jsou syntezátorového typu, lze je naprogramovat a dálkově přepínat mezi 32. frekvencemi (vhodné pro systém rezervování N + 1) a umožňují vysílat signál RDS (*Radio Data Systém*). V roce 1992 je již rozpracován vývoj plně tranzistorových FM vysílačů až do výkonu 10 kW. Jejich výroba se rozbíhá v následujících letech a to spolu s řadou výkonových sdružovačů, sdružujících až šest FM programů. Ty umožňovaly v případě poruchy kteréhokoliv vysílače jeho náhradu rezervním vysílačem.

Vzpomeňme tu dva zajímavé problémy, které se vyskytly při zavádění FM vysílání. Od tohoto vysílání se očekávala bezproblémová vyšší zvuková kvalita. To bylo v podstatě splněno. Překvapením však byl občasný výskyt zkreslených sykavek. Přitom veškerá měření ukazovala na to, že parametr zkreslení (včetně intermodulačních zkreslení d2 a d3) byl v pořádku. K vyřešení problému byla dokonce ustavena tzv. „sykavková komise“. I sešli jsme se jedné noci na Cukráku a báдали. Ze studia rozhlasu nám opakovaně vysílali speciálně nahraný pásek, na kterém hlasatelka opakovala slova obsahující sykavky, jako „cvrček, cicvárek, cinkat“ atd. Sykavky přijímané odposlechoвым přijímačem byly zcela bez zkreslení. Avšak porovnáním poslechu na běžném komerčním přijímači se zjistilo, že tento zkresluje. Ukázalo se, že S-křivka diskriminátoru prvních přijímačů byla úzká a vlivem preemfáze docházelo k jejímu překročení.

Jiné zkreslení příjmu (nikoli jen sykavek) se objevilo v oblasti Vysokých Tater. FM vysílač byl instalován ve vysílacím středisku Velký Slavkov. To bylo nepříliš dobré umístění. Přestože na tatranská lázeňská místa byla přímá viditelnost, byl tam příjem

zkreslený. Bylo to způsobeno vícecestným příjmem, odrazy od Nízkých Tater. Částečně problém řešila změna polarizace, a definitivně až instalace vysílače na Králově Holi, tedy s hlediska šíření na vhodnější pozici.

5. Závěr

Tyto stránky nejsou úplným výčtem výrobního programu televizních vysílačů TESLY – Hloubětín. Jsou jen záznamem prořídých vzpomínek jednoho z vývojářů televizních vysílačů. Nicméně indikují, že za 60 let tu bylo vyvinuto a do výroby uvedeno široké spektrum vysílacích zařízení, které se významně uplatnilo v provozu po celou éru analogové televize.

Na přelomu tisíciletí však došlo k výrazným změnám v obchodní situaci TESLY a to vedlo k postupnému útlumu výroby vysílačů. Je potěšitelné, že naproti tomu sektor televizních vysílacích antén ve vývoji a výrobě nadále pokračuje.