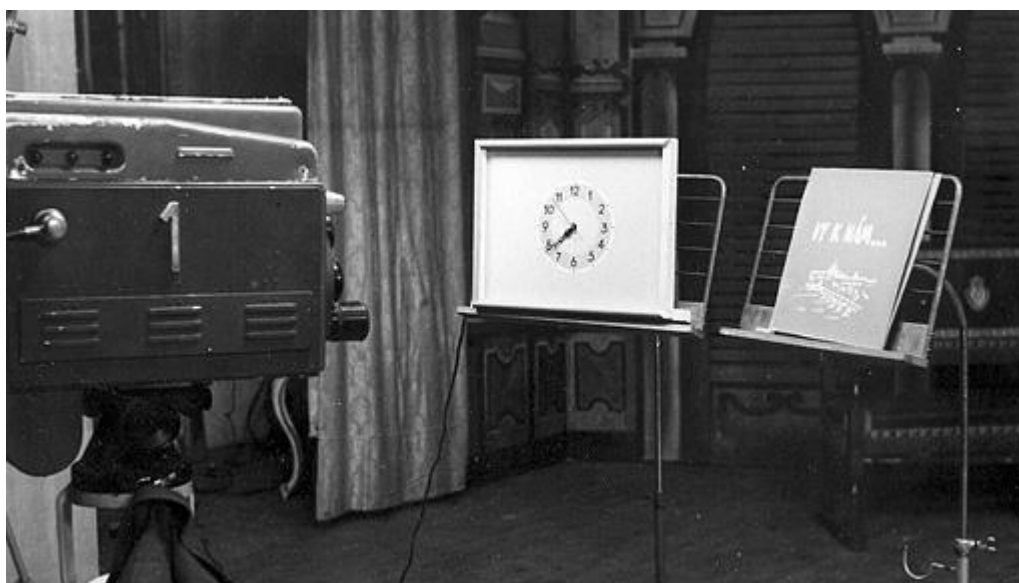


Princip televize



Historie vzniku televize

- **1884**
Paul Nipkow si nechává patentovat svůj kotouč s otvory uspořádanými ve spirále, který rozkládal obraz na řádky složené z jednotlivých bodů obrazu. Tzv. Nipkowův kotouč se stává jedním ze základních prvků mechanické televize. *Německo*
- **1900**
První známé použití termínu "televize" na pařížské výstavě Expo 1900. *Francie*
- **27. 6. 1923**
J. L. Baird začíná své experimenty s televizním přenosem obrazů v Hastings. *Velká Británie*
- **leden 1924**
J. L. Baird přenáší obraz maltézkého kříže na vzdálenost 2,5 m. *Velká Británie*
- **duben 1925**
J. L. Baird předvádí svoji mechanickou televizi v obchodním domě Selfridge v Londýně. *Velká Británie*
- **4. 1. 1926**
Bairdova Television Ltd. Žádá ministra pošt o povolení experimentálního televizního vysílání. *Velká Británie*
- **srpen 1926**
Britský ministr pošt uděluje Bairdově společnosti licenci povolující experimentální vysílání. *Velká Británie*
- **květen 1927**
J. L. Baird přenáší po dvou drátech telegrafního vedení obraz z Londýna do Glasgow (700 km). *Velká Británie*
- **červenec 1927**
První Bairdovy pokusy s barevnou televizí a stereoskopickou televizí. *Velká Británie*
- **prosinec 1927**
Bezdrátový přenos obrazu na vzdálenost 20 km na vlně 200 m. *Velká Británie*
- **8. 2. 1928**
Bairdův úspěšný přenos z Velké Británie do USA na vlně 45 m. *Velká Británie*

- **červen 1929**
V Berlíně založena firma Fernseh A.G., která ve 30. letech získává vedoucí postavení při rozvoji televizní techniky v Evropě. *Německo*
- **30. 9. 1929**
Zahájení pravidelného vysílání mechanické televize (30 řádků) na vlnách BBC. Vysílalo se ve všední dny, od 23.00 do 23.30. *Velká Británie*
- **1929**
První amatérské pokusy o příjem anglického televizního vysílání šířeného na středních vlnách v *Čechách*.
- **20. 4. 1931**
Zahájení pokusného vysílání mechanické televize (30 řádků) v Moskvě. *SSSR*
- **září 1934**
Československá veřejnost se poprvé seznamuje s televizním vysíláním v rámci Pražského vzorkového veletrhu (stánek firmy Telefunken AG). *ČSR*
- **prosinec 1935**
Dr. Jaroslav Šafránek uvádí do provozu první kompletní televizní aparaturu pro vysílání a příjem mechanické televize, určenou pro experimenty a demonstraci. Řetězec pracoval s třicetiřádkovou normou a snímkovým kmitočtem 12,5 Hz. Obrázek byl promítán na matnici o rozměru 10 cm x 15 cm. *ČSR*
- **říjen 1936**
Dr. Jaroslav Šafránek vydává svoji knihu *Televise*, která významně přispěla k propagaci TV mezi veřejností. *ČSR*
- **2. 11. 1936**
Zahájení prvního pravidelného vysílání televize na světě. Ve vysílání se střídají Baidova mechanická televize (240 řádků) a elektronická televize firmy E.M.I.(405 řádků) Vysílalo se denně od 15.00 do 16.00 a od 21.30 do 23.00. Běžný televizní přijímač stál přibližně 120 liber a jeho obrazovka měla rozměry 17 x 22,5 cm. *Velká Británie*
- **12. 2. 1937**
České slovo otisklo 12.února zprávu pod názvem *Letos bude televize*. Uvádí se v ní mimo jiné: "...Pro televizní vysílací stanici našlo ministerstvo pošt laboratorní místnost v budově poštovního úřadu na Žižkově. Ministerstvo pošt a telegrafů připravilo objednávky na součástky stanice...s konstrukcí doma dělaných součástek se začne v nejbližších dnech. První pokusy s televizní vysílačkou se budou konat nejdéle koncem roku." Zahájení vysílání se však stále odkládá. Nejprve na začátek, později na jarní měsíce roku 1938. *ČSR*
- **6. 2. 1937**
Television Advisory Comitteee doporučuje pro další používání elektronickou televizi společnosti E.M.I. Elektronická televize definitivně vítězí nad televizí mechanickou. *Velká Británie*
12.5. 1937 První přímý televizní přenos (korunovace krále Jiřího VI.). *Velká Británie*
- **srpen 1937**
Dr. Jaroslav Šafránek předvádí novinářům nový typ televizního přijímače s katodovou trubicí pracující s 30 řádkovým systémem. *ČSR*
- **prosinec 1937**
Dr. Jaroslav Šafránek podává patentovou přihlášku s názvem "Způsob a zařízení pro barevnou televizi" *ČSR*
- **1937**
V Německu schválen televizní systém s 441 řádkem. *Německo*
prosinec 1938 Šafránkova skupina předvádí první český přijímač s normou 240 řádků. *Německo*
- **9. 3. 1939**

Ministerská skupina pod vedením ing. Singra, uvádí do provozu televizní vysílač, který však šířil pouze nosnou frekvenci. Dr. Šafránek nebyl přes opakované nabídky přizván ke spolupráci. ČSR

- **1943**
Do "kláštera" v Dolní Smržovce se z Berlína stěhuje firma Fernseh A.G.(po osvobození Televid), která plní úkoly vojenského charakteru. Zde se v průběhu roku 1944 konají první pokusy s televizní normou 625 řádků. ČSR
- **8. 10. 1945**
Do Televidu nastupuje na stáž 25 českých odborníků.
- **3. 12. 1945**
Stáž českých odborníků v Televidu je ukončena a veškeré zařízení závodu je převezeno do SSSR. Část účastníků stáže přechází do Vojenského technického ústavu(VTÚ) v Tanvaldě.
- **1946-1948**
Ve VTÚ v Tanvaldě pokračují práce na přípravě televizního řetězce s normou 625 řádků.
- **23. 3. 1948**
Kompletní televizní řetězec předveden v Tanvaldě novinářům.
- **kveten 1948**
Úspěšné předvedení české televize na Mezinárodní výstavě rozhlasu (MEVRO) v Praze.
- **červenec 1948**
První televizní přenosy z XI. Vsesokolského sletu v Praze.
- **1. 5. 1953**
Zahájení pravidelného zkušebního vysílání Československé televize.

1. Podstata televizního přenosu

Podstata uskutečnění televizního přenosu je založena na té vlastnosti lidského oka, že vnímá dílčí podněty jako celek, pokud probíhají rychle za sebou. Proto se v televizním snímacím zařízení nehybný, nebo pohyblivý obraz rozloží na velký počet bodů různého jasu (bílé, různě šedé, černé), *nebo ve třech základních barvách (R-červené, G-zelené, B-modré, velikosti jasu a barvy těchto obrazových prvků)* a následně převádí na elektrické napětí různé velikosti. Takže například elementárnímu černému bodu, vztaženo k celkové úrovni signálu 1 V, odpovídá napětí 0,75V, pro bílý bod 0,1V. Velké množství obrazových bodů, na které se rozloží celá snímaná scéna, je pak potřeba rychle za sebou přenést v určitém pořadí, jakožto výstupní střídavé napětí různé velikosti (amplitudy).

V první části vysvětlení podstaty přenosu se budeme pro jednoduchost zabývat přenosem černobílého signálu. Na počátku přenosového řetězce je elektronický prvek, který přemění snímanou optickou scénu na elektrický signál, (napětí, nebo-li obrazovou modulaci). Tímto prvkem je snímací zařízení, například snímací elektronka. Obecně můžeme popsat funkci snímací elektronky tak, že slouží k přeměně optického obrazu na elektrický signál. Snímací elektronky prodělaly v historické době televizních přenosů svůj technický vývoj. Nejvíce používané byly elektronky pracující na akumulacním principu snímání obrazu.

Dalším hlediskem je rychlost snímacího paprsku, kterým je tzv. ohledávána elektroda, na které je uložen obraz snímané scény.

Rozdělení snímacích elektronek:

- snímací elektronky s rychlým snímacím paprskem(ikonoskop, superikonoskop)
- snímací elektronky s pomalým snímacím paprskem (superortikon, vidikon, plumbikon)

Podle způsobu přeměny světelné energie na elektrický signál jsou dále snímací elektronky rozděleny na:

- elektronky využívající vnější fotoelektrický jev (princip světelné emise, fotoelektrický jev-superortikon)
- elektronky využívající vnitřní fotoelektrický jev((změna vodivosti, fotoodporový jev(vidikon, plumbikon)

Problematiku snímacích elementů si probereme v další kapitole „ Snímací elektronky“ .

Televizní snímací kamerou je snímána určitá scéna, např. sportovní přenos na obr.1. Přenos je snímán několika kamerami, jejichž signál je vybírán na režijním pracovišti podle momentální herní situace. Přenosový vůz má ve své vnitřní výbavě i generátory synchronizačních impulsů, které zajišťují pohyb snímacího elektronového paprsku po signálové elektrodě snímací elektronky, na které je uložen optický signál. Tyto synchronizační impulsy jsou přidány k signálům obrazové modulace a zajišťují tak synchronizaci obrazu ve snímací kameře a v obrazovce televizního přijímače. Zvukový doprovod komentátora se zpracovává a přenáší odděleně.

Úplný, televizní signál obsahující :

- obrazovou modulaci-informaci o snímané scéně
- kompletní synchronizační směs
 - řádkové synchronizační impulsy
 - snímkové synchronizační impulsy
 - zatemňovací impulsy

namodulujeme po předchozí kmitočtové úpravě, o které budeme mluvit v kapitole televizní vysílače, amplitudově na nosnou vlnu obrazu , *systemem VSB AM* , a na nosný kmitočet směrového spoje, kterým se dopraví signál do ústředního televizního pracoviště-studia. Ze studia se signál prostřednictvím směrových spojů přenáší na televizní vysílač, zakončený televizní vysílací anténou.

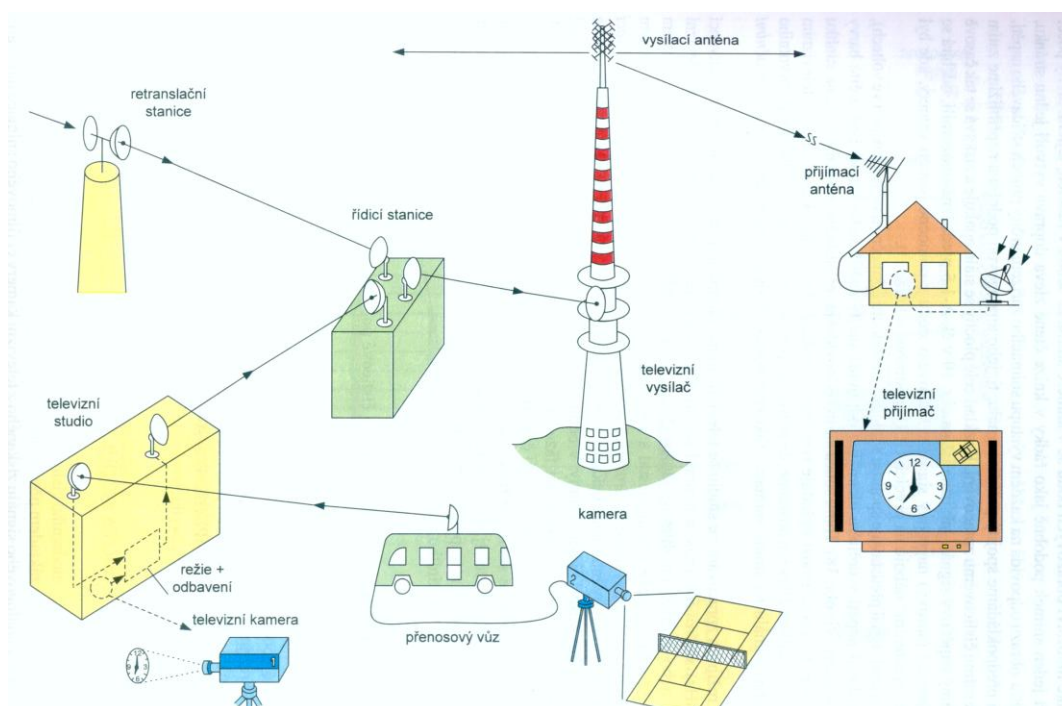
Zvuk je zpracováván odděleně a do studia se může přenášet linkou, nebo pomocí směrových systémů společně s obrazovou informací. Ve vysílači je modulován kmitočtově na nosnou vlnu zvuku FM a v anténním sdružovači je následně „spojen“ se signálem obrazovým. Pomocí vysílače a jeho anténního systému, je úplný televizní signál přenesen ve formě elektromagnetické vlny, k anténě přijímače. Spektrum přenášeného signálu vidíme na obr.8. Amplitudová modulace v pásmu do 6,5 MHz vytvoří dvě postranní pásma, spodní DPP a horní HPP , celkově by tedy přenos jednoho televizního programu zabíral 13 MHz. Pro zúžení tohoto frekvenčního pásma se přenos provádí s částečně potlačeným jedním postranním pásmem (modulace VSB AM) tak, že celková šířka jednoho kanálu je 8 MHz. Zvukový doprovod zabírá v tomto pásmu jen zcela zanedbatelnou šířku 250 kHz , a to proto, že je přenášen frekvenční modulací (platí pro monofonní přenos zvuku). Nosný kmitočet zvuku má odstup 6,5 MHz od nosného kmitočtu obrazu (je vyšší). Šířku kanálu a odstup nosné zvuku od nosné obrazu, předepisuje *televizní norma*. Popsané uspořádání je tzv. norma OIRT nebo-li CCIR DK . Kromě ní existuje ještě norma CCIR BG (západoevropská) , u které je kanál užší (7 MHz) a odstup nosné zvuku od nosné obrazu 5,5 MHz. DPP o celkové šířce 1,25 MHz vhodně zlepšuje přenos velkých ploch obrazu. Amplituda postranních složek s rostoucím kmitočtem klesá, čehož se využívá pro slučitelnost současného přenosu

barevného a černobílého signálu. Nosný kmitočet obrazu musí být minimálně 8 x vyšší než maximální kmitočet obrazové modulace, tedy $8 \times 6 \text{ MHz} = 48 \text{ MHz}$. Například pro 1. kanál je nosný kmitočet obrazu 49,75 MHz.

Základní částí vysílače je tzv. budič. V budiči vzniká vysokofrekvenční proud s kmitočtem nosné vlny příslušného kanálu. Na vysokofrekvenční nosnou vlnu f_0 se v mezistupni budiče namoduluje obrazová modulace v systému VSB AM, to je amplitudová modulace s částečně potlačeným dolním postranním pásmem. Modulační signál obsahuje i kompletní synchronizační směs. V obvodu anténního sdružovače se k se k signálu modulované nosné obrazu f_0 přidá zvuková informace, která se namoduluje v systému kmitočtové modulace FM na nosnou vlnu o kmitočtu f_{zv} . *Bude-li pro přenos použit např. 1.kanál , pak v normě DK bude obrazový signál na kmitočtu 49,75MHz a zvukový doprovod na kmitočtu 56,25MHz. Oba signály mají odstup 6,5 MHz .*

V obvodu vysílací antény vznikne vf. elektromagnetické pole, které obsahuje kompletní televizní signál. Vysílací anténa má většinou kruhový vyzařovací diagram, podrobněji se anténním systémem budeme zabývat v kapitole „Televizní vysílací antény“ a „Televizní vysílače“.

Vf.elektromagnetické pole se šíří v prostoru na anténu přijímače. Televizní přijímač naladěný na příslušný kanálový kmitočet, signál zesílí a ve směšovači převede na mezifrekvenční signál obrazu f_{mfo} 38MHz a f_{mfzv} 31,5 MHz . Po dalším zesílení v pásmovém selektivním mezifrekvenčním zesilovači, se oba signály zpracují v příslušných obvodech přijímače – budeme o tomto zpracování podrobně hovořit v kapitole „Televizní přijímač“ a převedou na výstupní měniče- obrazovku a reproduktor.



obr.1 Princip televizního přenosu

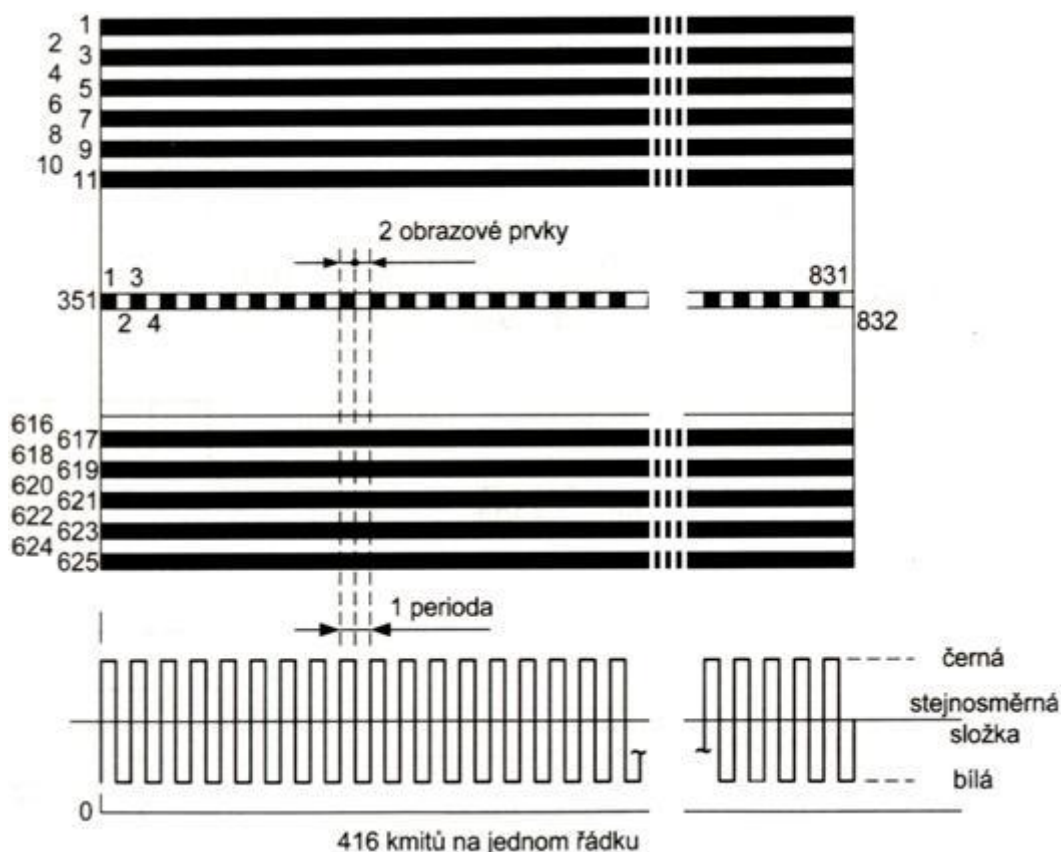
2. Televizní vysílání a příjem

Přenos "pohyblivého" obrazu na dálku je založen na stejném principu jako *kinematografie*, tedy na rychlém promítání jednotlivých obrázků, které se jen málo liší, za sebou. Fyziologickou vlastností lidského oka, která umožňuje kinematografii, je setrvačnost zrakového vjemu, tj. schopnost lidského oka "pamatovat" si po dobu 30-100 ms obraz na sítnici. *Při kinoprojekci se promítá 24 obrázků za sekundu tak, že každý obrázek je prosvětlen dvakrát, lidské oko tedy vnímá 48 vjemů za sekundu, na jeden zrakový vjem tedy připadá cca 21 ms.* Při tomto kmitočtu střídání zrakových vjemů oko prakticky nezpozoruje změny v intenzitě světla způsobené střídáním světla a tmy (kdybychom intenzitu světla měřili objektivně, např. fotonásobičem, dostali bychom prakticky obdélníkový průběh, po dobu řádově 10 milisekund by plátno nebylo vůbec osvětleno).

Na druhé straně má promítání filmového pásu před přenosem obrazu na dálku jednu velkou výhodu - celý obrázek se na plátno promítá najednou. To nelze při původní koncepci přenosu na dálku zabezpečit - museli bychom informací o jasu, případně barvě každého obrazového bodu přenášet zvláštním informačním kanálem. Při přenosu na dálku máme, podobně jako u rozhlasového přenosu, k dispozici jeden přenosový kanál. Musíme proto informací o jasu každého obrazového bodu vysílat sériově. V témže okamžiku lze do přenosového kanálu ještě "vtěsnat" ještě i informací o barvě obrazového bodu (princip sloučitelnosti), informací o jednotlivých obrazových bodech však musíme vysílat za sebou. Je zřejmé, že čím více obrazových bodů bude třeba na přenos jednoho obrázku, tím větší šířku pásma B_{vf} bude signál obrazové informace (zkráceně obrazový signál) zabírat. Základní informací pro rozhodnutí, na kolik "obrazových bodů" obrázek rozložit, je rozlišovací schopnost lidského oka a běžná vzdálenost pozorování obrazu na obrazovce. Teoreticky by bylo možné rozložit obraz na obrazové body libovolným způsobem, například azimutálním jako u radaru, ale *pro televizi byl zvolen rozklad maticového typu, tedy na řádky, které obsahují jednotlivé obrazové body.*

Základním údajem bylo tedy stanovení počtu řádek, na které se budoucí obraz na obrazovce bude rozkládat - byl stanoven počet *625 řádků*. Je třeba hned říci, že k tomu, abychom se přiblížili rozlišení obrazu na kinematografickém plátně, potřebovali bychom minimálně dvojnásobný počet řádek. (V současné době se používají systémy tzv. HDTV, televizní systémem s vysokým rozlišením, který má podle evropského formátu, 1250 řádek). Vzájemný poměr stran televizního obrazu byl stanoven na *šířka:výška = 4:3* (v současné době jsou moderní televizory "wide" s poměrem stran *16:9*).

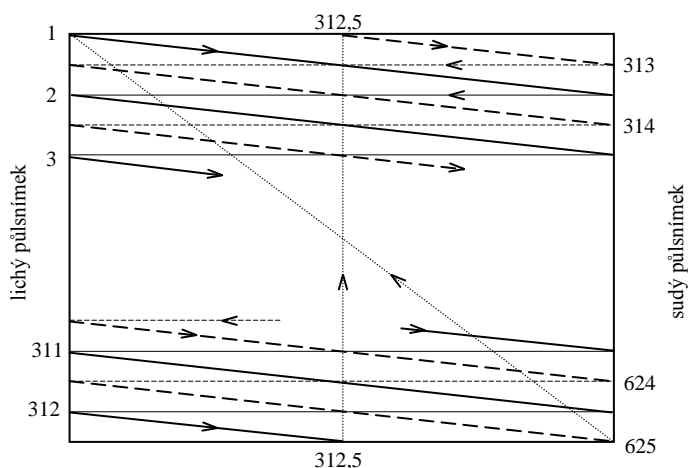
Aby bylo rozlišení ve vodorovném směru stejné jako ve svislém směru, bylo třeba stanovit *počet obrazových bodů na řádek $4/3 \cdot 625 = 832$* . Frekvence výměny obrázků tzv. *snímková frekvence, byla stanovena na 50 Hz* původně z důvodu synchronizace se síťovým kmitočtem; dnes jsou ale již obě frekvence od sebe odděleny. Z uvedených čísel je již možné spočítat *šířku pásma obrazového signálu*. Za předpokladu, že 1 perioda obrazového signálu tvoří 2 obrazové body (v minimu signálu je obrazový bod světlý, v maximu tmavý) bude *za jednu sekundu potřeba 416 period na jeden řádek, 625 řádků na jeden obrázek a obrázků je 50 za sekundu, viz obr.2*. Vynásobením těchto tří čísel dostáváme hodnotu cca $13 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$, tedy maximální frekvence takto tvořeného obrazového signálu (a tedy také šířka pásma) by byla 13 MHz.



obr.2 Maximální rozlišení obrazových prvků ve svislém a vodorovném směru; řádkování plné, řádky jsou těsně nad sebou

$B_{vf} = 416 \text{ period v jednom řádku} \times 625 \text{ řádků} \times 50 \text{ snímků} = 13\,000\,000 \text{ period}$, tedy potřebný kmitočet 13 MHz .

Takováto šířka pásma by kladla příliš velké nároky na šířku přenosového kanálu a byla proto snížena na polovinu zavedením tzv. **prokládaného řádkování** obr.3. Při prokládaném řádkování se kreslí obrázek nejprve z lichých řádků (říká se mu **lichý pulsínek**, protože obsahuje informaci jen o polovině obrázku s danou rozlišovací schopností), pak se elektronový paprsek obrazovky vrátí na začátek obrazovky a kreslí druhou polovinu obrázku, tedy sudé řádky (**sudý pulsínek**), a to přesně do mezery mezi lichými řádky. Při návratu ze spodního okraje obrazovky na horní okraj obrazovky, je elektronový paprsek zatemněn, a podobně při kreslení jednotlivých řádků se elektronový paprsek zatemňuje, běží-li zprava nalevo, nebo-li při zpětném běhu (činné řádky se kreslí zleva doprava).



Obr.3 Prokládané řádkování

Signál potřebný pro zatemňování zpětných běhů při kreslení řádků a pulsů musíme ovšem do obrazového signálu dodat; nazývá se zatemňovací směs. **Zavedením prokládaného řádkování snížíme šířku pásma obrazového signálu na polovinu, tj. na 6,5 MHz.**

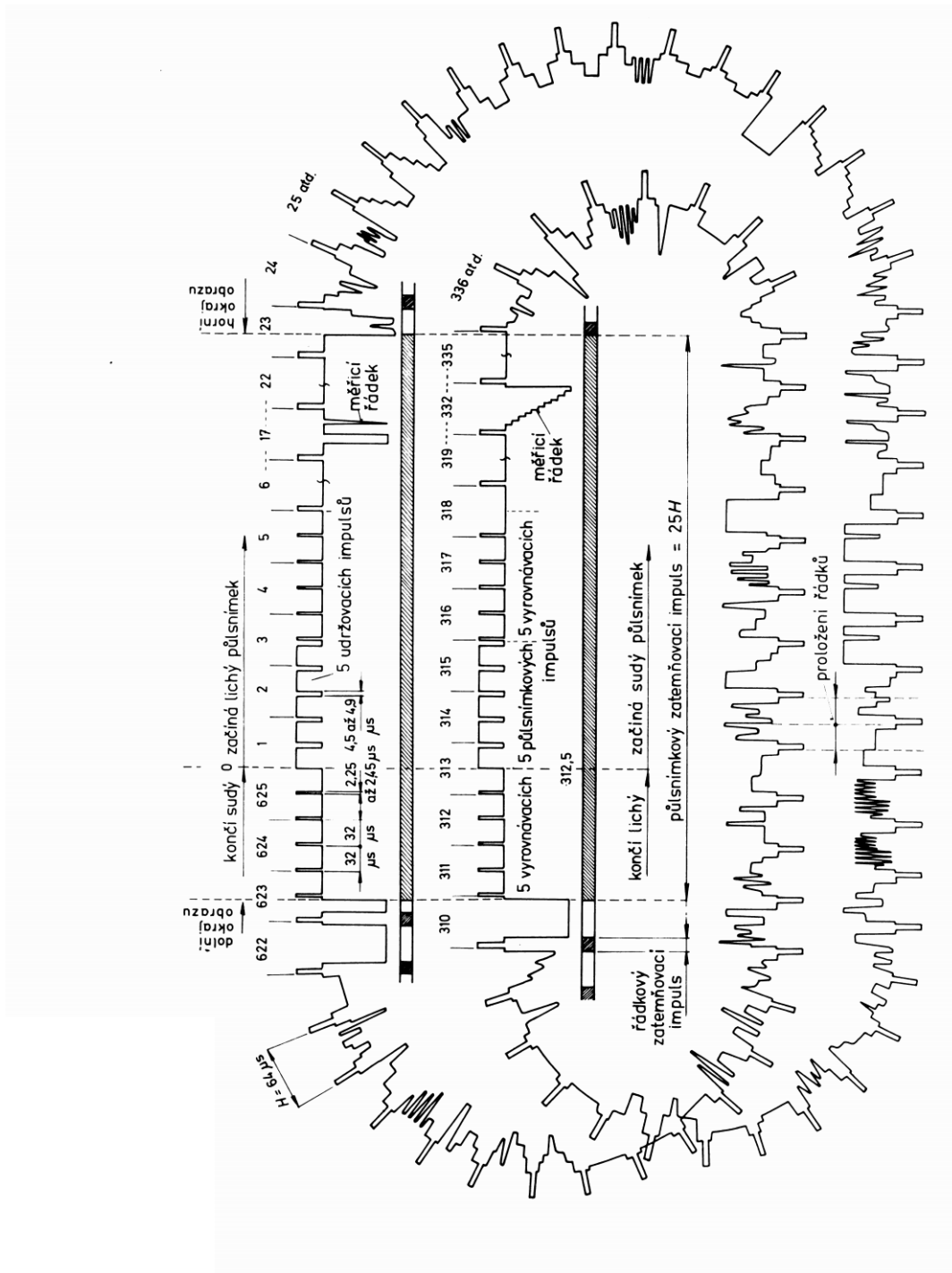
2.1. Televizní norma

Rozklad obrazu na jednotlivé řádky v televizní kameře a jeho opětovné nakreslení na televizní obrazovce **musí probíhat naprosto synchronně**, jinak by obraz na přijímači nebyl stabilní (možná jste již zažili, ale vy asi ne, televizní obraz rozpadnutý na pruhy, nebo beznadějně putující po obrazovce nahoru nebo dolů; to první je špatná synchronizace řádků, to druhé pulsů). Proto je nutné společně s obrazovou informací tzv. obrazovou modulací, vysílat ještě časovou informaci o začátku každého řádku a o začátku každého pulsů. To se děje pomocí **řádkových synchronizačních impulsů** a **snímkových synchronizačních impulsů**, které se rovněž začlení do obrazového signálu (časově do dob, kdy se elektronový paprsek zatemňuje a amplitudově do rozsahu, který je na obrazovce vnímán jako černá barva, takže obrázku na obrazovce nevadí).

Komplexu synchronizačních řádkových a pulsů se říká synchronizační směs. Tato synchronizační směs je amplitudově položena do oblasti nad 75 % celkové amplitudy signálu, tedy nad úroveň černé do oblasti amplitudy, které se říká **černější než černá**. Obrazový signál opatřený zatemňovací a synchronizační směsí nazýváme úplným (černobílým) televizním signálem.

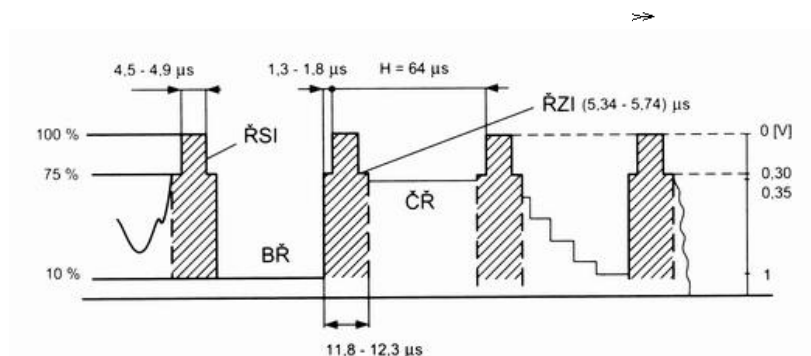
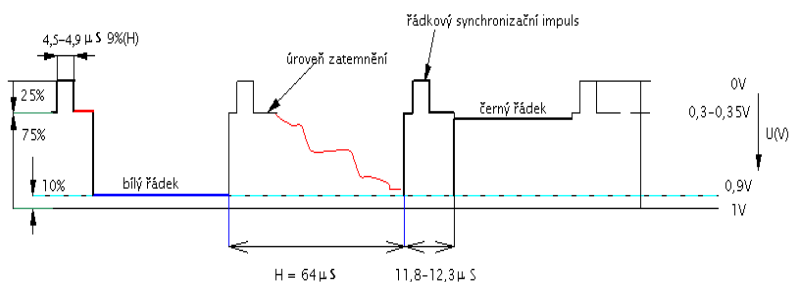
Pro zatemnění jednoho pulsů je normou určeno 25 řádků v jednom pulsů, takže viditelný obraz je složen ze $625 - 25 \times 2 = 575$ řádků. Časové rozložení zatemňovací a synchronizační směsi je u obou soustav CCIR DK i BG stejné. Řádkové synchronizační impulsy mají dobu trvání 9% H, tj. 9% z doby trvání řádku 64 μ s, tedy 4,5 až 4,9 μ s a jsou umístěny nesymetricky vzhledem k řádkovému zatemňovacímu impulsu jehož šířka je 11,8 až 12,3 μ s. Zadní delší část řádkových zatemňovacích impulsů se využívá při barevném přenosu pro vysílání synchronizačního impulsu barvy v soustavě PAL.

Na obr.4 je zobrazeno kompletní rozložení synchronizačních impulsů v celém snímku.



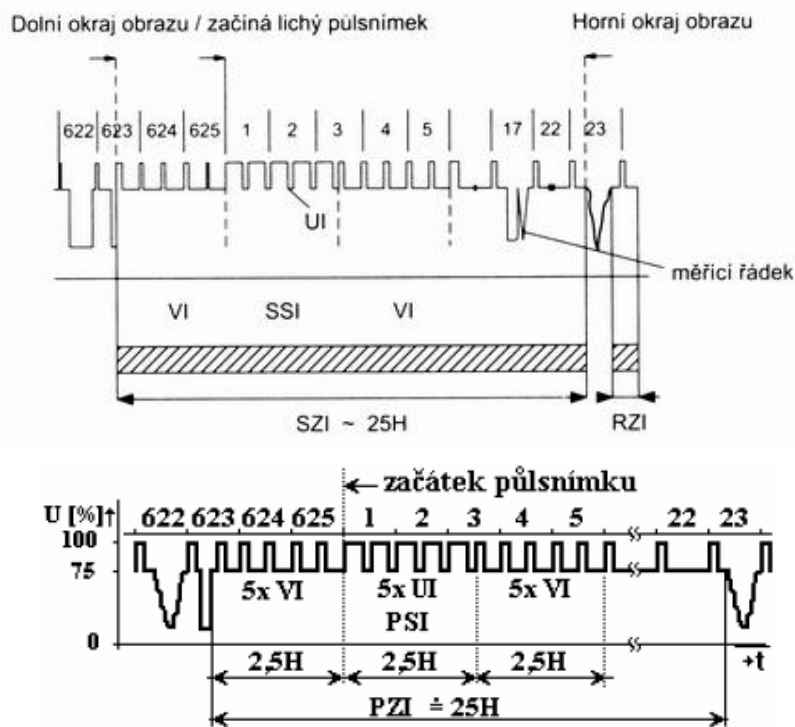
obr.4 Rozložení synchronizačních impulsů v pulsimkovém zatemňovacím impulsu v lichém a sudém pulsímku

Úroveň televizního signálu s negativní modulací



obr.5 Definice základních napěťových a časových úrovní na řádkové úrovni

Na přechodu mezi jednotlivými půlsnímky, když se elektronový paprsek vrací z dolního okraje obrazovky na okraj horní, se vysílají půlsnímkové synchronizační impulsy a impulsy vyrovnávací. Časový průběh amplitudy vysokofrekvenčního napětí televizního signálu při přechodu mezi půlsnímky je vyznačen na obr.6.



obr.6 Rozložení synchronizačních impulsů v půlsnímkovém zatemňovacím impulsu

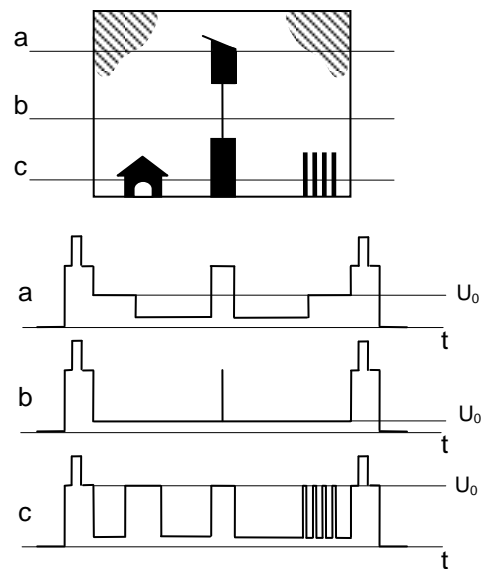
Pulsnímkový zatemňovací impuls PZI(SZI) má šířku $25H$, tj. $1,6 \text{ ms}$, s přípustnou tolerancí 23 až $31H$. Během tohoto intervalu se nejprve přenáší pět vyrovnávacích impulsů VI se šířkou $4,5\%H$ v odstupu $0,5H$, a tedy s opakovacím kmitočtem 31250 Hz . Potom následuje pulsniímkový synchronizační impuls PSI se šířkou $2,5H$ tj. $160 \mu\text{s}$. Pulsniímkový synchronizační impuls je rozdělen mezerami zvanými udržovací impulsy na pět dílčích impulsů šířky asi $41\%H$. Udržovací impulsy mají šířku asi $9\%H$ a opakovací kmitočet stejný jako vyrovnávací impulsy, tj. 31250Hz . Za pulsniímkovým synchronizačním impulsem následuje dalších pět vyrovnávacích impulsů VI. Po nich už nastupují běžné řádkové synchronizační impulsy. Asi prvních 17 těchto řádkových impulsů je ještě podloženo pulsniímkovým zatemňovacím impulsem, takže nejsou pro přenos snímku využity. Často se však těchto řádků využívá k přenosu různých měřicích signálů určených ke kontrole jakosti přenosu, k porovnání úrovně bílé, k přenosu kódů pro označení studia nebo pro samočinné přepínání televizních sítí.

Udržovací impulsy, které rozdělují pulsniímkové synchronizační impulsy, jsou nutné proto, aby se stále během dlouhého pulsniímkového synchronizačního impulsu udržel časový průběh, ze kterého se v přijímačích pomocí derivačních obvodů odvozují tzv. jehlové impulsy pro synchronizaci řádkových rozkladových generátorů.

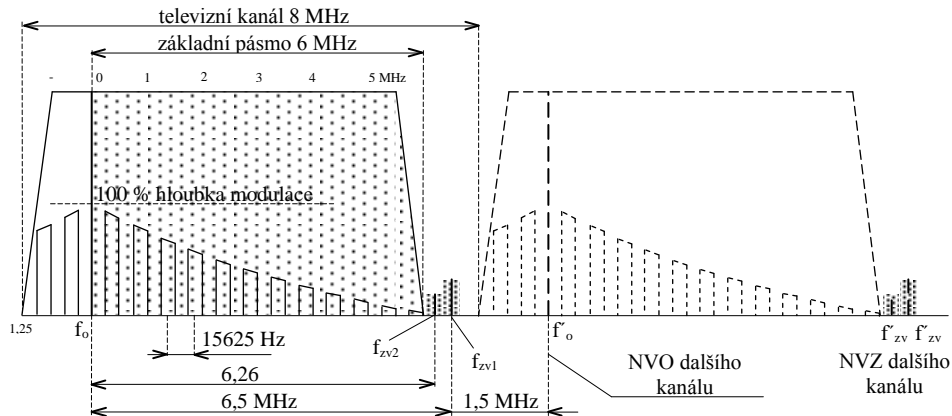
Stejný význam mají také vyrovnávací impulsy, během kterých se normalizuje (vyrovnává) střední úroveň signálu, takže se bez zřetele na předcházející obrazový signál nastaví základní úroveň napětí, od které se integračním obvodem přijímače začne z pulsniímkového synchronizačního impulsu vytvářet signál pro ovládání snímkového rozkladového generátoru. To je důležité k dosažení přesného prokládání řádků lichých a sudých pulsniímků.

2.2. Způsob vysílání v televizní soustavě

V normách D a K (u nás používaných) s přenosem 625 řádků v 50 pulsniímkách za sekundu se k přenosu obrazového signálu používá negativní AM s částečně potlačeným dolním postranním pásmem (od $0,75$ do $1,25 \text{ MHz}$) se šířkou základního pásma 6 MHz (obr. 7). Při negativní AM většímu jasů přenášených bodů odpovídá zmenšení amplitudy (poruchy méně ruší obraz). Úroveň bílého řádku nesmí klesnout pod 10% max. amplitudy, černý řádek má úroveň 72% , zatemňovací úroveň je 75% a mezi 75 a 100% amplitudy (v úrovni černější než černá) se přenáší synchronizační impulsy (obr. 5). Obrazový signál se liší od AM rozhlasového signálu v tom, že se přenáší včetně proměnné stejnosměrné složky U_0 , jejichž velikost závisí na jasů přenášených řádků. Minimální je při přenosu bílého řádku **b** a maximální je při přenosu černého řádku **c**, jak je nakresleno na obr. 7. s budkou.



Obr. 7 Signál obrazu po demodulaci



obr.8. Spektrální charakteristika přenosového pásma televizního signálu

Zvuk se přenáší FM s nejvyšší modulační frekvencí 15 kHz s maximálním frekvenčním zdvihem $\Delta f = \pm 50$ kHz a preemfází 50 μ sec. Stereofonní přenos zvuku se uskutečňuje po dvou nosných vlnách. Hlavní nosná vlna zvuku se vysílá o 6,5 MHz výše než kmitočet nosné vlny obrazu. Celková šířka pásma potřebná pro přenos obrazu a zvuku, tzv. televizní kanál v normě DK je 8 MHz (v západní normě BG je 7 MHz). Rozložení kmitočtů ve dvou kanálech je nakresleno na obr. 8.

Úplný televizní signál je modulován amplitudově na nosnou vlnu a přenesen k anténě přijímače. Spektrum přenášeného signálu vidíme na obrázku obr.8. Amplitudová modulace vytvoří dvě postranní pásma, spodní DPP a horní HPP, celkově by tedy přenos jednoho televizního programu zabíral 13 MHz. Pro zúžení tohoto frekvenčního pásma se přenos provádí s částečně potlačeným jedním postranním pásmem (modulace VSB AM tak, že celková šířka jednoho kanálu je 8 MHz). Zvukový doprovod zabírá v tomto pásmu jen zcela zanedbatelnou šířku 250 kHz, a to přesto, že je přenášen frekvenční modulací. Nosný kmitočet zvuku má odstup 6,5 MHz od nosného kmitočtu obrazu (je vyšší). Šířku kanálu a odstup nosné zvuku od nosné obrazu předepisuje televizní norma. Popsané uspořádání je tzv. norma OIRT nebo-li CCIR DK. Kromě ní existuje ještě norma CCIR BG (západoevropská, u které je kanál užší (7 MHz) a odstup nosné zvuku od nosné obrazu 5,5 MHz. DPP o šířce 0,75 MHz vhodně zlepšuje přenos velkých ploch obrazu. Amplituda postranních složek s rostoucím kmitočtem klesá, čehož se využívá pro slučitelnost současného přenosu barevného a černobílého signálu. Nosný kmitočet obrazu musí být minimálně 8 x vyšší než maximální kmitočet obrazové modulace, tedy 8×6 MHz = 48 MHz. U prokládaného řádkování se nejdříve zobrazují liché řádky a následně sudé řádky.

- Úplný televizní signál obsahuje:
- signál obrazové modulace
 - signál zatemňovacích impulsů
 - synchronizační řádkové impulsy
 - synchronizační impulsy snímkové
 - signál zvukového doprovodu

2.3. Shrnutí základních údajů normy:

- 1) Počet bodů v jednom televizním řádku je 832 bodů
- 2) Poměr stran obrazu dle CCIR 4 : 3 ; 16 : 9
- 3) Počet řádků 625
- 4) Počet viditelných řádků 575
- 5) Řádkový kmitočet 15625 Hz
- 6) Doba trvání řádku $H = 64\mu s$
- 7) Doba trvání řádkového zatemňovacího impulsu 11,8-12,3 μs
- 8) Doba trvání řádkového synchronizačního impulsu 4,5 – 4,9 μs tj.9% H
- 9) Půlsnímkový kmitočet 50Hz
- 10) Doba trvání půlsnímků $V = 20$ ms
- 11) Doba trvání snímkového zatemňovacího impulsu $25H = 1,6$ ms
- 12) Úroveň bílé 10% amplitudy
- 13) Úroveň černé 75% - 2,5% amplitudy
- 14) Zatemňovací úroveň 75% amplitudy
- 15) Rozsah úrovně synchronizačních impulsů 75-100% amplitudy
- 16) Modulace obrazové informace VSB AM
- 17) Modulace zvukové informace FM s kmitočtovým zdvihem 50kHz (75kHz)
- 18) Obrazová mezifrekvence 38 MHz
- 19) Zvuková mezifrekvence u mezinosného systému 31,5 MHz
- 20) Zvuková mezifrekvence ve zvukové části 6,5 MHz
- 21) Úroveň amplitudy zvukové informace 2,5% z celkové amplitudy
- 22) Šířka pásma jednoho kanálu 8 MHz
- 23) Šířka pásma obrazového kanálu 6,5 MHz

2.4. Televizní pásma

Pro televizní přenos, vyžadující široké přenášené kmitočtové pásmo, se musí použít vysoké nosné frekvence v kmitočtových pásmech VKV a UKV. U nás se používá norma D pro pásmo VKV a norma K pro pásmo UKV s odstupem nosné obrazu f_0 od nosné zvuku f_z 6,5 MHz a šířkou kanálu 8 MHz. K vysílání se používají kmitočty od 48,5 do 862 MHz.

2.4.1 Televizní pásma zemských vysílačů

Pásmo VKV se v normě D dělí na dvě pásma. V pásmu I. (48,5 – 66 MHz) jsou 2 kanály, v pásmu III. (174 - 230 MHz) je 7 kanálů. V tomto pásmu vysílala např. z Krásného Nova na 6. kanále.

Pásmo UKV má v normě K také dvě pásma a to IV. a V., ve kterých je 49 kanálů, označených od 21 do 69 v pásmu od 470 do 862 MHz. Program ČT1 vysílal z Krásného na 22. kanále, ČT2 na 57. kanále. V současné době se I. až III. pásmo nadále nevyužívá a pro přenos DVB-T (digitální pozemní-terestriální vysílání) se využívají kanály sloučeného IV. a V. pásma

2.4.2 Televizní pásma pro vysílání z družic

Vysílání z družic vyžaduje používat k přenosu FM z důvodu menší energetické náročnosti vysílání. FM ale potřebuje mnohem větší šířku pásma než AM. Navíc použité kmitočty EMV (elektromagnetické vlny) musí s malým útlumem procházet ionosférou. Proto musí být nosné frekvence v řádu jednotek až desítek GHz.

Pro rozhlasové a televizní vysílání (přímá družicová služba) se používají pásma E a F s rozsahem kmitočtů od 11,7 do 12,5 GHz. Kanály v tomto pásmu mají šířku 27 MHz,

jednotlivé nosné kmitočty jsou od sebe vzdáleny 19,18 MHz. Vzájemnému rušení se zabráňuje tím, že sousední kanály družic na téže orbitální pozici používají kruhovou polarizaci opačného směru (střídavě pravotočivou a levotočivou) nebo se střídá polarizace H s V. Každá země na světě, tedy i Česko, má pro svou družici mezinárodními dohodami vyhrazenou určitou pozici na orbitální dráze o 5 kanálech a jedním směrem polarizace.

Pro vysílání s velkou rozlišovací schopností HDTV se používá pásmo Ka v okolí kmitočtů 20, 40 i 80 GHz. Toto vyšší pásmo vykazuje velký útlum při dešti a proto vysílače musí mít větší výkony než v E a F.

2.4.3 Rozdělení televizních pásem v normě CCIR DK

I. pásmo	48,5	-	66 MHz	2 kanály
II. pásmo	76,0	-	100 MHz	3 kanály
III. pásmo	174,0	-	230 MHz	7 kanálů
IV. pásmo	470	-	585 MHz	14 kanálů nyní 21-69. kanál 470 – 862 MHz
V. pásmo	610,0	-	960 MHz	23 kanálů
VI. pásmo			12 GHz	40 kanálů o B=27MHz

Současné vysílání na území ČR používá již pouze sloučené IV. a V. pásmo pro digitální vysílání v systému DVB-T.

3. Snímací elektronky

Elektronky jsou součástky sloužící k usměrňování, nebo k zesilování elektrického signálu. Jsou složeny z elektrod uzavřených ve vakuové trubici nebo baňce. Speciální elektronky s vhodně volenými elektrodami pak slouží také k přeměně světla (resp. obecně elektromagnetického vlnění), které na ně dopadá, na elektrický proud.

Schopnost elektronek obecně - zesilovat jimi procházející elektrický proud se využívala ve starších typech zesilovačů hudby (až téměř do konce 20. století). V současné době tento typ zesilovačů odborníci stále preferují před zesilovači, které jsou tvořeny polovodičovými součástkami. Zvuk elektronkových zesilovačů je prostě přirozenější a krásnější.

3.1 | [Historický vývoj](#)

3.2 | [Princip akumulace](#)

3.3 | [Snímací elektronky typu vidikon](#)

3.4 | [Snímací elektronky typu plumbikon](#)

3.1 Historický vývoj

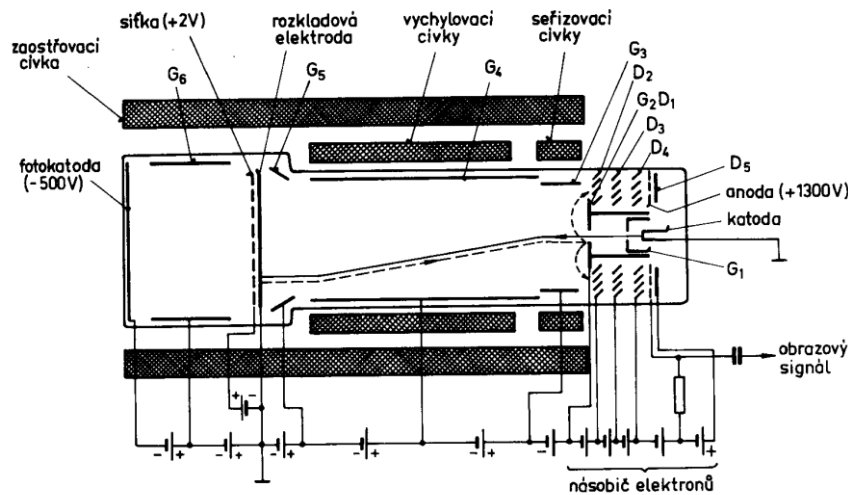
Rozvoj výroby a používání elektronek byl umožněn na základě vynálezu ruského vynálezce, inženýra a průkopníka v oblasti televizního signálu Vladimíra Zworykina (1888 – 1982) ve dvacátých letech 20. století. Byl jím vynález snímací elektronky s názvem **ikonoskop**. Jednalo se o elektronku pracující na principu fotoemise elektronů. Nevýhodou této elektronky je malá citlivost.

Tato elektronka se používala v televizních kamerách k přeměně dopadajícího světla na elektrický proud. Vzhledem k její malé citlivosti bylo nutné velké osvětlení snímané scény.

Koncem 30. let 20. století byla v Anglii vynalezena elektronka typu **ortikon**. Ta byla citlivější než ikonoskop a i ona pracovala na principu fotoemise. Vlivem relativně nestabilního provozu ale nedosáhla příliš velkého rozšíření.

Další vývojovou fází byl **superikonoskop**, což byl ikonoskop s elektronovým zesilovačem obrazu. V televizní technice byl používán v průběhu 40. a 50. let 20. století téměř ve všech snímacích zařízeních.

Později se objevily elektronky typu superortikon, které byly již velmi citlivé a které bylo možné v televizní technice používat i při menším osvětlení. Principiálně byly velmi podobné superikonoskopu. Tyto elektronky se používaly v televizní technice po celou dobu, kdy se natáčelo a vysílalo černobíle.



Obr. 59. Schéma superortikonu

Superortikon byl nejcitlivější snímací elektronka používaná v televizní technice pro snímání černobílého obrazu. Vyvinul se z ortikonu a to vzájemným oddělením fotokatody a akumulární elektrody. Superortikon je navíc vybaven elektronovým násobičem. Celý systém superortikon je umístěn v podélném magnetickém poli, vytvářeném zaostřovací cívkou.

Superortikon se skládá ze tří hlavních částí:

- zobrazovací části, obsahující obrazový měnič a akumulární elektrodu, zde se převádí optický obraz snímané scény na odpovídající elektronový obraz na tzv. mozaice-rozkladové elektrodě
- snímací části, ve které se vytváří obrazový signál
- zesilovací části, v níž se obrazový signál zesiluje násobičem elektronů

Obrazový měnič se skládá z fotokatody, elektrody G_6 , sítky, rozkladové elektrody a příslušné zaostřovací cívky. Kombinované elektrostatické a magnetické pole urychluje a zaostřuje fotoelektrony uvolněné ze zadní části fotokatody. Tyto fotoelektrony se elektronovou optikou zaostřují na přední část rozkladové elektrody- mozaiky. Její povrch má činitel sekundární emise pro fotoelektrony větší než jedna. Fotoelektrony dopadající na mozaiku vyřáží sekundární elektrony, které síťka odsává. Na obrazové mozaice se tak vytváří kladné náboje, úměrné jasu jednotlivých bodů snímané scény, vzniká tak elektronový

obraz. Velikost kladných nábojů je omezena (síťka odsává sekundární elektrony, dokud je proti mozaice kladnější, jinak se elektrony vrací zpět na mozaiku). Tím je zaručena správná činnost superortikon i při prudkém osvětlení.

Vlivem příčné vodivosti rozkladové elektrody se vzniklý náboj přenáší z předního na zadní povrch, ze kterého se snímá elektronovým snímacím paprskem. Snímací paprsek dopadá kolmo na rozkladovou elektrodu (vlivem působení G_1 až G_4) a působením pole zaostřovací cívky.

Před dopadem je paprsek zabrzděn brzdící elektrodou G_5 , takže na rozkladovou elektrodu dopadá téměř nulovou rychlostí. Zde paprsek vybije nahromaděné náboje, přičemž se povrch rozkladové elektrody stabilizuje na potenciálu katody. Zbytek elektronů, který nebyl spotřebován na vyrovnání náboje, se působením brzdícího pole vrací zpět k elektronové trysce. Tento paprsek je již modulován obrazovým signálem. Po zpětném vychýlení dopadá paprsek na elektrodu D_1 elektronového násobiče. Následně pak proud elektronů přechází na další dynody násobiče a odebírá se z pracovního rezistoru jako signál obrazové modulace.

Až dosud uvedené elektronky se vyznačovaly relativně velkými rozměry a nebyly proto vhodné např. k použití v barevných televizních kamerách.

V barevných televizních kamerách se používaly jako součást barvodělicí soustavy a byly tedy potřeba vždy tři kusy dané elektronky. A na ty v kamerách prostě nebylo dost volného prostoru.

Proto se pozornost techniků upřela na elektronky typu **vidikon**, které byly založeny na fotokonduktivním principu a které byly poprvé uvedeny na trh v roce 1951. Ty ale nevyhovovaly svou velkou setrvačností. Začátkem 60. let 20. století byla představena elektronka vidikon s rozkladovou elektronkou z oxidu olovnatého s názvem **plumbikon**. Tyto elektronky se pak (např. v televizní technice) používaly až do doby, než se začaly používat senzory v pevné fázi (např. CCD).

Z dnešního pohledu je použití snímacích elektronek v televizní technice již historickou záležitostí. Přesto ale některé fyzikální principy, které se používaly zejména v souvislosti s elektronekami, používají dodnes - např. princip akumulace.

3.2 Princip akumulace

Při optoelektrické přeměně se mění ve snímacích elektronekách nebo v senzoru CCD světlo na elektrický proud, jehož hodnota je přímo úměrná osvětlení příslušného místa elektronky nebo senzoru CCD. Elektrický náboj (též v této souvislosti nazývaný **kvantový zisk**) získávaný v reálném čase při snímání jednoho obrazového bodu (tzv. pixel) je velmi malý a signál tímto způsobem získaný, zaniká vlastně v šumu. Proto se u všech snímacích prvků využívá tzv. **princip akumulace**, při kterém se získává elektrický náboj z daného obrazového bodu po celou dobu snímání daného snímku (tedy i v době, kdy daný pixel není osvětlen).

Tímto způsobem se tedy při sběru elektrického náboje z daného pixelu zvětší hodnota výsledného náboje. Výhodou tohoto způsobu snímání je zvětšení celkového náboje odebraného z daného obrazového bodu. A větší hodnota náboje pak znamená větší elektrický proud procházející dalšími částmi snímacího systému a zlepšení poměru signál/šum - signál

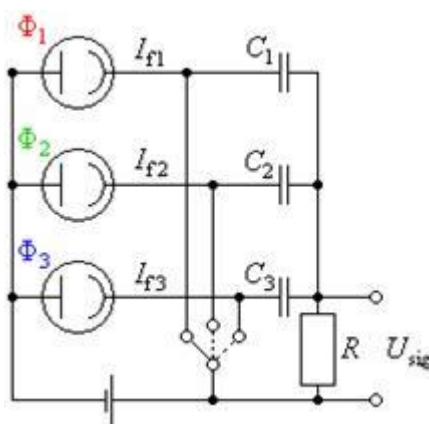
nesoucí informaci bude mít po zpracování dopadajícího světla uvedeným způsobem vyšší hodnoty než šum.

Fyzikální princip akumulace elektrického náboje se u jednotlivých typů snímacích prvků liší, ale hlavní myšlenka využití veškeré světelné energie, která na daný prvek po dobu trvání jednoho snímku dopadá, v přeměnu na elektrickou energii a následnou tvorbu signálu (např. televizního signál) je pro všechny prvky stejná.

Vysvětlení tohoto principu ukážeme na schématu zobrazeném na obr. 9. Jedná se o princip fotoemise, při kterém se získává elektrický náboj (resp. elektrický proud) na základě světelné energie a fotoelektrického jevu. Tento princip se používal u dnes již nepoužívaných elektronek, ale pro výklad základní myšlenky principu akumulace je toto schéma vhodné. Na jednotlivé snímací elektrody dopadá světlo popsané světelným tokem Φ . V elektronce se při fotoelektrickém jevu přemění světelná energie na elektrickou energii, což se projeví průchodem elektrického proudu i_f obvodem. Tento elektrický proud nabíjí jednotlivé kondenzátory, jejichž elektrický náboj je tedy úměrný osvětlení daného místa elektronky. Doba, po kterou se kondenzátor nabíjí, se nazývá **doba akumulace**.

Během této doby kondenzátor akumuluje („vstřebává“) elektrickou energii.

Po připojení rezistoru k nabitému kondenzátoru se tento kondenzátor během velmi krátké doby (**doba komutace**) vybíjí a na rezistoru je měřitelný úbytek elektrického napětí, který je úměrný osvětlení daného místa elektronky. Toto napětí je výstupní napětí daného signálu.



Obr. 9 Princip fotoemise

Zapojením podle schématu na obr. 9 se vytváří negativní signál, ve kterém nejvyššímu jasů snímaného obrazu odpovídá nejmenší záporné elektrické napětí (tj. napětí, jehož absolutní hodnota je největší ze všech možných, ale přitom má zápornou hodnotu).

Sestavíme-li z elementárních fotonek mozaiku odpovídající televiznímu rastru, pak bude každou z nich protékat elektrický proud odpovídající osvětlení daného obrazového bodu obrazovky (pixel).

Každému bodu (tj. každému pixelu) televizního rastru tak odpovídá sériové zapojení fotonky a kondenzátoru jako je zobrazeno ve schématu na obr. 9.

Tak získáme nábojový obraz snímané scény, ve kterém větší hodnota elektrického náboje odpovídá většímu osvětlení daného místa obrazu.

To ostatně vyplývá z fyzikální podstaty fotoelektrického jevu.

Jako přepínač, který je zobrazen ve schématu na obr. 9, pracuje svazek elektronů, které na mozaice elementárních fotonek vykresluje televizní rastr a postupně vybíjí jednotlivé kondenzátory. Na rezistoru o odporu R pak získáme signálové napětí odpovídající postupně snímaným obrazovým bodům. Toto signálové napětí je přitom úměrné osvětlení obrazových bodů.

Napětí na rezistoru vzniká průchodem elektrického proudu tímto rezistorem. A elektrický proud vzniklý při fotoefektu je přímo úměrný osvětlení daného obrazového bodu.

Na výstupu tedy již máme televizní signál, který odpovídá snímanému obrazu. Změny nábojů na jednotlivých kondenzátorech jsou tak malé, že nabíjení kondenzátoru a vybíjení kondenzátoru můžeme považovat za lineární děje.

Ve skutečnosti má nabíjení kondenzátoru a vybíjení kondenzátoru exponenciální průběh, tj. napětí i proud rostou (resp. klesají) exponenciálně v závislosti na čase.

Náboj Q jednoho elementárního kondenzátoru tedy můžeme psát ve tvaru

$$Q = i_f \cdot 2V = i_s \cdot \tau \quad \text{doba trvání pulsů } V = 20 \text{ ms}$$

kde i_f je elektrický proud generovaný osvětlením katody fotonky, $2V$ je doba akumulace (tj. *doba trvání snímku*), i_s je signálový elektrický proud a τ je doba komutace (tj. doba snímání obrazového prvku).

Symbolem V se značí *doba trvání pulsů* 20 ms, proto je zde použita dvojnásobná doba.

Signálový proud tedy můžeme vyjádřit vztahem

$$i_s = i_f \frac{2V}{\tau} = i_f \frac{40 \text{ ms}}{\tau} \quad \tau - \text{doba snímání jednoho obrazového bodu}$$

Hodnota signálového proudu je tedy tolikrát větší než hodnota elektrického proudu generovaného osvětlením fotonky, kolikrát je doba trvání snímku delší než doba snímání jednoho obrazového bodu. Doba trvání jednoho snímku $2V$ dělená dobou snímání jednoho obrazového bodu τ udává počet obrazových bodů jednoho snímku N a platí

$$N = \frac{2V}{\tau} = \frac{40 \text{ ms}}{\tau}$$

V televizní normě 625/50/2 (tj. vysílání na televizní obrazovce, která má 625 řádků, využívající pulsníkovou frekvenci 50 Hz a používající *prokládané řádkování*), tedy platí pro dobu kreslení viditelných 832 bodů z celkové doby trvání řádku $64 \mu\text{s}$, že doba snímání jednoho bodu je: $\tau = \frac{64 \mu\text{s} - 12 \mu\text{s}}{832} = 0,0625 \mu\text{s}$ kde $12 \mu\text{s}$ představuje dobu zatemnění řádku

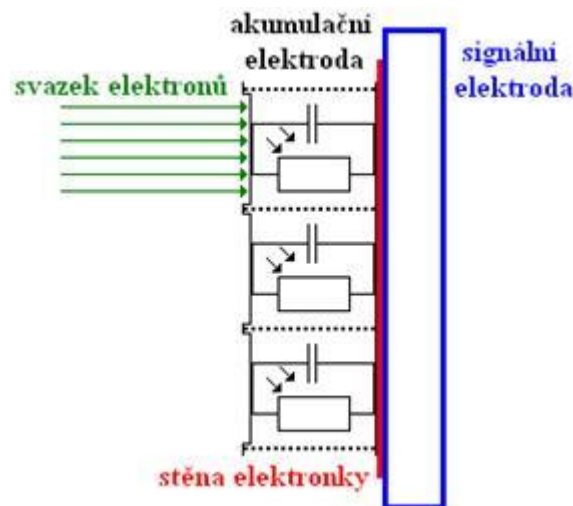
Potom počet viditelných obrazových bodů jednoho snímku je cca

$$N = \frac{40ms}{0,0625\mu s} = 640000 \text{ bodů}$$

Signálový elektrický proud má teoreticky 640000 krát vyšší hodnotu než elektrický proud generovaný při fotoelektrickém jevu ve fotonce. Ve skutečnosti je ale signálový proud vlivem různých ztrát menší.

3.3 Snímací elektronky typu vidikon

Snímací elektronky typu vidikon jsou založeny na fotovodivosti některých látek. Tyto látky mění svůj odpor v závislosti na intenzitě osvětlení elektromagnetickým zářením, které na ně dopadá. Klasické vidikony mají rozkladové elektrody vyrobené ze sulfidu antimonitého Sb_2S_3 . Podélný řez rozkladovou elektrodou vidikonu je schematicky zobrazen na obr. 10.



Obr. 10 Podélný řez rozkladovou elektrodou vidikonu

Rozkladová elektroda je umístěna na čelní skleněné desce baňky elektrody a je tvořena dvěma částmi.

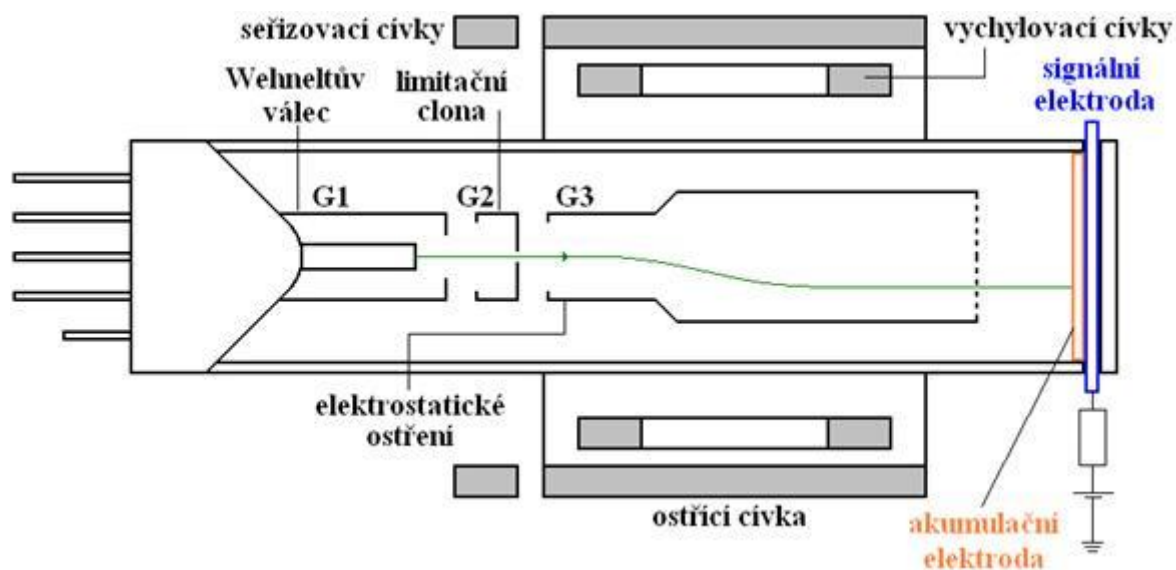
Z vnější strany je na desku nanášena průhledná vodivá **signální elektroda**, která má na okraji kruhový kontakt pro připojení vodiče, kterým se bude odvádět signálový proud. Vlastní **akumulační elektroda** z fotovodivého materiálu je nanášena z vnitřní strany baňky. Tento materiál tedy mění svoji vodivost v závislosti na intenzitě elektromagnetického záření, které na něj dopadá, a na základě vnitřního fotoelektrického jevu uvolňuje po dopadu daného záření elektrony. Materiál akumulace elektrody je přitom technologicky zpracován tak, že jeho příčná vodivost (radiální vodivost) je řádově mnohonásobně nižší než podélná vodivost (axiální vodivost). Proto je možné si tuto elektrodu představit jako mozaiku elementárních fiktivních kondenzátorů s paralelně zapojenými fotorezistory (viz obr. 10). Jednu elektrodu těchto fiktivních kondenzátorů přitom tvoří signální elektroda, druhou elektrodu pak vnitřní strana akumulace elektrody.

Elementární kondenzátory jsou v době komutace nabity svazkem elektronů na elektrické napětí rovné rozdílu potenciálů katody a signálové elektrody. Při vybíjení

kondenzátoru během doby akumulace prochází kondenzátorem vybíjecí elektrický proud I_f , který je generovaný osvětlením fotonky a jehož hodnota je přímo úměrná vodivosti jednotlivých použitých částí obvodu. Jejich vodivost je ale přímo úměrná osvětlení těchto částí obvodu elektromagnetickým zářením, a proto je vybíjecí proud elementárních kondenzátorů, který jimi projde za dobu akumulace, přímo úměrný osvětlení příslušného místa rozkladové elektrody. Nabíjecí proud, který těmito elementárními kondenzátory prochází v době komutace (tj. při nabíjení kondenzátorů), je tedy také přímo úměrný osvětlení daného místa rozkladové elektrody. Snímáme-li tento nabíjecí elektrický proud na rezistoru o vhodném odporu, získáme odpovídající signálové napětí. Svazek tak elektronů kreslí na vnitřní stranu rozkladové elektrody televizní rastr a signálové napětí pak tvoří přímo televizní signál.

Elektronkou tedy prochází svazek elektronů, který vznikl při fotoelektrickém jevu tak, že na vhodný materiál elektrody dopadlo světlo ze snímané scény. Tento svazek elektronů ale představoval signál, který byl velmi slabý a informace o snímaném obraze se ztrácela v šumu. Proto se do signálové cesty zařazuje elektronka typu vidikon, jejíž hlavní úlohou je na základě principu akumulace zesílit signál odpovídající zaznamenávanému obraze. A toto zesílení a „úprava“ signálu nastává právě v rozkladové elektrodě, která je složena z akumuláčnické elektrody a signální elektrody.

Na obr. 11 je zobrazen podélný řez elektronkou typu vidikon s magnetickým ostřením a magnetickým vychylováním. Na obrázku je zobrazena také cívková soustava.



Obr. 11 Podélný řez snímací elektronkou typu Vidikon

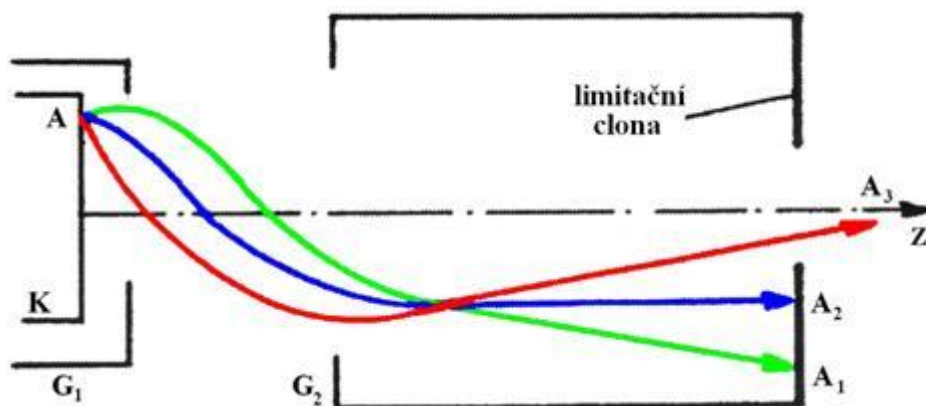
Běžné vidikony mají magnetické ostření a magnetické vychylování. Podélné magnetické pole vytváří ostřicí cívka a pomocí změny elektrického proudu, který jí prochází, se zaostřuje obraz limitační clony do roviny rozkladové elektrody. Pomocné elektrostatické ostření je realizováno elektrodou G_3 , která má napětí v řádu stovek voltů.

Limitační clona

Snímací elektronky mají ve srovnání s obrazovkami menší rozměry. Proto jsou u snímacích elektronek přísnější požadavky na zaostření elektronového svazku. Malá chyba se totiž snáze přehlédne na velké ploše stínítka než na malé. Proto se z elektronového svazku vybírá pouze jeho střední část, která má malý rozptyl velikostí radiálních rychlostí.

Pouze elektrony, které mají nulovou velikost radiální rychlosti, se šíří původním směrem. Ostatní jsou vlivem elektrostatických polí, jimiž jsou vystaveny, od původního směru odkláněny.

K omezení svazku elektronů slouží tzv. limitační clona (viz obr. 12) umístěná na výstupu elektrody G_2 (ta je součástí imerzního objektivu). V tomto místě se totiž přibližně nachází rovina obrazu katody. Limitační clona má centrální otvor o průměru přibližně $20\ \mu\text{m}$ a z elektronového svazku propouští pouze 1% všech elektronů (a to těch, které mají velmi malou velikost radiální rychlosti). Ostatní elektrony dopadají na elektrodu G_2 a jsou odváděny zpět do zdroje napětí.



obr. 12 Zobrazení principu limitační clony

Limitační clona je výstupním otvorem elektronového svazku na konci elektrody G_2 . Pro dosažení maximální možné ostroty reprodukováného obrazu je nutné vybrat nej kvalitnější část elektronového svazku, tj. tu část, která má minimální rozptyl radiálních rychlostí elektronů. A právě tato část svazku musí projít limitační clonou. K tomuto výběru kvalitní části elektronového svazku slouží **seřizovací cívky**, které svým magnetickým polem vychylují pohybující se elektrony v místě limitační clony a odstraňují tak vliv mechanických a elektrických nepřesností elektronové trysky.

Magnetické pole seřizovacích cívek je přitom řízeno a ovládáno elektrickým proudem, který těmito cívkami prochází.

Správné nastavení cívek se provádí tak, aby byl obraz maximálně ostrý na celé ploše obrazu. Další dvě dvojice vychylovacích cívek vychylují pohybující se elektrony ve vodorovném směru a ve svislém směru.

Seřizovací elektrody tedy „tlačí“ elektrony blíže k sobě, zatímco vychylující cívky pohybují ve vodorovném a ve svislém směru celým elektronovým svazkem.

Závažnou nevýhodou klasických elektronek typu vidikon s rozkladovou elektrodou vyrobenou ze sulfidu antimonitého, je jejich velká setrvačnost. Ta znemožňuje použití těchto elektronek v profesionálních kamerách programové televize. Tyto elektrony byly proto velmi často využívány v kamerách průmyslové televize.

Velká setrvačnost znamená, že elektronka prostě nestíhá zpracovávat signál, který do ní přichází. Doba potřebná na popsání změny signálu je příliš dlouhá, což se v případě televizního signálu projeví tak, že obraz bude trhaný – některé jeho snímky prostě budou chybět, protože je elektronka vůbec „nezaznamená“ kvůli zpracování předchozích snímků.

U průmyslové televize, která zobrazuje např. do vrátnice nebo na dispečink dění v tovární hale, na chodbách, u vstupní brány, ..., toto trhání obrazu nevadí. Obraz na monitorech má v tomto případě pouze informovat o dění v daném místě bez ohledu na detaily.

3.4 Snímací elektronky typu plumbikon

V roce 1964 nastal ve vývoji elektronek průlom: byla představena elektronka **plumbikon** firmy Philips. Tato elektronka je konstrukčně shodná s elektronekou typu vidikon, liší se pouze složením materiálu akumulární elektrody. Akumulační elektroda je u elektroneky typu plumbikon vyrobena z oxidu olovnatého PbO. Princip činnosti je stejný jako u vidikonu, ale její schéma je odlišné. Tam, kde jsou na obr. 9 v případě vidikonu zapojeny elementární fotorezistory, jsou u plumbikonu zapojeny elementární fotodiody zapojené v závěrném směru. Jejich proud v závěrném směru je tedy závislý na osvětlení fotodiody (a tedy na intenzitě dopadajícího světla). Tímto elektrickým proudem se vybíjejí příslušné elementární kondenzátory a akumuluje se v nich elektrický náboj (resp. elektrická energie). Další činnost plumbikonu při vytváření televizního signálu je shodná s vidikonem. Mezi hlavní výhody používání elektronek typu plumbikon patří její malé rozměry a přijatelně malá setrvačnost. Plumbikony se používaly při snímání obrazu barevné televize v barvodělicích soustavách televizních kamer až do poloviny 80. let 20. století.

Během vývoje elektronek vznikly další typy elektronek vidikon, které se lišily materiálem rozkladové elektrody. To mělo vliv na speciální vlastnosti, které daným materiálem elektroneky získaly (vysoká citlivost, možnost snímání v oboru infračerveného záření, ...). Tyto speciální elektroneky pak měly i své speciální názvy (kvantikon, saticon, newvicon, ...).

3.5 Snímače typu CCD

Snímací prvky se objevují ve velkém množství nejrůznějších zařízení. Asi nejvíce jsme si CCD spojili s digitálními fotoaparáty a skenery. Najdeme je však i v některých klasických videokamerách a používají se v různých obměnách v nejrůznějších zařízeních. Jejich funkce je zdánlivě jednoduchá. Tyto obvody snímají dopadající světlo a převádějí jej do podoby digitálního obrazu.

CCD v sobě skrývá slovní spojení Charge Coupled Device. Tyto fotocitlivé obvody převádějí dopadající světlo na elektrický náboj. Ten je pak měřen a převáděn do digitální podoby. Každý snímač je složen z velkého množství samostatných miniaturních buněk zaznamenávajících světlo samostatně.

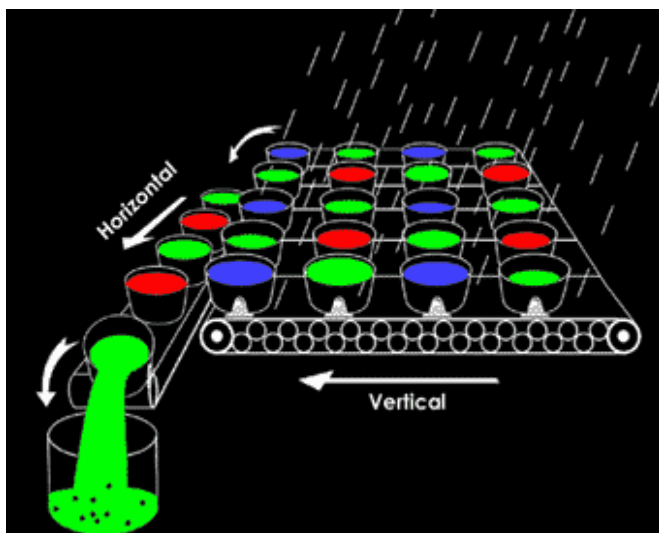
Digitální obraz je vždy složen z jednotlivých bodů (anglicky pixel). Každý bod má svoji barvu a jednotlivé body dohromady vytvářejí mozaiku obrazu. Pro lepší představu si ukážeme 5x zvětšený výřez fotografie s jasně patrnými jednotlivými body. Proč se zabýváme jednotlivými body obrazu? Protože jedna buňka snímače vyprodukuje právě ten jeden bod na výstupu, pokud se budeme bavit o obdélníkových snímačích. Z toho plyne jednoduchá rovnice. Čím více buněk má snímač, tím větší získáme obraz. Rozlišení snímače se udává v celkovém počtu buněk. Například pokud máme snímač s rozlišením 850.000 bodů (snímacích buněk) produkuje obraz s rozlišením 1024x768 bodů. Moderní snímače mají rozlišení 2-3 milióny bodů a špičkové snímače mají až 10 miliónů buněk.



obr.1 CCD snímač

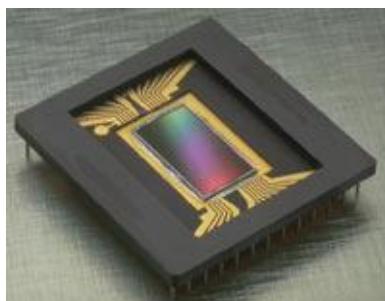
Podívejme se zblízka na jednu buňku snímače. Ta je vyrobena z několika desítek různých velice tenkých vrstviček materiálu. Celá buňka má velikost několika desetin milimetru. Na této malé ploše se odehrává převod světla na elektrickou energii. Zjednodušeně řečeno se odečítá rozdíl napětí vzniklý na dvou oddělených vrstvách. Tyto dvě vrstvy jsou doplněny celou řadou filtrů a dalších komponent, aby výsledkem byla hodnota napětí reprezentující dopadající světlo.

Pro lepší názornost si přiblížíme fungování buněk snímače na velmi oblíbeném příkladu. Představme si, že každá buňka je nádoba. Světlo je pro potřeby našeho zjednodušení nahrazeno deštěm. Buňka pak funguje tak, že se v ní zachytává dopadající dešť po dobu, kdy je odkryta (expozice). Pak už jen stačí změřit, kolik vody se v nádobě zachytilo a je hotovo.



obr.14 Model funkce buněk CCD snímače

Dále se budeme věnovat tomu, jak se změní elektrický proud na digitální hodnotu pro jeden bod. Za tímto převodem stojí pochopitelně analogově-digitální převodník. Ten vychází z toho, že buňka produkuje napětí řekněme 0 - 5mV. Protože výstupem jsou hodnoty v rozsahu 0-255, rozdělí tento člen rozsah 0-5mV na 255 dílků a například napětí 2,5mV přiřadí hodnotu 127. Zde se všeobecně používá ještě jedna technologie, o které se příliš nepíše. Tou je změna citlivosti snímače. Každý snímací prvek je nějakým způsobem citlivý na světlo. Tento fakt se je označován jako citlivost a většinou se pohybuje v rozsahu 75 až 200 ISO. Pokud výrobce potřebuje zvýšit citlivost snímače posune pouze rozsah převodníku. V lepším případě tuto možnost dá přímo uživateli. Jediným problémem je takzvaná hladina šumu, což je v podstatě nepřesnost jednotlivých měření



4. Přenos televizního signálu

Televizní signál vyrobený a zpracovaný v televizním studiu, je nutné nějakým způsobem dopravit k divákům. K tomu *slouží televizní vysílací síť*. Součástí této sítě jsou přenosové soustavy, které mezi sebou spojují televizní studia a jiné zdroje signálu, dále systémy umožňující dopravu signálu z vysílacího pracoviště k televiznímu vysílači. Celá složitost televizní sítě závisí na typu programu. Například u lokálního televizního vysílání, jde o trasu ; *studio – radioreléová trasa – zemský vysílač*.

Podstatné pro přenos televizního signálu je to, že v určitém časovém intervalu je potřeba přenést velké množství informace. K tomu je (např. oproti přenosu zvukového signálu) potřeba velká šířka pásma, ve všech částech přenosové cesty.

Tak např. podle normy CCIR D/K je potřeba přenést bez podstatného útlumu kmitočty od 25 Hz do 6,5 MHz. Pro takovou šířku pásma není možné použít např. telefonní kabel, vzdušné vedení atd. Pro tyto účely se dá použít pouze vysokofrekvenční vedení (souosé kabely, vlnovody, světlovody), nebo je potřeba použít bezdrátový přenos směrovými spoji, nebo pomocí družic. Pro dané přenosy je potřeba při digitálním zpracování informace poměrně velká přenosová kapacita komunikačního kanálu.

Na několika příkladech si ukážeme způsoby stanovení přenosové kapacity komunikačního kanálu, pro konkrétní druhy přenosů. Protože při digitálním přenosu přenášíme číslicový signál, který nabývá dvou hodnot 1 a 0, vyjádříme přenosovou kapacitu C_k pomocí středního výkonu signálu na vstupu demodulátoru přijímače S , šumu N a šířky pásma kanálu B .

$$C_k = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad 1.4.1$$

tento výraz je základním vztahem pro teorii rádiové komunikace. Veličina C_k je vyjádřena v bitech za sekundu.

Výraz \log_2 představuje logaritmus o základu 2. Základ 2 vychází z binárního kódování, které obsahuje pouze dvě hodnoty a to 1 a 0.

a) Určíme kapacitu komunikačního kanálu s šířkou pásma $B = 6$ MHz, který je určen k přenosu televizního signálu, při poměru signál k šumu $S/N = 50$ dB

$$C_k = 6 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 10^5) \text{ bit} / \text{s} = 99,6 \text{ Mbit} / \text{s}$$

nejdříve si vypočítáme výraz $\log_2 (1 + 10^5) = x$ výraz řešíme jako logaritmickou rovnicí

$$(1 + 10^5) = 2^x \text{ což představuje exponenciální rovnici}$$

Tuto rovnici řešíme ve tvaru $x \log 2 = \log (1 + 10^5)$, potom:

$$x = \frac{\log(1+10^5)}{\log 2} = \frac{5}{0,301} = 16,61$$

vypočtenou hodnotu x násobíme šířkou pásma $B = 6 \text{ MHz} = 6 \cdot 10^6$

$$C_k = 6 \cdot 10^6 \cdot 16,61 = 99,66 \text{ Mbit s}^{-1}$$

b) Nyní porovnejme vypočítanou kapacitu, která představuje dosažitelné maximum, se skutečnou rychlostí přenosu informace odpovídající černobílému televiznímu signálu. Předpokládejme, že uvažovaný televizní systém používá obrazovku, která vytváří snímek složený z 550 000 elementárních obrazových bodů; snímkový kmitočet 25 Hz. Dále předpokládejme, že každý ze zmíněných bodů může nabývat se stejnou pravděpodobností osmi tj. (2^3) rozlišitelných úrovní jasu, takže k jeho přenosu jsou zapotřebí tři bity. Potom přenosová rychlost bude:

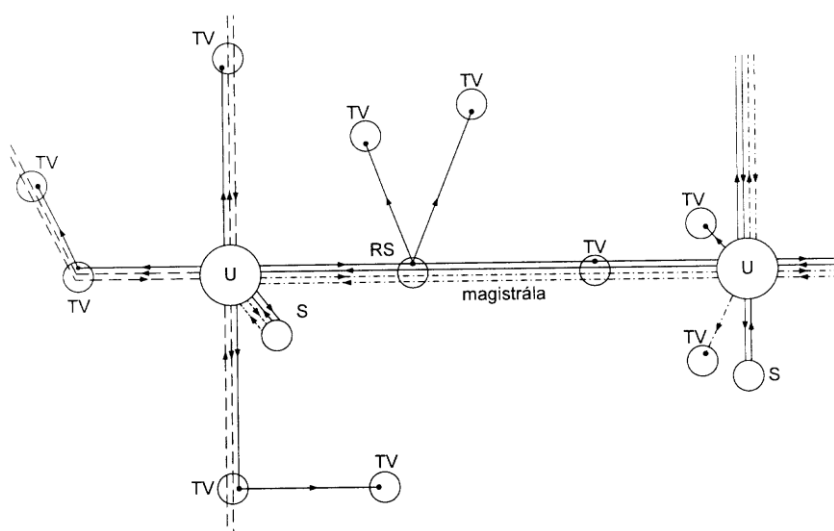
$$550\,000 \cdot 25 \cdot 3 \text{ bit s}^{-1} = 41\,250\,000 \text{ bit s}^{-1} = 41,25 \text{ Mbit s}^{-1}$$

Toto je tedy hledaná rychlost přenosu černobílého signálu. Zde je však nutno upozornit, že televizní obraz s pouhými osmi rozlišitelnými úrovněmi jasu je málo kvalitní, v programové televizi se používá hodnota $2^8 = 256$ úrovní a potřebná přenosová rychlost bude

$$550\,000 \cdot 25 \cdot 8 \text{ bit/s} = 110 \text{ Mbit/s}$$

Tento skutečný datový tok se však výrazně zmenší potlačením redundantních informací na doporučenou hodnotu 34 Mbit/s.

Na následujícím obrázku si ukážeme schéma části televizní sítě. Síť používá směrových spojů a je tvořena řadou jednotlivých stanic, z nichž některé jsou součástí vysílacích středisek, jiné jsou samostatné, v některých se jednotlivé spoje rozvětvují, jinými procházejí a v některých končí. Části sítě, do nichž je soustředěn nejdůležitější provoz tzv. tranzitní, se nazývají magistraly a tvoří páteřní síť pro spojení v celém státě.



obr.19 Schéma části televizní sítě; U = uzlová stanice, TV = televizní vysílač, RS = radioreléová stanice, S = televizní studio, plné čáry = jeden televizní program, čerchované čáry = další televizní program, čárkované čáry = mezinárodní spoje

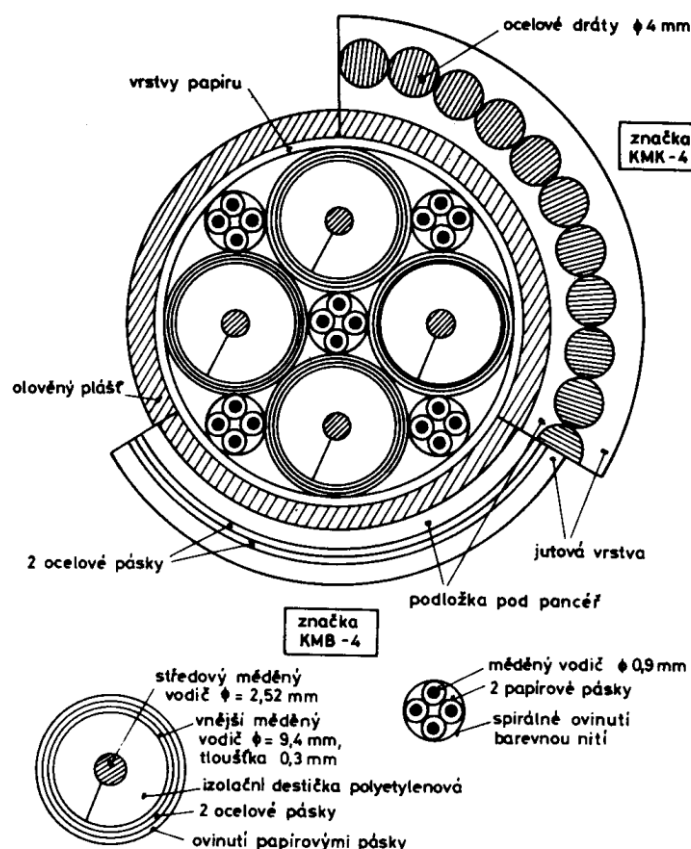
V bodech, kde se magistraly kříží, nebo rozvětvují, jsou umístěny uzlové stanice. Zde je soustředěn nejen provoz, ale bývá zde i technický dohled a řízení provozu stanic na připojených trasách.

V počátcích televizního vysílání byl televizní signál dopravován od kamery až po televizní přijímač analogovým způsobem. Po nástupu plné digitalizace přenosu se již pouze používají digitální systémy. Tyto systémy jsou velmi úsporné, pokud se týká využití kmitočtového spektra. Do kanálu, který byl schopen přenášet analogově jeden televizní program, lze při použití kompresních formátů, např. MPEG 2, umístit 4 až 8 televizních programů srovnatelné kvality.

V další části si ukážeme technologické způsoby přenosu televizního signálu. Pro přenos se využívají **kabelové a směrové spoje**.

4.1 Kabelové a směrové spoje

Pro přenos televizního signálu na úrovni televizních sítí se mohou používat souosé kabely, nebo směrová přenosová zařízení. Nejdříve se budeme zabývat přenosovým zařízením se souosým kabelem:



obr.20 Profil souosého kabelu KM-4 pro magistralní spojení

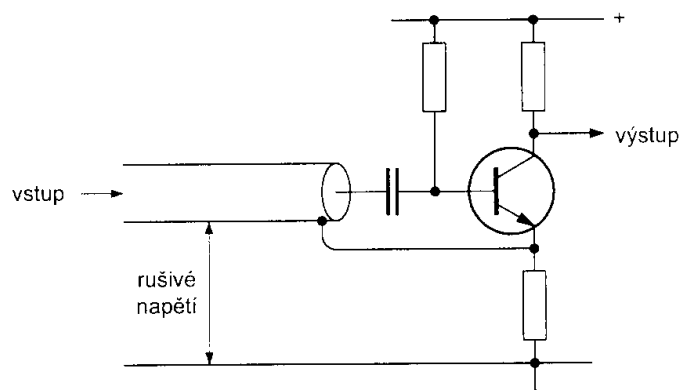
Při provozu se uvnitř kabelu udržuje stálý přetlak suchého vzduchu asi 50 kPa. Kabel obsahuje několik souosých trubek a současně i další vedení potřebná pro signalizaci apod.

Útlum kabelu je poměrně velký a proto jsou na trase nutné zesilovače po cca 6 km. Zesilovače jsou bezobslužné, napájení je dálkové. Po cca 100 km připadá jedna obslužná stanice.

Při šířce pásma jednotlivých zesilovačů od 250 do 8600 kHz je sousá magistála schopna přenést televizní program včetně zvukového doprovodu a navíc 300 telefonních hovorů. Pokud není přenášén televizní signál, má zařízení kapacitu 1920 telefonních kanálů. V současné době se kabelový rozvod stále ještě používá ve velkých městech. Ke spojení se používá *kabelové zařízení TV21d*, německé výroby. Jedná se o polovodičové zařízení přenášející televizní signál analogově v pásmu 0 až 5 MHz do vzdálenosti až 35 km. Používá se *amplitudová modulace* nosné vlny o kmitočtu 21 MHz, přičemž přenášené pásmo je 16 až 26 MHz.

4.1.1 Přenos v základním pásmu

Kabelem můžeme přenášet televizní signál i v základním pásmu, bez použití modulace. Základním problémem je však velká šířka pásma 25 Hz až 6,5 MHz (kmitočtový rozsah 18 oktáv). Při takové šířce pásma se vlastnosti kabelu zřetelně mění. Projevuje se kmitočtová závislost útlumu a skupinové zpoždění. Přenosový systém musí být vybaven poměrně výkonnými korektory obou parametrů. Další problém představují rušivé signály síťového kmitočtu a signály silných středovlnných a dlouhovlnných rozhlasových vysílačů. Vzhledem k délkám kabelů, není možné zajistit stejný potenciál uzemněné části vstupu a výstupu trasy. Navíc se do pláště kabelu mohou indukovat značné proudy z energetických rozvodů, napájecích sítí veřejné dopravy apod. U běžných obrazových, nebo zvukových signálů jsme zvyklí na odstup rušivých napětí (brumu) 40 a více dB, bývá v tomto systému rušivý signál blízký této hodnotě, nebo i vyšší, než úroveň užitečného signálu. K potlačení rušení se používá buď klíčovací obvodů, nebo zapojení s tzv. plovoucí zemí, viz. obr.21



obr.21 Princip zesilovače s plovoucí zemí

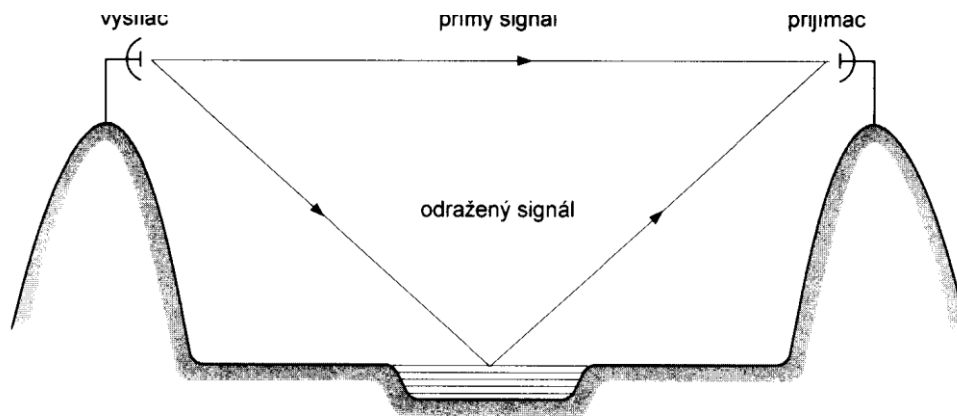
Z obrázku je patrné, že vstupní tranzistor je buzen pouze napětím mezi středním a vnějším vodičem sousého kabelu. Pokud má kabel jako celek nějaké napětí proti kostře zesilovače, projeví se to pouze jako kolísání napájecího napětí tranzistoru (úbytek napětí na emitorovém odporu U_{Re}). Vzhledem k nepatrnému sklonu kolektorových charakteristik se toto kolísání na výstupu téměř neprojeví. V praxi tak dosáhneme potlačení 40 a více dB.

4.1.2 Přenosová zařízení s optickými vlákny

Přenosy optickým vláknem se v poslední době velmi rozšířily. Optické vlákno má mnoho výhod, neobsahuje měď, umožňuje přenos ve velké šířce pásma a je naprosto odolné proti rušení elektrickými signály, nebo elektromagnetickým polem. **Další informace o optických vláknech máte v předmětu Elektronika 03 .**

4.1.3 Směrové přenosové cesty

Přenos informace je proveden pomocí elektromagnetického pole, které je soustředěno do úzkého svazku na trase mezi vysílačem a přijímačem.



obr.22 Několikacestné šíření signálu směrového spoje

Při šíření signálu pomocí směrových spojů vznikají problémy s kolísáním útlumu přenosového prostředí mezi stanicemi (např. vlivem atmosférických srážek) nebo tím, že následkem odrazu elektromagnetické vlny nastane interference mezi přijímaným a odraženým signálem, který je fázově zpožděný.(viz.obr. 22).

Vliv mnohacestného šíření můžeme potlačit vhodným vyzařovacím diagramem antény, tedy jeho maximálním zúžením a potlačením parazitních vyzařovacích laloků.

Charakteristické vlastnosti směrových spojů ;

- používá se velmi vysokých kmitočtů 2 až 38GHz, pásma od 13 GHz se používají pro digitální přenosy
- elektromagnetické vlny se šíří přímočaře
- spoj je rozdělen na několik tzv. retranslačních stanic
- spojové systémy jsou umístěny na nejvyšších bedech terénu
- používají se antény s velkým ziskem

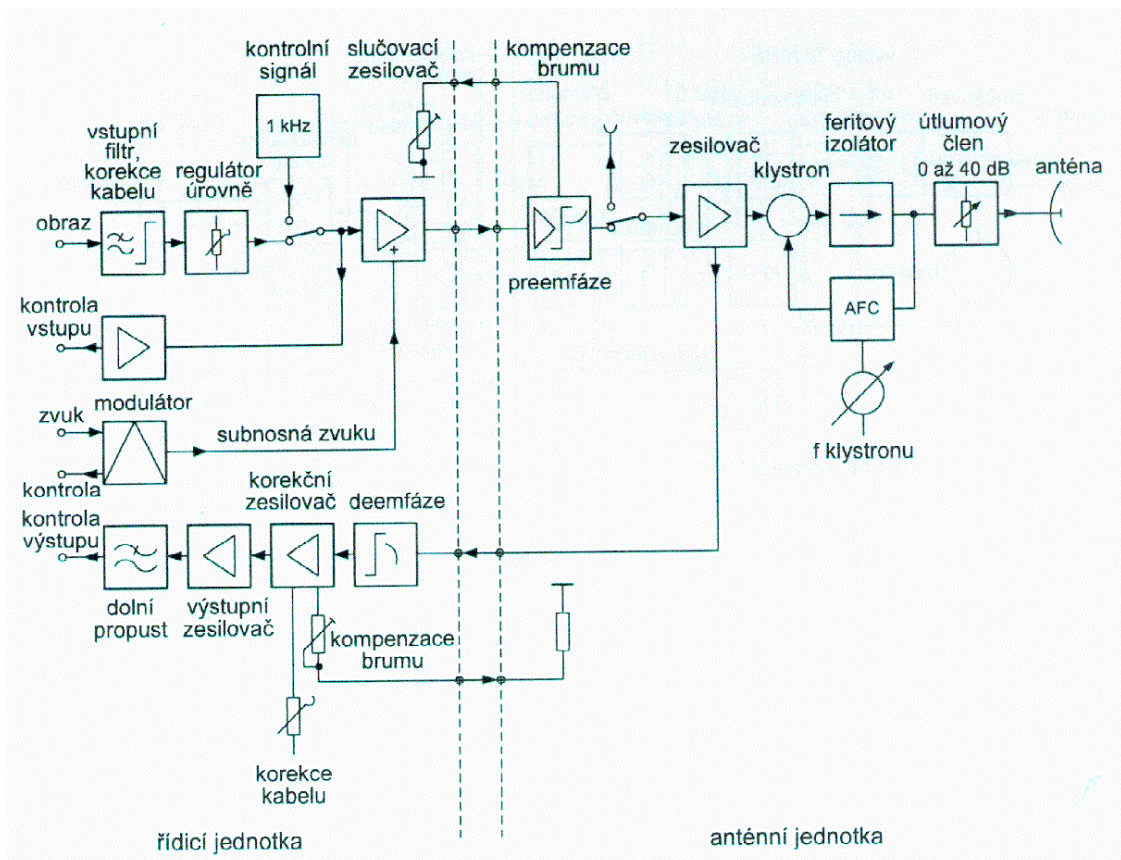
4.1.3.1 Způsob přenosu televizního signálu u mobilních spojů

Téměř všechna zařízení směrových spojů s analogovým přenosem používají stejný princip:

- Obrazový signál se sloučí s pomocnou nosnou vlnou zvukového doprovodu, která je zvukovým signálem kmitočtově modulována, a takto získaný signál se namoduluje kmitočtově na nosnou 70 MHz. Tím vznikne mezifrekvenční signál, který se ve směšovači kombinuje se signálem místního oscilátoru, takže se přeloží do mikrovlnného pásma. Kmitočtová modulace se používá z důvodu lepšího odstupu signálu od šumu.

Zařízení mobilních spojů se skládá ze dvou částí. První je řídicí a obsahuje také napájecí zdroje. Druhá jednotka, anténní, je těsně spojena s anténou a obsahuje mikrovlnné obvody. Obě jednotky jsou spojené tzv. multikabelem, který je složen z mnohažilového kabelu pro napájení i pro telefonní spojení mezi řídicí a anténní jednotkou a ze sousého kabelu pro obrazový a zvukový signál.

Skupinové schéma zapojení zařízení MT 16 je na obr.23

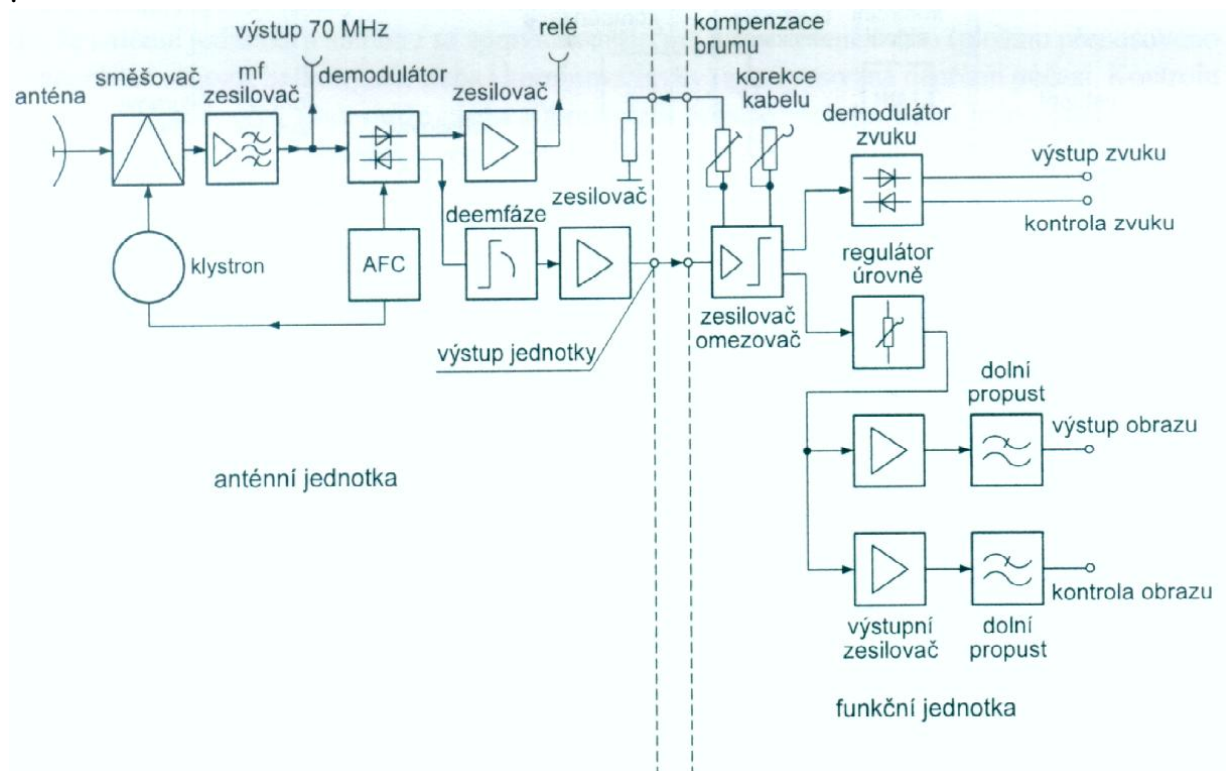


obr.23 Skupinové schéma vysílače mobilního pojítka MT 16

Obrazový a zvukový signál vstupují do řídicí jednotky, v níž je možné nastavit potřebné úrovně a vykorigovat zkreslení způsobené přívodním kabelem. Zvukový signál je kmitočtově namodulován na subnosnou 8 MHz a je sloučen se signálem obrazu ve slučovací zesilovači. Řídí jednotka obsahuje také kontrolní zesilovače obrazu a zvuku, které umožňují sledovat kvalitu vstupního signálu. Dále je v obvodu kontrolní zesilovač, který umožňuje kontrolu signálu těsně před klystronem.

Kabelem se signál dostane do anténní jednotky, kde je zesílen a v případě potřeby kmitočtově upraven obvodem preemfáze. Následně kmitočtově moduluje klystron s výkonem 0,2W. Klystron je připojen přes feritový izolátor a nastavitelný útlumový člen k parabolické anténě o průměru 1 m.

Přijímač popisovaného zařízení pro mobilní přenosy je po mechanické stránce uspořádán podobně jako vysílač. Skupinové schéma je na obr.24.



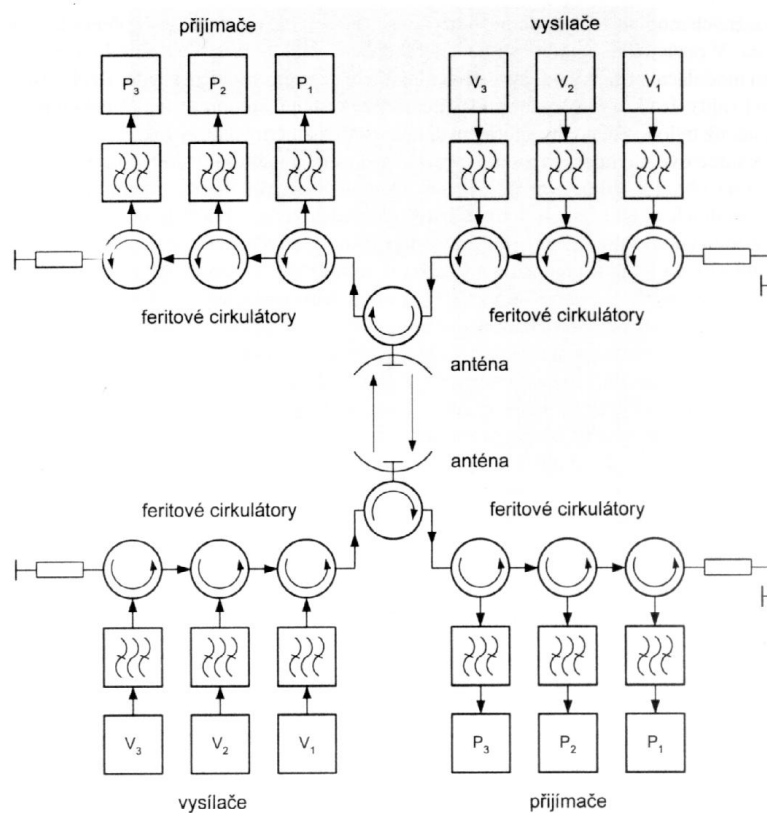
obr.24 Skupinové schéma přijímače mobilního pojítka MT 16

V anténní jednotce jsou opět mikrovlnné obvody. Signál vstupuje do směšovače, kde vytvoří mezifrekvenční signál, pomocí místního oscilátoru, který je tvořen reflexním klystronem. Mezifrekvenční signál leží v pásmu 70 MHz. Signál je dále zpracován klasickým způsobem a po následném zesílení je připojen ke vstupním svorkám anténní jednotky. Odtud je možné signál přenést do dalšího vysílače, v případě retranslačního přenosu, nebo propojit do další části televizního řetězce.

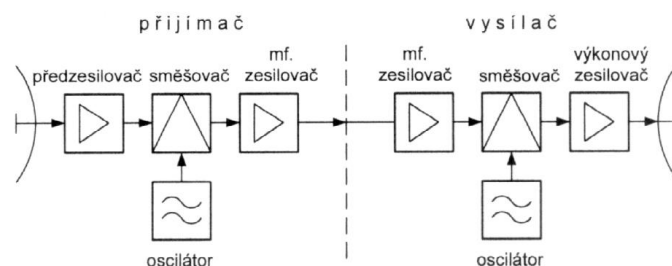
4.1.3.2 Pevné (stacionární) směrové spoje

Směrový stacionární spoj obsahuje zpravidla několik stanic: koncové a releové. Pokud spoj přenáší signál pouze v jednom směru mluvíme o simplexním (jednosměrném) spoji. Pokud je trasa schopna přenášet signály obousměrně jedná se o duplexní přenos. Kanálu, který přenáší určitou šířku pásma (8 MHz až 14 MHz) říkáme stvol.

Jeden stvol může přenášet jeden analogový program barevné televize s jedním nebo až čtyřmi zvukovými doprovody, nebo několik set(až 2700) telefonních kanálů, popř. několik rozhlasových programů. Při digitálním provozu mívá stvol přenosovou kapacitu 34 nebo 140 Mbitů/s. Na obr.25 je skupinové schéma releové stanice stacionárního spoje. Zde se signál převádí směšovačem přijímače do mezifrekvenčního pásma, pak se zesiluje a ve směšovači vysíláče opět převádí do mikrovlnného pásma.



Obr. 23 Zjednodušené zapojení duplexního směrového spoje



Obr. 24 Skupinové schéma releové stanice stacionárního směrového spoje

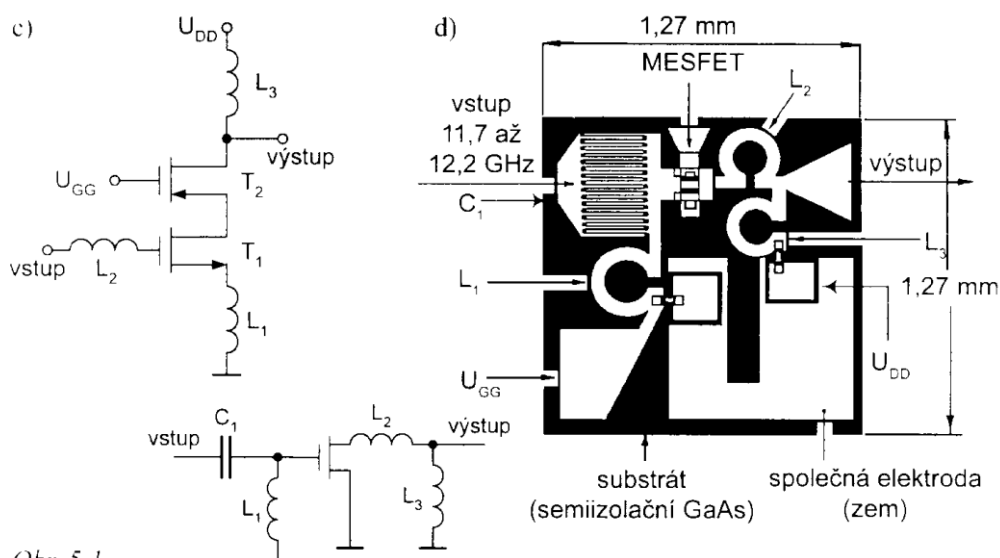
4.1.3.3 Aktivní a pasivní součástky směrových spojů

Pro vytvoření kmitů, zesilování signálů, jeho demodulaci, směřování a násobení kmitočtů a pro modulaci je nutné používat mimo běžných pasivních prvků i aktivní prvky. Obvody, které pracují na kmitočtech pod 100 MHz bývají osazeny běžnými polovodičovými součástkami. V poslední době se téměř výhradně používá technologie techniky povrchové montáže (SMD = Surface Mounted Device).

V obvodech velmi vysokých kmitočtů řádově GHz, je nutné z důvodu průletové doby elektronů a uplatnění parazitních vlastností aktivních prvků volit speciální prvky. Jsou to hlavně mikrovlnné tranzistory, mikrovlnné integrované obvody, některé druhy diod, které vykazují statickou, nebo dynamickou oblast záporného diferenciálního odporu, speciální hrotové diody a v případě elektronek pak klystrony a permaktrony. Je však nutné volit i zcela jinou obvodovou techniku. V oblasti velmi vysokých kmitočtů se pracuje výhradně s dutinovými, plošnými rezonátory a mikropáskovými vedeními. Přenos energie(signálu) mezi jednotlivými obvody zařízení se provádí pomocí souosých kabelů, nebo vlnodů. *Problematika vlnodů a dutinových rezonátorů byla podrobně probrána ve druhém ročníku v tématickém celku VKV technika.*

4.1.3.3.1 Mikrovlnné tranzistory

Konstrukce mikrovlnných tranzistorů, ať už v bipolárním provedení, nebo řízených polem FET, je velmi složitá. Základním problémem je požadavek na vysoký výkon a současně na vysoký mezní kmitočet. Z hlediska dostatečného výkonu by polovodičový přechod měl být dostatečně velký, avšak pro dosažení krátké průletové doby nosičů náboje musí mít rozměry co nejmenší. Malé rozměry přechodů jsou důležité i z hlediska minimálních kapacit a časových konstant vstupního a výstupního obvodu. U těchto tranzistorů se pracuje s velkou proudovou hustotou (až $100\text{A}/\text{mm}^2$). Tranzistory bývají zhotoveny galiumarsenidu (GaAs). S moderními výkonovými tranzistory lze na kmitočtech nad 10GHz dosáhnout výkonů řádu W.



Obr. 5.1

Úzkopásmové zesilovače:

c) monolitický kaskádový zesilovač pro pásmo 1,5 GHz;

d) monolitický mikrovlnný integrovaný zesilovač s tranzistorem MESFET pro pásmo 12 GHz.

Jedním ze základních zapojení monolitických vysokofrekvenčních obvodů je diferenciální zesilovač, skládající se ze dvou tranzistorů v diferenciálním zapojení a z třetího tranzistoru v jejich emitorech. Jiným velmi často používaným zapojením monolitických zesilovačů je kaskáda, což je v případě bipolárních tranzistorů zapojení SE-SB, u tranzistorů FET zapojení SS-SG.

Druhý stupeň kaskády má velké napěťové zesílení, dobrou stabilitu a malý vstupní odpor. První stupeň má malé napěťové zesílení A_u , neboť je zatížen malým vstupním odporem druhého stupně a tím má i dobrou stabilitu. Má však současně velké výkonové zesílení, takže šum druhého stupně se téměř neuplatňuje. V souhrnu kaskáda poskytuje velké výkonové zesílení, malý šum a dobrou stabilitu. Zapojení je na obr. 5.1 c.

Kaskáda se používala již u elektronkových zesilovačů a to jako kaskádní zapojení SK-SM. Zapojení se vyznačovalo velkým zesílením a malým šumem. Používaly se dvojité triody např. E88CC, zapojení tvořilo vstupní vf. zesilovač FM přijímačů.

Na obr. 5.1 d je příklad monolitického mikrovlnného zesilovače pro pásmo 11,7 až 12,5 GHz, určeného pro anténní jednotku přijímače družicové televize. S jedním tranzistorem MESFET z GaAs má zesilovač v uvedeném pásmu výkonový zisk větší než 7,5 dB a šumové číslo F není větší než 3 dB.

4.1.3.3.2 Varaktory

Polovodičové diody se v závěrné oblasti chovají jako kondenzátory, jejich kapacita je závislá na přivedeném napětí (viz. kapacitní dioda) To znamená, že mají vlastnosti nelineárního kondenzátoru. Diody které jsou vytvořené tak, že jimi simulovaný nelineární kondenzátor má i v mikrovlnném pásmu nepatrné ztráty se nazývají *varaktory*.

Varaktory se používají v technice směrových spojů též jako násobiče kmitočtu ve výkonových stupních. Vzhledem k jejich nelineárnosti je totiž možné vynásobit kmitočet bez větší výkonové ztráty, což dovoluje vytvořit z tranzistoru s nižším mezním kmitočtem (ale s dostatečným výkonem) a varaktorového násobiče vysílací jednotku s dobrými vlastnostmi.

4.1.3.3.3 Diody se záporným diferenciálním odporem

Z teorie je známo, že prvky vykazující v určité oblasti pracovní charakteristiky záporný odpor, mohou pracovat jako zesilovače, nebo oscilátory. Takovým prvkem byla tetroda, která vykazovala v určité oblasti anodové charakteristiky dynatronový jev- záporný odpor. Používala se jako dynatronový oscilátor, ale i jako zesilovač. Podobnou charakteristiku vykazuje tunelová dioda. V oboru mikrovlnných obvodů se používají diody s dynamickým záporným odporem, který se projevuje pouze na vysokých kmitočtech. Patří sem Gunnovy diody, lavinové diody v modu Impatt.

4.1.3.3.4 Směšovací a spínací diody

Podobně jako v ostatních oborech elektroniky nalézají své místo v mikrovlnné technice i klasické usměrňovací diody. Pro použití v mikrovlnných obvodech, však musí být konstrukčně upraveny. Jde hlavně o co nejmenší vlastní kapacitu a indukčnost, dále je nutná co nejkratší zotavovací doba. Patří sem diody PIN, které jsou konstruovány tak, že mezi nevlastní polovodiče P a N je vložena oblast s vlastní vodivostí, tzv. intrinsitní vrstva. Od

určité frekvence se dioda PIN chová jako odporový jednobran, jehož odpor je závislý na procházejícím stejnosměrném proudu. Používá se pro konstrukci řízených útlumů v mikrovlnné oblasti, v televizních kanálových voličích jako spínací diody, nebo v moderních digitálních systémech, kde umožňují klíčování nosné vlny s přenosovými rychlostmi v řádu Mbitů/s.

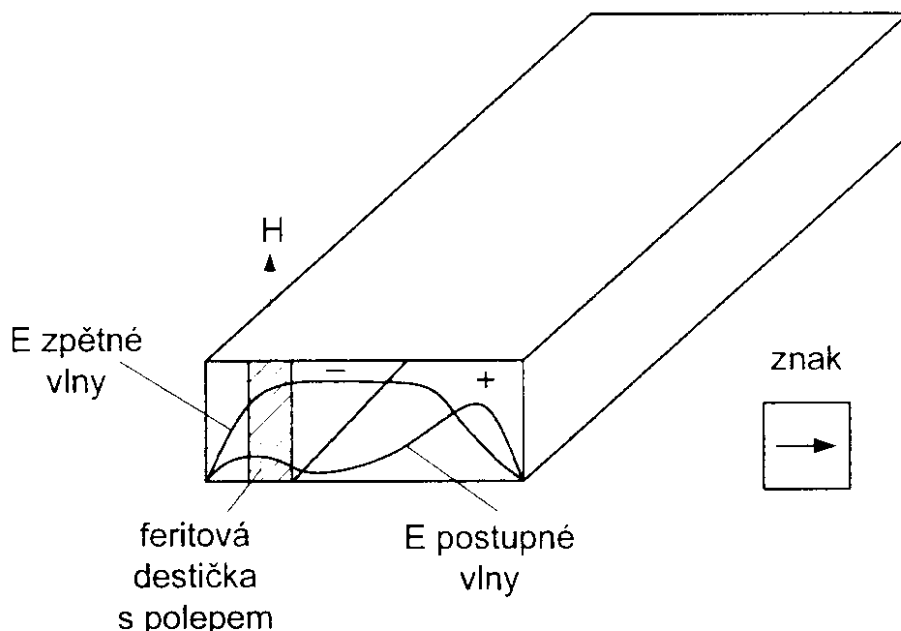
Pro směšovací účely se používají Schottkyho diody. Je to polovodičová dioda s přechodem *polovodič-kov*. Jako polovodič se používá *křemík Si*, nebo *arsenid galia GaAs*, *kovový kontakt je zlatý (Au)*. Diody tohoto typu umožňují dosáhnout velmi malých šumových čísel F, mikrovlnných přijímačů. Používají se jako směšovače. Při použití ve funkci detektoru mají větší citlivost než ostatní typy diod. Pracují až do teploty 250°C, u křemíkových diod dosahují mezních frekvencí 18 GHz a u diod GaAs až 300 GHz.

4.1.3.3.5 Feritové prvky

Feritový izolátor

V mikrovlnné oblasti se používají také mikrovlnné prvky s feritem, které využívají zvláštnosti šíření elektromagnetických vln ve zmagnetovaném feritu. Uplatňují se zde dvě hlavní vlastnosti. Především je to velký měrný odpor feritu, který znamená velmi malé ztráty a tím i nepatrný útlum vysokofrekvenční energie, která jím prochází.

Druhá vlastnost je interakce procházejících vln s rotujícími elektrony magnetu, která vede k deformaci elektromagnetického pole. Na těchto principech je založena funkce feritového izolátoru, který představuje ve vlnovodu jakousi zpětnou klapku.



obr.25 Feritový izolátor

Průřez izolátorem je na obr.25. Jedná se část vlnovodu, do které je poblíž jedné stěny vložena feritová destička opatřená polepem ze ztrátového materiálu. Je-li destička zmagnetována, pak vzniká deformace pole. Průběh elektrického pole postupné vlny je naznačen křivkou E se znaménkem +, zatímco průběh pole vlny ve zpětném směru ukazuje křivka se znaménkem -. Vidíme, že elektrická složka pole postupné vlny E_z , při vidu TM,

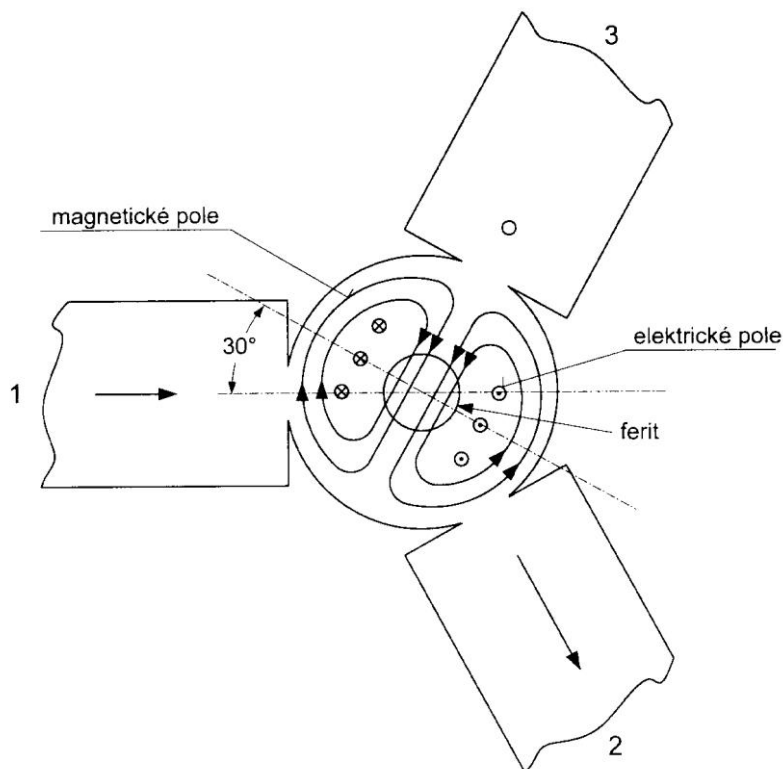
má v oblasti polepu ze ztrátového materiálu velmi malou hodnotu, zatímco pro vlnu odraženou je hodnota značná. To znamená, že postupná vlna není téměř tlumena, zatímco vlny odražená je pohlcena tlumícím materiálem.

Výsledek je takový, že izolátor propouští energii pouze jedním směrem bez znatelného útlumu (v praxi 0,5 až 1 dB) a ve směru opačném má značný útlum přesahující hodnotu 40 dB.

Při zapojení feritového izolátoru mezi generátor a nedokonale přizpůsobenou zátěž, tedy izolátor utlumí odraženou energii a generátor tak může pracovat tak, jako by byl ideálně přizpůsoben.

Feritový cirkulátor

Jiným prvkem, který využívá vlastností feritu je cirkulátor. Jeho schéma je na obr. 26. Jedná se o vlnododovou spojku ve tvaru Y, která má tři vlnododová ústí. Uprostřed je umístěn zmagnetovaný feritový váleček. Následkem interakce procházejících vln s rotujícími elektrony dochází k pootočení elektromagnetického pole uvnitř cirkulátoru o 30° , jak je patrné z obrázku obr.26. V důsledku pootočení se rameno 3 dostává do oblasti, v níž je elektrické pole nulové, zatímco v oblasti ramen 1 a 2 je elektrické pole stejně velké, ale s opačným znaménkem. To tedy znamená, že při přívodu energie do ramene 1 se signál v plné velikosti přeneše do ramene 2, zatímco rameno 3 je izolováno.



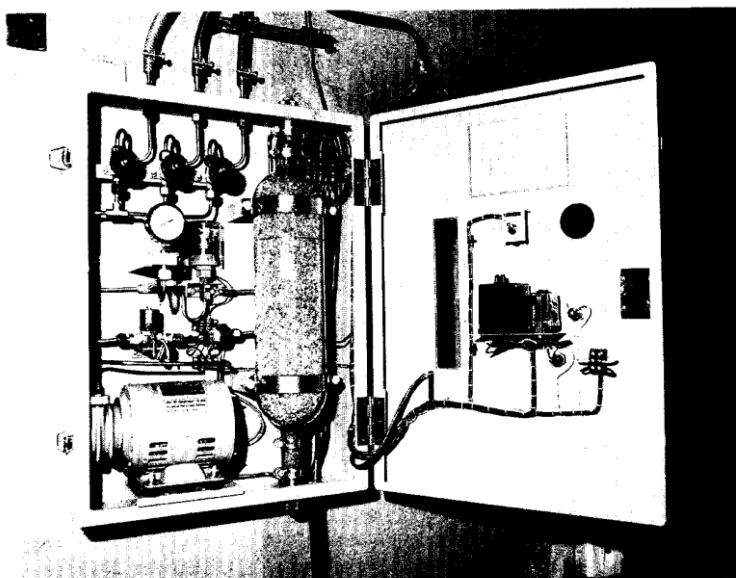
obr.26 Feritový cirkulátor

Vlastnosti cirkulátoru je možné s výhodou využít i při konstrukci sdružovačů umožňujících současnou práci několika vysílačů a přijímačů do jedné antény. Zde se používají v kombinaci s pásmovými filtry. Vložný útlum cirkulátoru bývá asi 0,2 až 0,3 dB a útlum je kolem 30 dB. Zajímavá je i ta okolnost, že zatímco u izolátoru je zatěžovací odpor součástí prvku (polep na feritu) a určuje tak jeho zatížitelnost, cirkulátor neobsahuje žádné odporové materiály a tak lze jeho zatížitelnost podstatně zvýšit. Běžné cirkulátory jsou

dimenzované na výkon desítek až stovek wattů , takže se používají i v technice televizních vysílačů IV. a V. pásma.

4.2 Napáječe směrových spojů

Elektrickou energii vyrobenou ve vysílači směrového spoje (nebo naopak přijatou anténou) je potřeba dopravit k dalším částem zařízení. Při nižších kmitočtech k tomu používáme souosé kabely, na kmitočtech nad 2 GHz používáme výhradně vlnovody. *Teorii vlnovodů jste probrali ve druhém ročníku v tématickém celku „VKV technika“.* V současné době se používají vlnovody ohebné. Jsou to vlnité měděné trubky kruhového, nebo oválného průřezu, opatřené polyetylenovým ochranným pláštěm. Např. vlnovod HE 60 má eliptický průřez s osami 55 a 32 mm, vykazuje útlum asi 4 dB/100m a má poměr stojatých vln lepší než 1,1. Hmotnost je asi 1 kg/m, minimální poloměry ohybu jsou 300 a 800mm, dovolený vnitřní přetlak je 70 kPa. Vlnovod je dimenzován pro šíření základního vidu. Samotný vlnovodový trakt je hermeticky utěsněn a naplněn suchým vzduchem o určitém přetlaku. Toto zajišťují tzv. dehydrátory, viz (obr. 27).



obr.27 Dehydrátor

4.3 Antény směrových spojů

Už podle názvu je vidět, že se jedná o antény se směrovým vyzařovacím diagramem. U směrových spojů se spojení uskutečňuje z bodu do bodu úzkým paprskem rádiových vln. Požadavky které klade směrový spoj na anténu, jsou specifické. Hlavním požadavkem je tvar vyzařovacího diagramu. Přitom jde o zisk antény tj. o soustředění energie do hlavního směru, dále o tzv. předozadní poměr, případně o parazitní záření.

Ziskem rozumíme poměr energie, kterou anténa v hlavním směru vyzáří a energie, kterou by v tomto směru vyzáříl všesměrový (isotropní) zářič (případně elementární, nebo půlvlnný dipól). U směrových spojů se vyžaduje zisk G mezi 25 až 50 dB. Že se jedná o velký zisk, můžeme posoudit následující úvahou. Zisk 40 dB znamená zvětšení výkonu 10 000 krát.

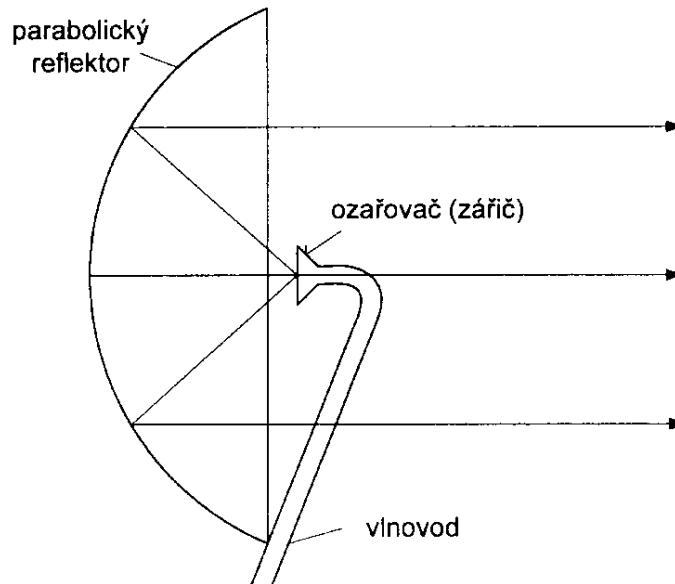
$$G_a = 10 \cdot \log 10000 = 10 \cdot \log 10^4 = 40 \text{ dB}$$

Při výkonu vysílače 1 W to znamená, že v hlavním směru vyzařování je stejná hustota energie, jakou bychom dosáhli vysílačem o výkonu 10 kW se všesměrovou anténou.

Takže pozor u těchto systémů se nedoporučuje pohybovat se v těsné blízkosti antény, nebo dokonce stát v hlavním paprsku. Současně potřeba vzít v potaz kmitočet vysílaného signálu, který v oblasti GHz způsobuje vážné zdravotní problémy.

Velmi důležitý je u antén také předozadní poměr (*činitel zpětného příjmu*) a parazitní laloky.

Po konstrukční stránce jsou antény směrových spojů většinou upraveny tak, že v nich zářič posílá energii na odrazovou plochu-*reflektor*, který soustředí vyzařovanou energii do žádaného směru. Úkolem zářiče je přizpůsobit impedančně vlnovod volnému prostoru a rovnoměrně ozářit reflektor. V nejjednodušším případě bývá zářič konstruován jako trychtýřové zakončení vlnovodu. Příklad takové uspořádání je na *obr.28*.



obr. 28 Princip parabolické antény

Tyto antény se používají u směrových spojů nejčastěji. Vyrábí se v průměrech asi od 0,3 do 5 m. Pro moderní spoje v pásmech nad 10 GHz jsou typické rozměry od 0,3 do 1,2 m

5. Televizní vysílače

Tuto kapitolu rozdělíme na dvě části. V první části se budeme zabývat vysílači pro analogové vysílání, ve druhé části se budeme zabývat vysílači pro digitální vysílání DVB-T.

5.1 Základní koncepce analogových vysílačů.

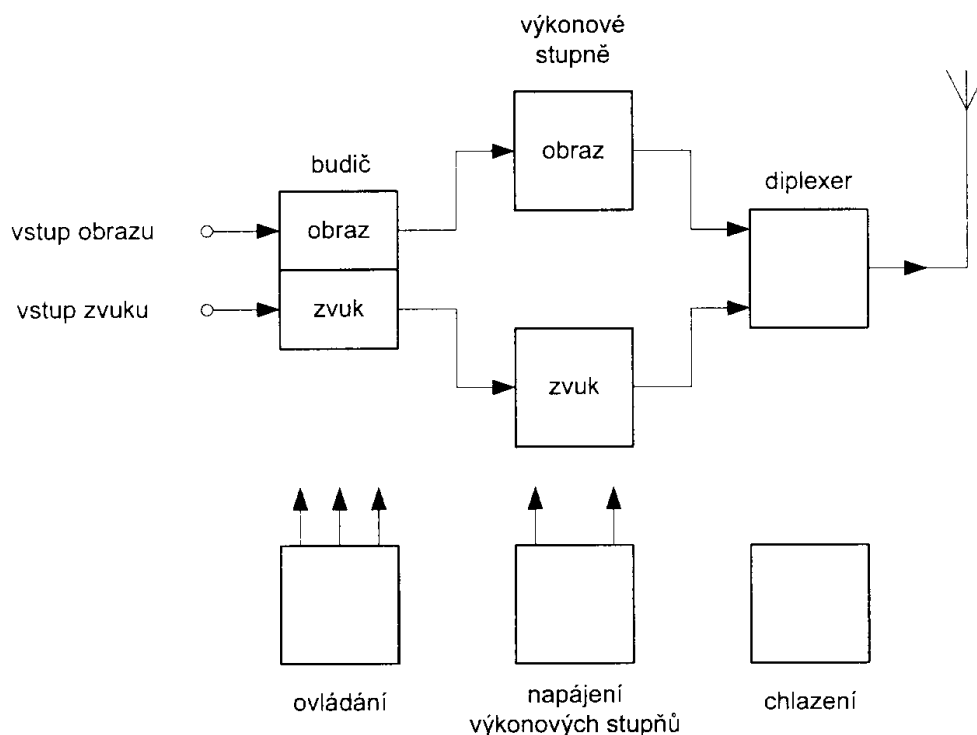
Televizní signál vyrobený ve studiu a rozvedený modulační sítí je potřeba nějakým způsobem přenést do přijímačů televizních diváků. Jedním ze zatím nejrozšířenějších způsobů je síť zemských televizních vysílačů. Jejich úkolem je pokrýt určenou část území dostatečně silným a kvalitním signálem. Přitom musíme brát ohled na členitost terénu daného území. Při

konstrukci sítě se většinou vychází z potřeby použít zařízení s různými výkony. Tak vznikají skupiny *vysílačů základních*, *doplňkových* a *vykrývacích* a sít' *televizních převaděčů a opakovačů*. Jako základní se většinou uvažují vysílače o výkonu koncového stupně řádově 10 kW, doplňkové vysílače o výkonu větším než 1 kW a vykrývací vysílače s výkonem řádově 100 W. Protože anténní vysílací systémy dosahují obvykle zisk kolem 10 dB, bývají vyžádané výkony (ERP) desíťnásobkem výkonu koncového stupně.

Moderní analogové televizní vysílače používají většinou mezifrekvenční modulaci na nízké napěťové úrovni a systém *lineárních vysokofrekvenčních zesilovačů* osazených buď tetrodami, klystrony, nebo tranzistory. V systému zabezpečení proti výpadku se používá pasivní systém, kde jsou osazeny dva vysílače, avšak v provozu je pouze jeden z nich. Všichni výrobci se snaží co nejvíce omezit počet vakuových prvků a nahradit je polovodiči. Často se používá řešení, kdy v celém zařízení je osazena jedna elektronka, a to v koncovém stupni, vysílače obrazu. Velmi rozšířené je zapojení, u kterého je v koncovém stupni společně zesilován signál obrazu i zvukového doprovodu.

Zcela novým prvkem jsou vysílače určené pro digitální vysílání. U nich už nejde o dodržení kvalitativních parametrů obrazového a zvukového signálu definovaných pro základní pásmo, musí však dodržet a zaručit přenos obsáhlého bitového toku s minimální chybovostí. Tento požadavek je možné zajistit pouze velmi lineárními širokopásmovými zesilovači.

Na obr.29 je základní, velmi zjednodušené, zapojení moderního televizního vysílače. V základní poloze je zapojení shodné pro vysílače tetrodové, klystronové i tranzistorové.



obr. 29 Skupinové schéma televizního vysílače

Signál z příchozí, např. *radioreléové*, trasy vstupuje nejdříve do budiče, který má jednu část určenou pro zpracování obrazového signálu, druhou část zvukovou. Úkolem budiče je odstranit zkreslení, která vznikla na cestě signálu do studia, kompenzovat zkreslení, způsobená zpracováním v dalších následujících výkonových stupních, namodulovat signál na

nosný mezifrekvenční kmitočet 38 MHz a upravit spektrum vysílaného signálu (částečně potlačené spodní postraní pásmo) a konečně zesílit vysokofrekvenční signál na úroveň potřebnou k vybuzení následujících stupňů (několik W). Obdobným způsobem se upravuje i zvukový doprovod. Na rozdíl od obrazového signálu je namodulován na mezifrekvenční kmitočet 31,5 MHz. Jeho oscilátor musí pracovat na kmitočtu vyšším tak , aby na výstupu budiče vznikl nosný kmitočet zvukového doprovodu přesně o 6,5 MHz vyšší, než je nosný kmitočet obrazového signálu (videosignálu). Takže budič je v podstatě malý televizní vysílač malého výkonu.

Z budiče vstupuje signál obrazu i zvukového doprovodu do *výkonových stupňů*. Jejich počet a provedení závisí na typu vysílače a požadovaném výstupním výkonu. Jak bylo uvedeno v předchozí části u menších vysílačů je společné zesílení obrazové a zvukové informace. Potom je nainstalován pouze jeden společný výkonový stupeň, který je připojen přímo do vysílací antény. Pokud jsou výkonové stupně oddělené, pak musí být vysílač opatřen sdružovačem (diplexerem), který umožní sloučit oba signály do společné vysílací antény.

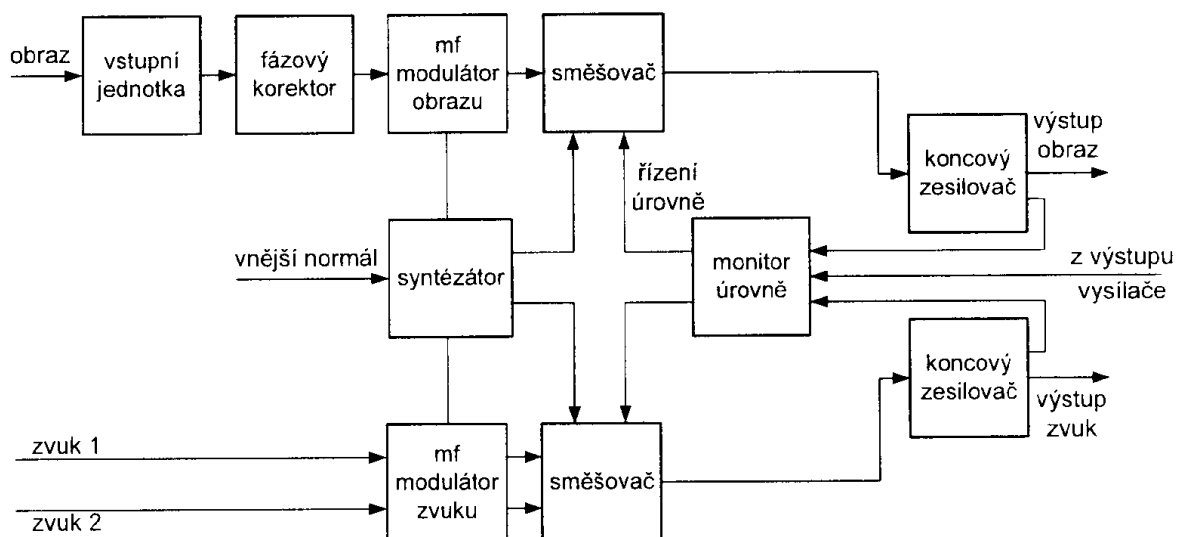
Napájení budiče je řešeno podobně jako napájení běžných zařízení. Napájení koncového stupně musí tvořit samostatný díl vysílače. Je to dáno tím, že u koncového stupně se pracuje s velkými výkony a v případě elektronek i s vysokým napětím (stovky až tisíce voltů). Pak už se jedná o výkonovou elektroniku se všemi důsledky včetně bezpečnostních opatření.

Ve výkonových stupních se uvolňuje značné množství ztrátového tepla. Toto teplo je potřeba nějakým způsobem z vysílače odvést. Tuto činnost zajišťují chladicí obvody, které jsou další, důležitou částí vysílače.

5.2 Budič analogového vysílače

Zjednodušené schéma moderního budiče je na obr. 30. Budič má samostatnou část určenou ke zpracování obrazového signálu, samostatnou část pro zpracování zvukového doprovodu a společný *generátor heterodynních signálů (kmitočtovou ústřednu- syntezátor)*. Každá část obsahuje *mezifrekvenční modulátor a směšovač*. V těchto obvodech se signál obrazové modulace v základním pásmu 25Hz až 6,5 MHz namoduluje na pomocný mezifrekvenční kmitočet 38 MHz, signál zvukového doprovodu 30 Hz až 15 kHz, na kmitočet 31,5 MHz. Jak je vidět používají se stejné kmitočty jako u přijímače.

Součástí budiče je i monitor úrovně signálu, který vytváří regulační napětí pro automatickou stabilizaci úrovně vysílaného signálu. Posledními stupni budiče jsou výkonové koncové zesilovače, které dodávají potřebný výkon pro vybuzení následujících stupňů vysílače.



obr. 30 Základní skupinové schéma budiče televizního vysílače

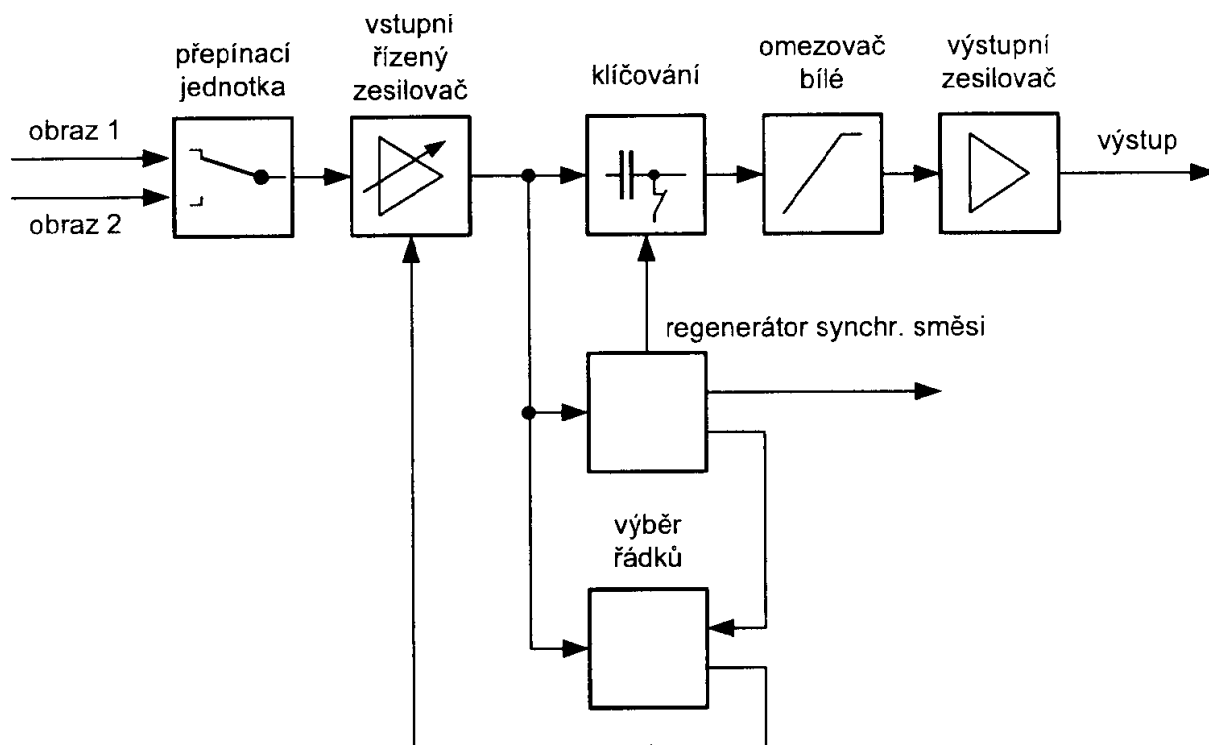
U nejmodernějších budičů je důležitou součástí digitální část vybavená mikropočítačem, který umožňuje jednoduché nastavení jednotlivých parametrů včetně jejich průběžného zobrazení na displeji. Obvod obsahuje paměť nastavení údajů pro další zpracování.

Na výstupu budiče jsou televizní signály o úrovni několika W (pro elektronky tranzistory). Vzhledem k tomu, že u vysílačů jsou kladeny vysoké požadavky na stabilitu kmitočtu, jsou všechny potřebné kmitočty získávány pomocí obvodů *kmitočtové syntézy* a jsou odvozeny od jediného velmi stabilního krystalového oscilátoru.

V další části se zjednodušeně podíváme na jednotlivé obvody budiče.

5.2.1 Vstupní jednotka obrazu

Úkolem této jednotky je upravit úroveň signálu na potřebnou hodnotu, regenerovat kompletní synchronizační směr a omezit přemodulování v úrovni bílé. Skupinové schéma je na obr.31.



obr.31 Skupinové zapojení vstupní jednotky obrazu

Za vstupním přepínačem následuje řízený zesilovač. Jeho zisk je možné řídit buď ručně, nebo automaticky. Při automatické regulaci se regulační signál získává z jednotky výběru řádků. Používají se měřicí řádky uložené v pulsnímkovém synchronizačním impulsu, ve kterých je trvale přítomen signál odpovídající bílé barvě. Ten představuje maximální promodulování vysílače $m_a = 10\%$, minimální signál nosné obrazu.

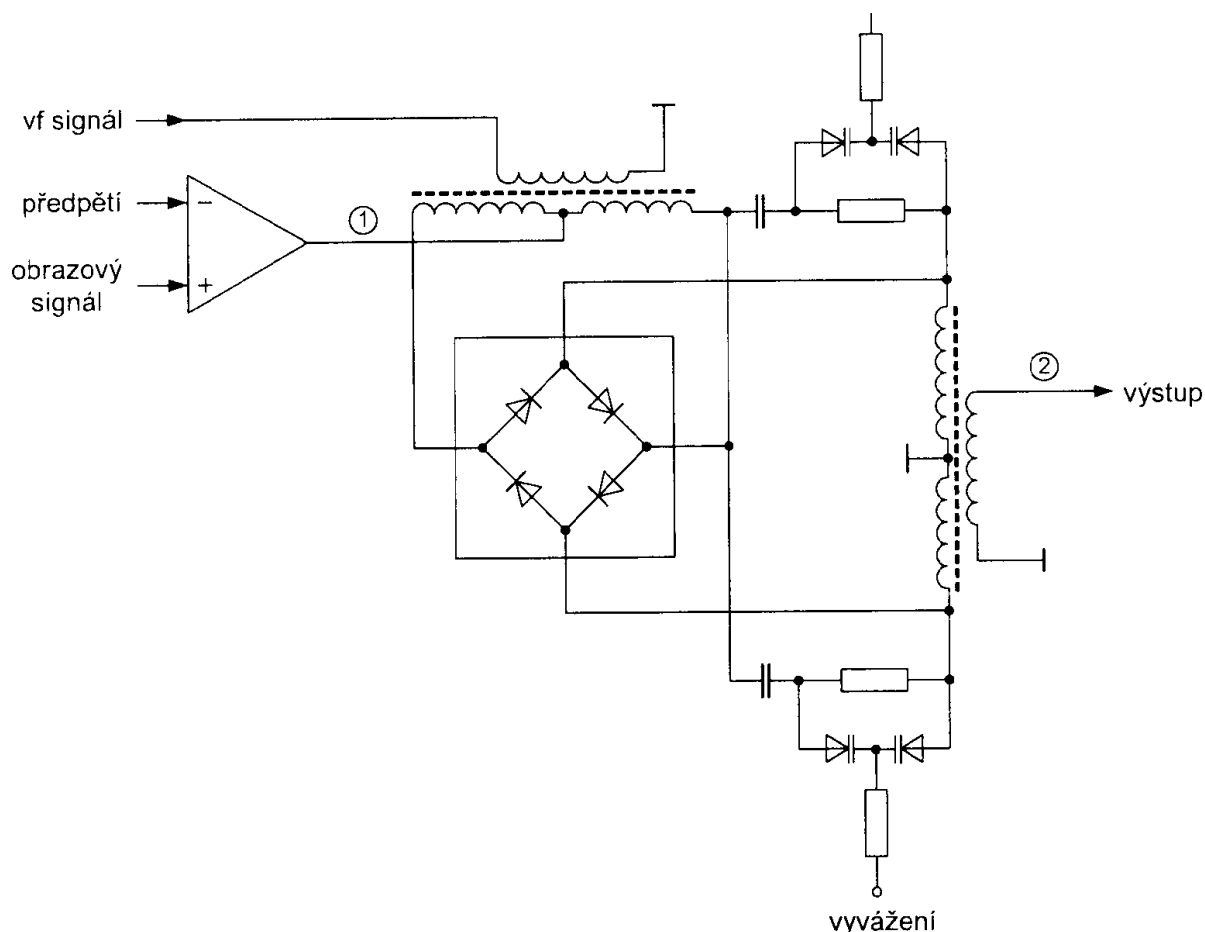
Velmi důležitou částí vstupní jednotky je *regenerátor synchronizační směsi*. Při dopravě signálu ze studia na vysílač nelze vyloučit určité zhoršení kvality synchronizační směsi, proto se ve vysílači vyrobí úplně nová synchronizační směs, která se pak vloží do signálu místo původní. Obvod *klíčování* zajišťuje přesně definovanou úroveň stejnosměrné složky signálu. *Omezovač bílé* zabraňuje přemodulování vysílače (*pod* $m_a = 10\%$) při nežádoucím růstu úrovně modulačního signálu.

5.2.2 Fázový korektor (korektor skupinového zpoždění)

Při modulaci v systému VSB AM, (částečně potlačené dolní postranní pásmo), vznikají určité chyby v průběhu skupinového zpoždění. Skupinové zpoždění se projeví tak, že jednotlivé složky televizního signálu s velkou šířkou pásma (modulace 25Hz až 6,5 MHz, impulsové signály synchronizačních impulsů), potřebují ke svému průchodu televizním vysílačem různě dlouhý časový úsek. Bez korektoru by to vedlo ke zkreslení náběžných i sestupných hran impulsů a tím k posunu mezi jasovou a chrominační složkou signálu. V souvislosti se zmíněnou korekcí je nutné zmínit ještě jeden problém. Moderní analogové televizní přijímače jsou vesměs vybaveny mezifrekvenčními filtry se soustředěnou selektivitou s povrchovou akustickou vlnou. Tyto filtry mají v celém propustném pásmu přibližně konstantní skupinové zpoždění.

5.2.3 Mezifrekvenční modulátor

Na tento obvod jsou v televizním vysílači kladeny vysoké požadavky, zejména pokud se týká jeho linearity. V moderních vysílačích je proto řešen jako vyvážený spínačový modulátor. Známe jej pod pojmem kruhový modulátor. Zapojení tohoto modulátoru je na obr.32.



obr.32 Zapojení diodového kruhového modulátoru televizního budiče

Souměrné zapojení se snadno dosáhne použitím vhodného vysokofrekvenčního transformátoru. U tohoto zapojení se dosahuje linearity lepší než 3%. Vlastní popis funkce vyváženého modulátoru, najdete v předmětu elektronika 2. ročník „téma Modulátory“.

Součástí modulátoru je také filtr postranního pásma. Jak známe z teorie kruhového modulátoru, na jeho výstupu se objeví pouze dvě postraní pásma modulovaného signálu. Modulátor potlačuje přenos modulačního signálu i signálu nosné vlny. Filtr je tedy obvod, který upravuje spektrum signálu do předepsaného tvaru, tedy částečně potlačuje horní postraní pásmo HPP (*keré se po směšování s příslušným kanálovým kmitočtem stane pásmem spodním DPP*). Pro filtraci se používají filtry s povrchovou akustickou vlnou. Součástí modulátoru je také korektor skupinového zpoždění. Zde se však vyrovnává chyba skupinového zpoždění způsobená obvody vysílače. Tento korektor pracuje na mezifrekvenčním kmitočtu 38MHz. Obvod využívá zásadně diody PIN ve funkci proměnných odporů.

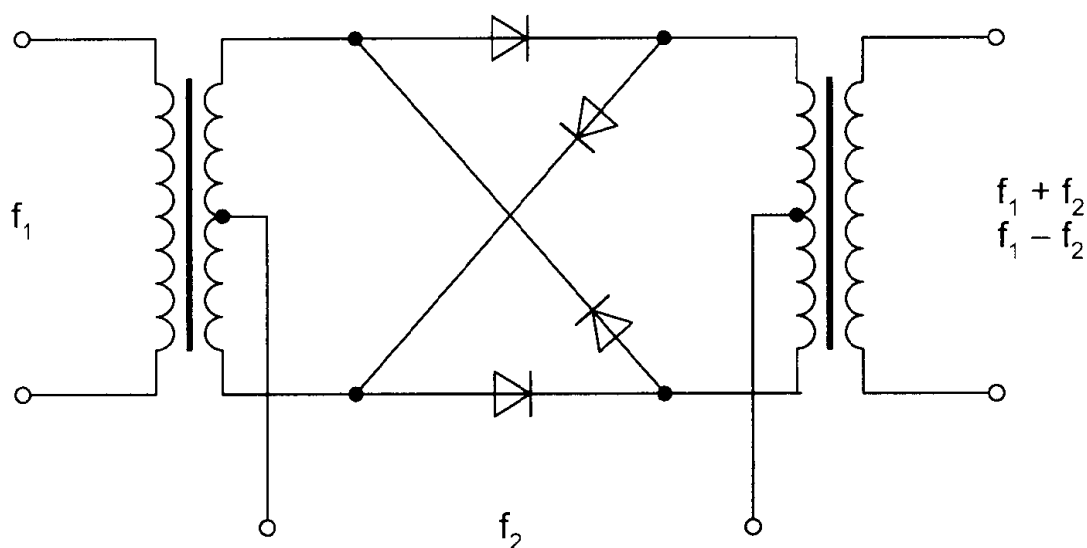
5.2.4 Korektor linearity

Vzhledem k tomu, že výkonové stupně vysílače zhoršují určitým způsobem linearitu signálu jak po stránce amplitudové tak i po stránce fázové, je nutné umístit před směšovač korektor, který tyto nelinearity vykompenzuje. Takový obvod je nazýván jako *korektor diferenciálních parametrů*.

V podstatě se jedná o to, že následkem zakřivení pracovních charakteristik aktivních prvků, se mění amplituda i fáze chrominačního signálu v závislosti na amplitudě jasové složky. Jde tedy o to, vytvořit v korektoru pracovní charakteristiku, která bude inverzní k charakteristice koncových stupňů.

5.2.5 Směšovač

Úkolem směšovače je přeložit televizní signál z mezifrekvenční polohy, do příslušného kanálového kmitočtu. Přitom nesmí být zdatelně zhoršena linearita televizního signálu a musí být maximálně potlačeny nežádoucí směšovací produkty. Tomu vyhovuje již dříve uvedené zapojení kruhového směšovače (kruhového modulátoru), protože princip funkce je stejný. V zapojení je možné použít moderní Schottkyho diody, které umožní dobré vyvážení a dosažení potlačení mezifrekvenčního kmitočtu 38MHz, tak i oscilátorového kmitočtu. Znamé zapojení kruhového směšovače je na obr. 33.

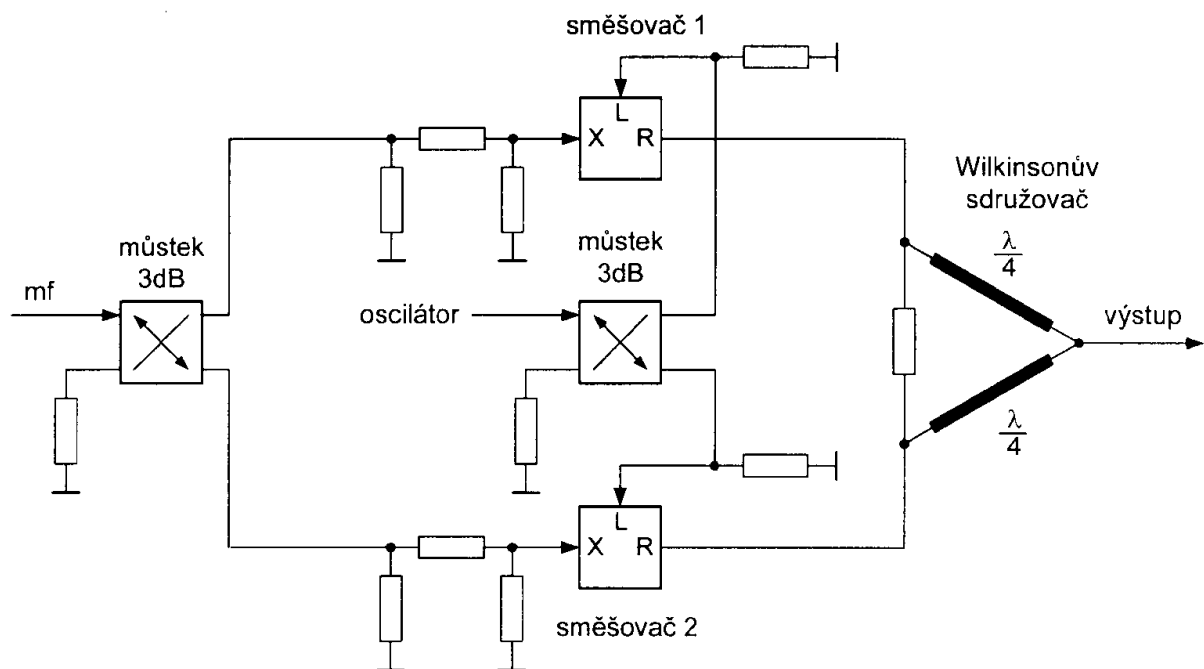


obr.33 Zapojení kruhového směšovače

Na obr. 34 je skupinové zapojení moderního směšovače, který využívá některé další principy k dokonalému zpracování signálu. Mezifrekvenční signál vstupuje nejdříve do tzv. *3 dB vazebního můstku*. Tento obvod má velmi zajímavé vlastnosti. Pro popis funkce směšovače je důležité, že signál se v tomto obvodu rozdělí na dvě stejně velké složky, které jsou vůči sobě posunuty o úhel 90°. Oba signály se přes útlumové členy přivedou do dvou identických kruhových směšovačů (vstupy označené X). Heterodynní signál z kmitočtové ústředny (oscilátoru) se přivádí do těchto dvou směšovačů na další bránu, rovněž přes 3 dB můstek (vstupy označené L), takže zde nastává stejný fázový posuv. Oba směšovače jsou velmi pečlivě vyvážené pomocí dalších obvodů, zde nezakreslených.

Na výstupu každého směšovače dostáváme dva signály dané součtem a rozdílem obou vstupních signálů. Zajímavostí tohoto zapojení je, že nežádoucí signály jsou v protifázi,

zatímco žádoucí jsou ve fázi. Stačí proto sloučit výstupy obou směšovačů v dalším členu, v tomto případě v tzv. Wilkinsonově můstku a máme k dispozici kvalitní televizní signál, ve kterém jsou nežádoucí složky potlačené více než o 25 dB.



obr.34 Směšovač moderního budiče

5.2.6 Modulátor zvukového doprovodu

V naší televizní normě se zvukový doprovod vysílá na kmitočtu o 6,5 MHz vyšším než je kmitočet nosné obrazu. Pro přenos zvukové informace se využívá kmitočtová modulace, u které je amplituda informačního obsahu (hlasitost zvuku) zakódována ve velikosti změny kmitočtu nosné vlny, v tzv. *kmitočtovém zdvihu* Δf , a kmitočet zvukové informace je kódován počtem změn kmitočtového zdvihu Δf za sekundu.

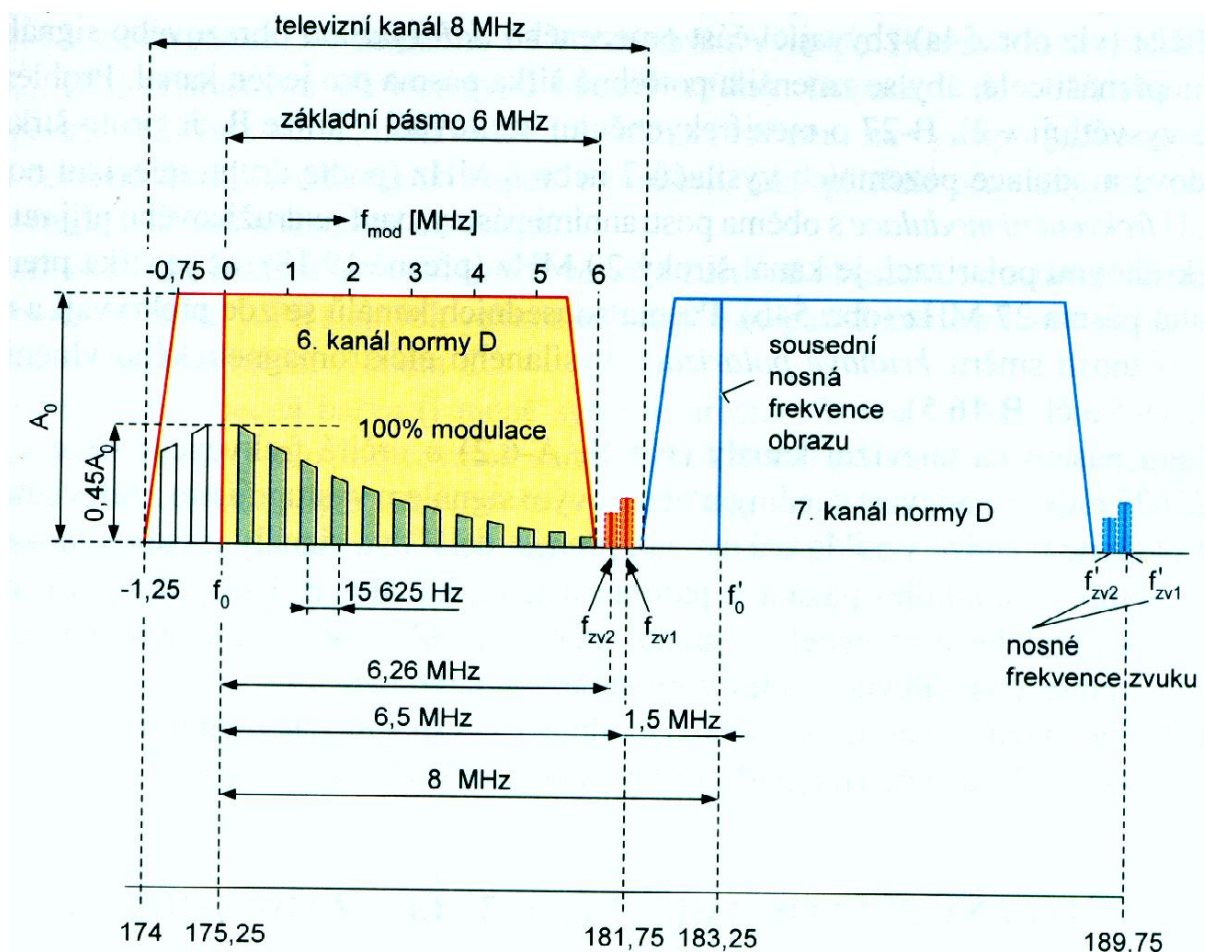
V televizním kanálu širokém v pásmech I až III v soustavě D(OIRT) 8 MHz a v soustavě B(CCIR) 7 MHz a 8 MHz v pásmech IV a V se přenáší zvukový doprovod s poměrem výkonů nemodulovaných nosných kmitočtů zvuku a obrazu 1 : 10. Maximální kmitočtový zdvih je ± 50 kHz.

Některé televizní vysílače vysílají na druhé pomocné nosné *frekvenci* vzdálené od první, hlavní nosné frekvence zvuku o 242 kHz výše, nebo níže, druhý zvukový signál. Je využitý pro *stereofonní přenos* zvukové informace, nebo i pro přenos tzv. *dvojazyčného doprovodu*, který si navolí sám divák, viz obr. 35.

Stereofonní přenos zvuku je v evropských zemích založen na soustavě dvou nosných frekvencí zvuku. V normě D/K (OIRT) se mimo první nosné zvuku vzdálené od nosné obrazu o 6,5 MHz s útlumem 13 dB (0,05 krát) vysílá druhá nosná zvuku 6,26 MHz s útlumem 20 dB (0,01 krát).

Stereofonní přenos se zajišťuje tak, že se na první, hlavní nosné frekvenci přenáší informace mono, součtová R+L. Z toho plyne splnění podmínky kompatibility pro přenos monotónního a stereofonního signálu. Aby televizní přijímač rozlišil tři druhy provozu

(*mono, stereo a duo*), vysílá se na druhé nosné zvuku pilotní signál s kmitočtem 54,6875 kHz , který je v případě *mono* provozu bez modulace, při provozu *stereo* amplitudově modulován signálem 117,5 Hz a při provozu *duo* modulován signálem 274,1 Hz..



obr.35 Signál základního pásma a šířka kanálu v soustavě s amplitudovou modulací obrazu a kmitočtovou modulací zvuku pro dvoukanalový zvukový doprovod

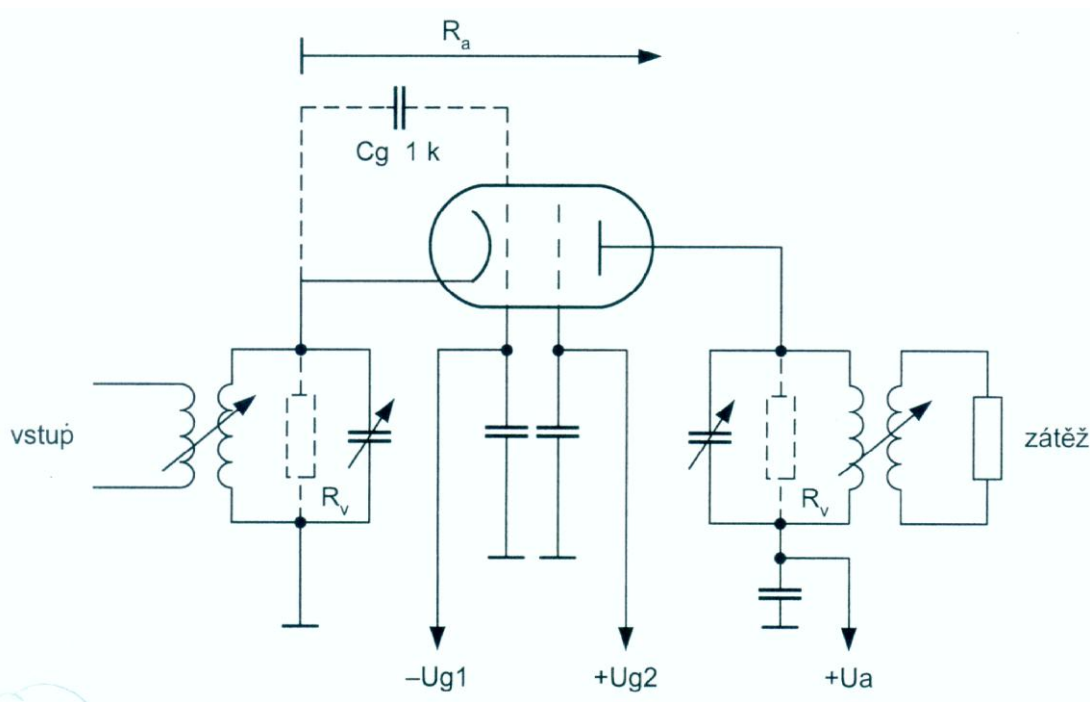
Stereofonní přenos zvukové informace se provádí odlišným způsobem než u rozhlasových VKV vysílačů. V kanále prvního zvukového doprovodu se vysílá poloviční součet pravého a levého kanálu $[(L + R)/2]$ a v kanále druhého zvuku je umístěn pravý kanál (R).

Na obr.36 je skupinové schéma modulátoru zvukového doprovodu. Zvukové signály z obou modulačních linek procházejí nejdříve vstupními zesilovači, ve kterých jsou obvody preemfáze, potom vstupují do součtového obvodu, který vytváří příslušný poloviční součet $[(L + R)/2] = M$ kanál. V cestě signálu prvního kanálu je zařazen přepínač provozu mono, stereo a DUO, dále následuje modulátor s fázovým závěsem. V cestě druhého kanálu je zařazen slučovač, který k signálu připojí pilotní signál, a poté následuje opět kmitočtový modulátor. Signály obou modulátorů jsou sloučeny ve výstupním sdrůžovači a dále jsou již zpracovávány společně. Potřebné kmitočty obou nosných, pilotního signálu a identifikačních signálů vyrábí kmitočtová ústředna, jejíž kmitočet je řízen řádkovými synchronizačními impulsy o kmitočtu 15 625 Hz z důvodu dodržení pevného fázového vztahu.

Informace o způsobu vysílání zvukového doprovodu jsou definovány signály, které jsou obsaženy v 16tém televizním řádku

U_K anodu $+U_A$, bude prostřednictvím elektrostatického pole odčerpáván prostorový náboj elektronů z okolí katody a obvodem poteče proud emitovaných elektronů. Velikost tohoto proudu můžeme řídit záporným předpětím první (řídící) mřížky. Podrobnější výklad naleznete v kurzu „Elektronika 02“.

U moderních televizních vysílačů se používají zásadně svazkové tetrody s velkou strmostí S [mA/V]. Bylo by možné použít zapojení se *společnou katodou* (dává větší zesílení a vykazuje stabilnější vstupní impedanci). Pro praktické využití je výhodnější zapojení s *uzemněnou řídicí a stínící mřížkou*. Toto zapojení má malou zpětnou kapacitu a nemusíme tak používat složité obvody neutralizace vnitřních mezielektrodoových kapacit. C_{ag1} , při velmi vysokých kmitočtech. Vysokofrekvenční oddělení výstupního a vstupního obvodu zesilovače je zajištěno střídavým uzemněním obou mřížek, viz obr. 37



obr.37 Principiální zapojení tetrodového zesilovače výkonu

U tohoto zapojení je potřeba počítat s malou, proměnlivou vstupní impedancí a s potřebou vyššího budícího výkonu. Ze zapojení na obr.37 je vidět další výhoda – podstatně nižší vstupní kapacita. Působí zde pouze kapacita C_{g1k} , zatímco u zapojení se *společnou katodou* musíme uvažovat ještě kapacitu C_{g1g2} . Zesílení stupně je dáno vztahem

$$A = S \cdot R_a$$

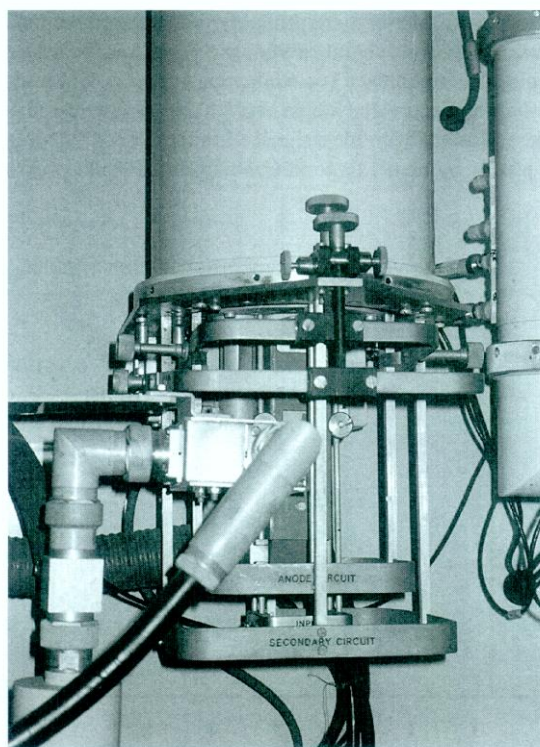
kde R_a je výstupní odpor, do kterého elektronka pracuje a S je strmost. Pro R_a platí vztah

$$R_a = R_Z - R_V$$

Pokud se týká problému linearity je nutné, aby mezi velikostí vstupního a výstupního napětí platila alespoň přibližně přímá úměrnost. Toho lze dosáhnout vhodnou volbou polohy pracovního bodu- volbou pracovní třídy. Pracovní bod se volí tak aby zesilovač pracoval ve třídě A, AB, nebo B. Vzhledem k účinnosti je nejvýhodnější třída B, kdy klidový, anodový proud je minimální.

Účinnost je definována jako poměr výkonu ve špičce synchronizačního impulsu k příkonu zesilovacího stupně. Toto hodnocení je však nepřesné, neboť synchronizační impuls se vyskytuje pouze v omezeném intervalu celkového přenosu, zatím co ve zbývajícím intervalu je vysílán výkon odpovídající jasu obrazu. Proto je střední výkon vysílače podstatně nižší cca 20 až 30%. Z toho také vyplývá nižší účinnost cca 24%

Rezonanční obvody výkonových zesilovačů v kmitočtových pásmech VHF jsou většinou řešeny jako souosé rezonátory. Systém je řešen jako souosé propojení rezonátoru a elektronky (*něco jako majáková trioda*). Výhodou je podstatné zkrácení přívodů k elektrodám zesilovací elektronky a možnost lepšího chlazení. S ohledem na šířku pásma by pro televizní vysílače nebyl vhodný *jednoduchý rezonanční obvod*. Nejčastěji se používá *dvojitý induktivně vázaný obvod*, který je možné z hlediska potřebné šířky pásma nastavovat. Příklad konstrukce koncového stupně s elektronkou je na obr. 38.



obr.38 Koncový stupeň vysílače s elektronkou

5.3.2 Výkonové zesilovače s klystrony

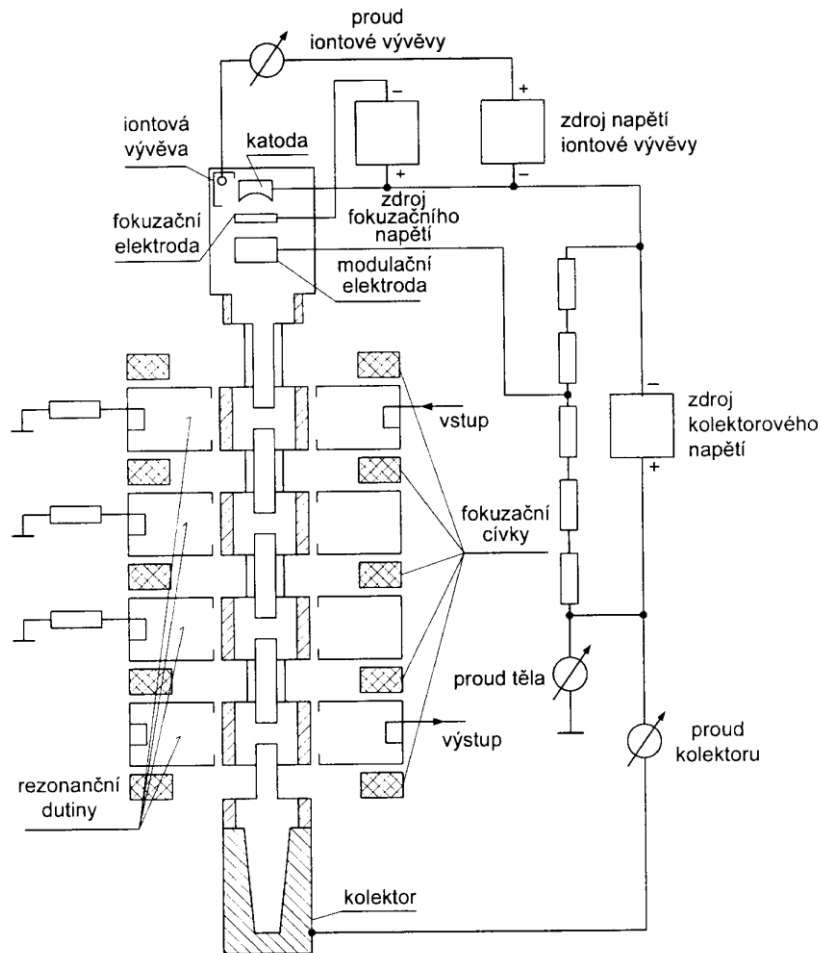
Konstrukce výkonových tetrod pro pásma UHF je velmi složitá. Pokud porovnáme konstrukční rozměry elektrod, jejich vzdálenosti s vlnovými délkami zesilovaných signálů, dostaneme se na hranici použitelnosti klasických zesilovacích prvků. Vzniká rozpor mezi minimálními vzdálenostmi elektrod a tepelným zatížením systému a hlavně pak problém s velikostmi proudů a napětí v daných obvodech.

Z těchto důvodů se v oblasti pásma UHF a výše, používají aktivní prvky využívající ke své činnosti interakce průletových elektronů s elektromagnetickým polem pasivních prvků-rezonančních dutin.

Jedním z těchto prvků je klystron. Výkonový klystron je elektronka, ve které je svazek elektronů emitovaných katodou zaostřován magnetickým polem permanentních magnetů,

nebo pomocí fokuzačních cívek. Elektronový paprsek vstupuje do oblasti první dutiny, kde je modulován zesíleným signálem. Při průletu prostorem dalších dutinových rezonátorů předává svoji energii elektromagnetickému poli příslušné dutiny a tím zvyšuje zesílení. V praxi se používá 4 až 5 rezonančních dutin. Více dutinový klystron si můžeme představit jako sériové zapojení několika klystronů. Každá následující dutina se chová jako zachycovač a současně jako vrstvič pro další rezonátor. Proto je možné dosáhnout zesílení výkonu v řádu 1000 a více.

Důležitá je také možnost rozladění jednotlivých dutin od nosné frekvence a tím dosáhnout rovnoměrného zesílení v celém televizním kanále 8 MHz. Principální zapojení klystronového výkonového zesilovače, je na obr. 39



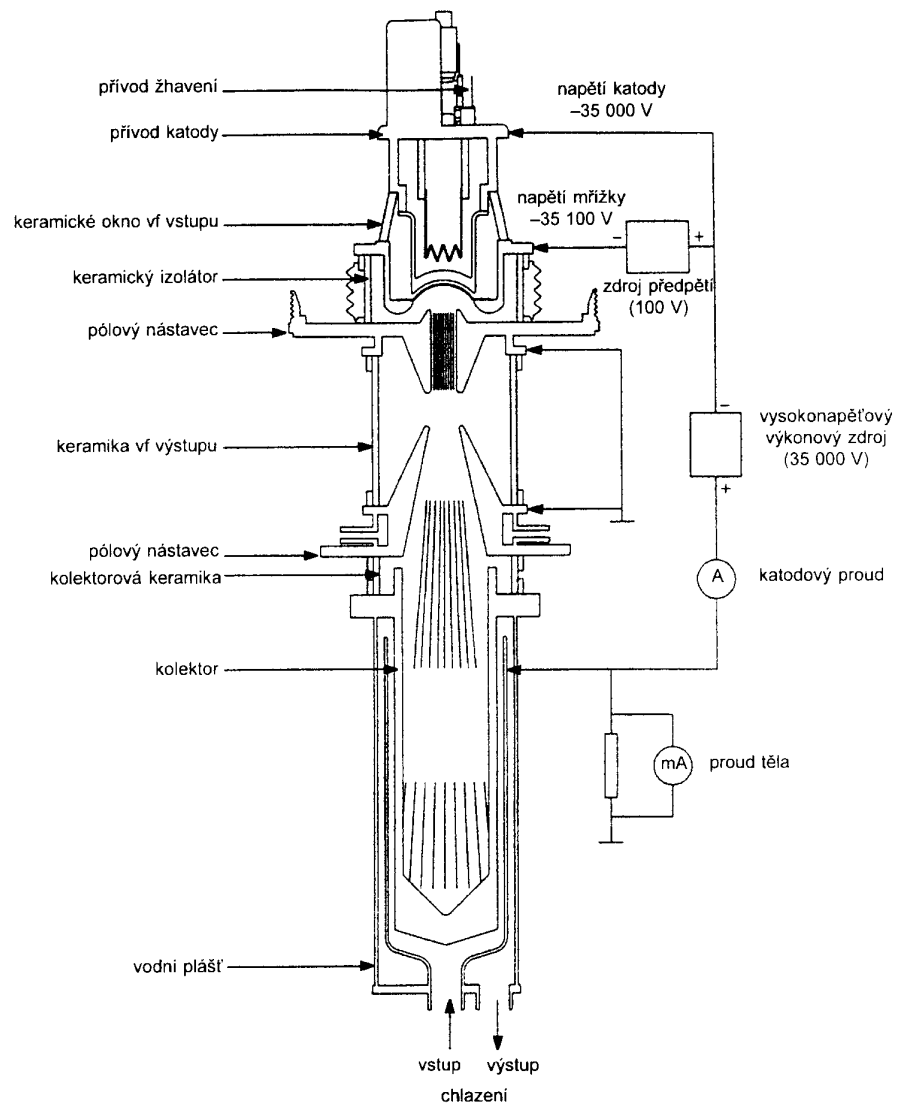
obr.39 Principální zapojení klystronového výkonového zesilovače

Válcová část klystronu mezi katodovou částí a kolektorem se nazývá tělo klystronu. Je tvořena střídavě keramickými a kovovými válci. Kovové části jsou spojeny s rezonančními dutinami, které jsou na těle klystronu nasazeny. Tělo klystronu i rezonátory jsou uzemněny, přičemž se měří proud, který do nich přechází z elektronového svazku. Vzhledem k velké energii elektronového svazku je nutné udržet tento proud na minimální hodnotě. Dopad většího množství elektronů na některé místo těla způsobí okamžitou destrukci klystronu. Na zemním potenciálu je i kolektor (anoda), ten musí být pečlivě konstruován, aby byl schopen odvést značný výkon dopadajících elektronů. Bývá tvořen měděným kvádrem s dutinou a je opatřený buď žebry pro vzduchové chlazení, nebo je ponořen do nádoby s chladícím médiem při vodním, nebo odparném (vapotronovém) chlazení.

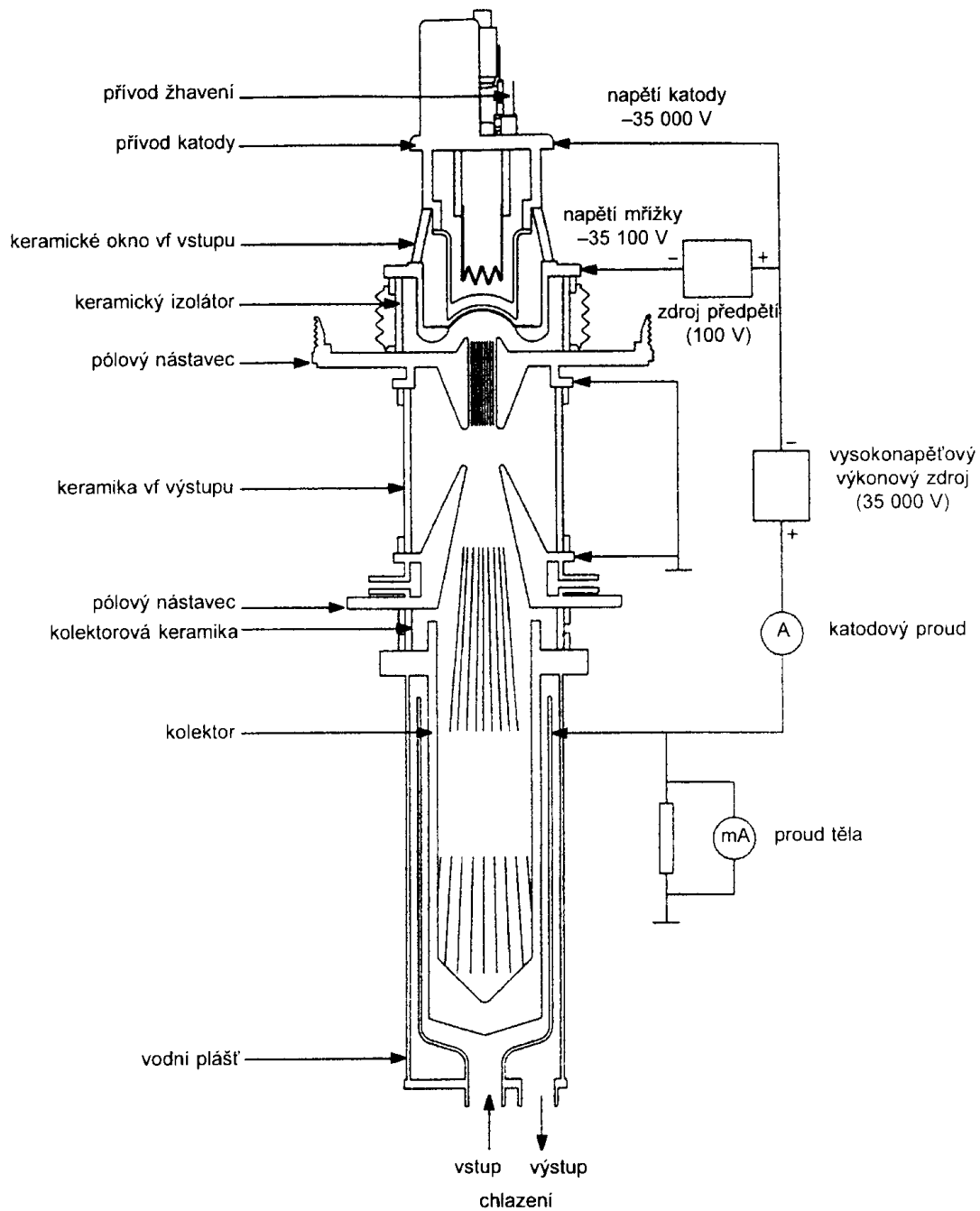
Na protilehlém konci klystronu je umístěn katodový systém. Vzhledem k tomu, že je kladný pól uzemněn, je celá katodová část na vysokém záporném potenciálu proti zemi. Kolektorové (anodové) napětí výkonových klystronů překračuje 20 kV a tak musí být všechna prvky související s katodou pečlivě izolovány. V katodové části klystronu je kromě katody také fokuzální (zaostřovací) elektroda, modulační anoda a iontová vývěva. Fokuzální elektroda zajišťuje elektrooptický systém pro tvarování paprsku. Iontová vývěva zajišťuje těsnost těla klystronu. Klystrony se vyznačují při správném provozním režimu životností i několik desítek tisíc hodin.

5.3.3 Výkonové zesilovače s elektronkami IOT

V devadesátých letech minulého století se na trhu výkonových vysílacích elektronek objevil nový typ. Elektronka IOT sdružuje vlastnosti tetrody a klystronu. Mřížkové uspořádání má zabezpečit linearitu a klystronový princip, náležité zesílení. Je tedy k dispozici elektronka, která dosahuje zisku asi 20 dB a výkonu až 110 kW ve špičce synchronizačního impulsu. Průřez elektronekou IOT je na obr. 40.



obr.40 Řez elektronekou IOT



Obr. 41 Elektronka IOT osazená ve vozíku

Z obr. 40 a 41 je patrné, že elektronka je vybavena jednou vstupní dutinou a dvěma vázanými dutinami na výstupu. Toto uspořádání zajišťuje potřebnou šířku pásma 8 MHz. Elektronka IOT potřebuje pro svoji činnost velmi vysoké kolektorové napětí až 35 kV. To však klade nároky na konstrukci a použité materiály. Výkonová elektronka IOT má velmi dobré vlastnosti. Střední účinnost dosahuje hodnot až 30%. Linearita je taková, že dovoluje společné zesílení obrazu a zvukového doprovodu, bez omezení výkonu, a umožňuje i provoz v digitálním režimu v soustavě DVB-T. Vzhledem k menšímu zesílení však vyžaduje na vstupu větší budící výkon, až několik set wattů.

5.3.4 Výkonové zesilovače s tranzistory

S rozvojem polovodičové techniky, přichází snaha začlenit polovodičové výkonové zesilovací prvky do vysílacích obvodů televizních vysílačů. Využití polovodičových prvků je limitováno vysokými nároky na použité polovodičové prvky. Podobně jako u elektronek hrají u polovodičů významnou roli dva faktory. Zprv je to průletová doba nosičů nábojů oblastí báze a zadruhé je to elektrická pevnost použitého materiálu. Jak vyplývá z teorie vysokofrekvenčních obvodů, musí být průletová doba nosičů co nejkratší, vzhledem k vlnové délce zesilovaných signálů. To vede ke zmenšování tloušťky příslušného přechodu. Na druhou stranu je zde požadavek elektrické pevnosti, vzhledem k tloušťkám přechodových vrstev.

Pro nejpoužívanější materiál polovodičové techniky, tj. křemík, platí přibližně, že nejvyšší průletová rychlost $v = 10^7 \text{ cm.s}^{-1}$. Přibližná hodnota kritické intenzity elektrického pole je $E_{\text{krit.}} = 2 \cdot 10^5 \text{ V.cm}^{-1}$. Z toho tedy vyplývá, že se zvyšováním kmitočtu zesilovaného signálu, tedy se snižováním vlnové délky, a tím i zmenšováním tloušťky báze, jsme nuceni pracovat s poměrně malými hodnotami kolektorového napětí. Abychom tedy dodrželi požadavek dostatečného výkonu, nezbyvá než značně zvýšit kolektorový proud. Pak ovšem vycházejí vstupní a výstupní impedance tranzistorů malé, řádově několik ohmů.

Vzhledem k uvedeným problémům je potřeba realizovat vysílače s vyššími výkony pouze pomocí sestav většího počtu paralelně pracujících zesilovačů. K tomuto účelu jsou vhodné bipolární i unipolární tranzistory (MOSFET). Unipolární tranzistory mají výhodu stabilnějšího pracovního bodu a vyšší vstupní impedance (hradlo G je od vodivého kanálu S,D, odděleno tenkou vrstvou SiO_2). Nevýhodou je citlivost na průraz isolační vrstvy a cena.

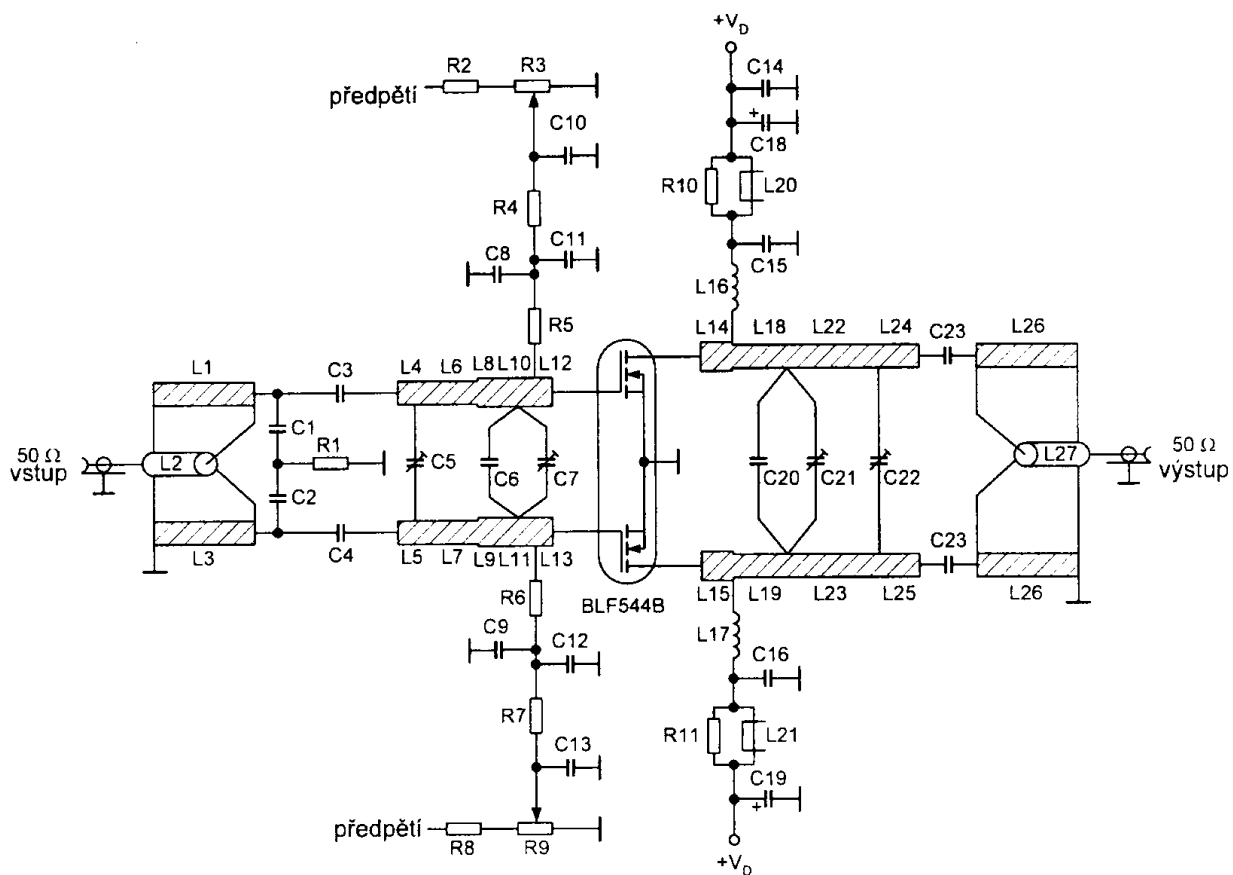
Pro větší výkony se tranzistory často realizují jako dvojité ve společném pouzdře. Má to výhodu větších impedancí a potlačení sudých harmonických kmitočtů v souměrném zapojení. Malé impedance tranzistorových výkonových zesilovačů umožňují konstruovat tyto prvky jako širokopásmové. Běžné jsou dosahovány šířky pásma odpovídající několika televizním kanálům, event. i celému pásmu.

Protože se od výkonových zesilovačů vyžaduje lineární zesílení, tedy přímá úměrnost mezi velikostí vstupního a výstupního signálu, musí být pracovní bod umístěn tak, aby tranzistory pracovaly ve třídě A, AB, nebo B. Z důvodu účinnosti je opět výhodná třída B. Na obr.42 je uvedeno zapojení jednoho výkonového tranzistorového stupně v zapojení SE.

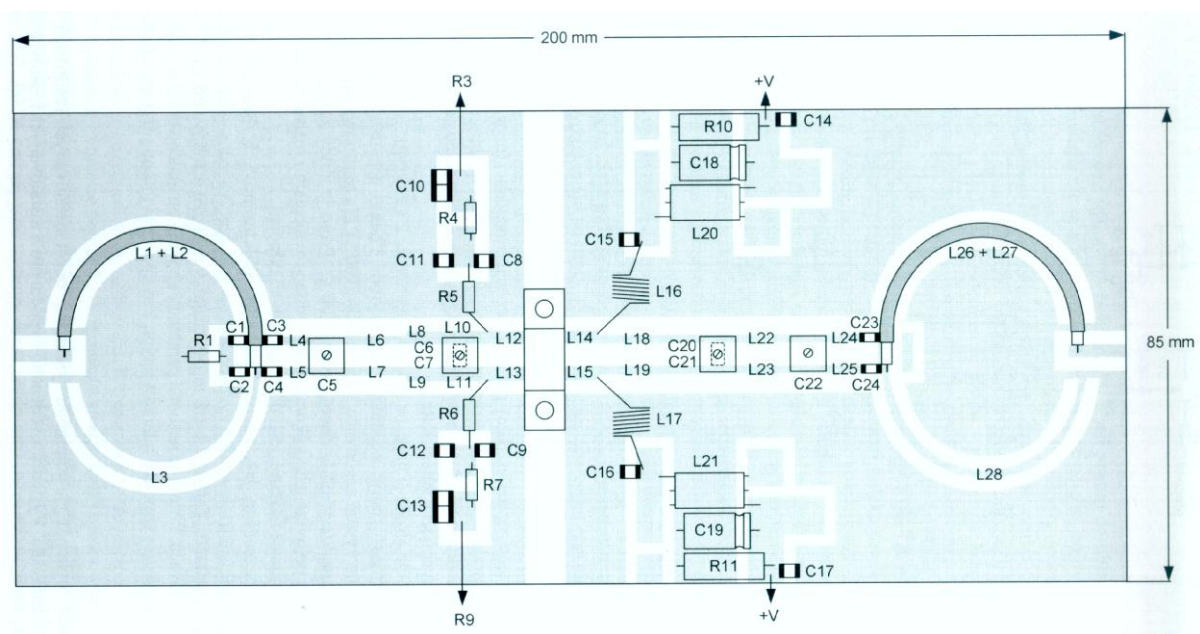
Zapojení je souměrné, je použit dvojitý tranzistor BLF 544B. Vstupní a výstupní obvod je konstruován pomocí páskového vedení, které pracuje jako několikastupňový transformátor. Protože vstup i výstup je nesymetrický (koaxiální s impedancí 50Ω), je před vstupním a výstupním obvodem ještě zařazen ještě symetrikační člen – vstupní L_1 , L_2 , L_3 , výstupní L_{26} , L_{27} , L_{28} . Zapojení lze realizovat technikou plošných spojů.

Na obr. 43 je model rozložení součástek tranzistorového výkonového zesilovače.

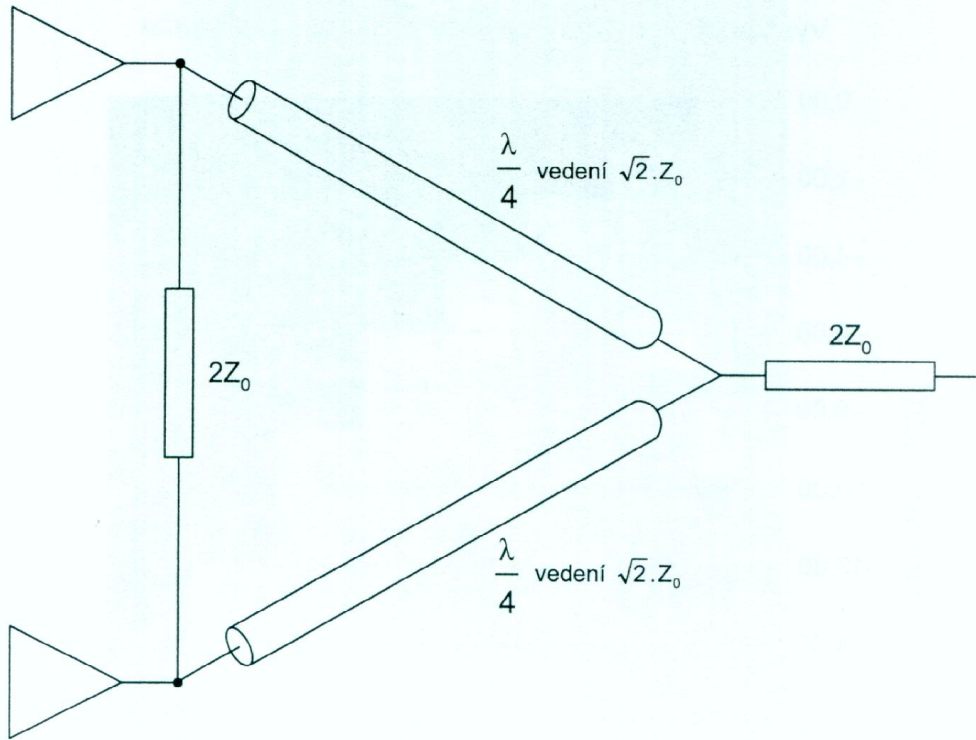
Jak bylo uvedeno v předchozí části, dosáhneme jmenovitého výkonu na výstupu zesilovače pouze sloučením dílčích výkonů jednotlivých zesilovačů. K tomuto účelu se používá Wilkinsonův sdružovač, viz obr. 44



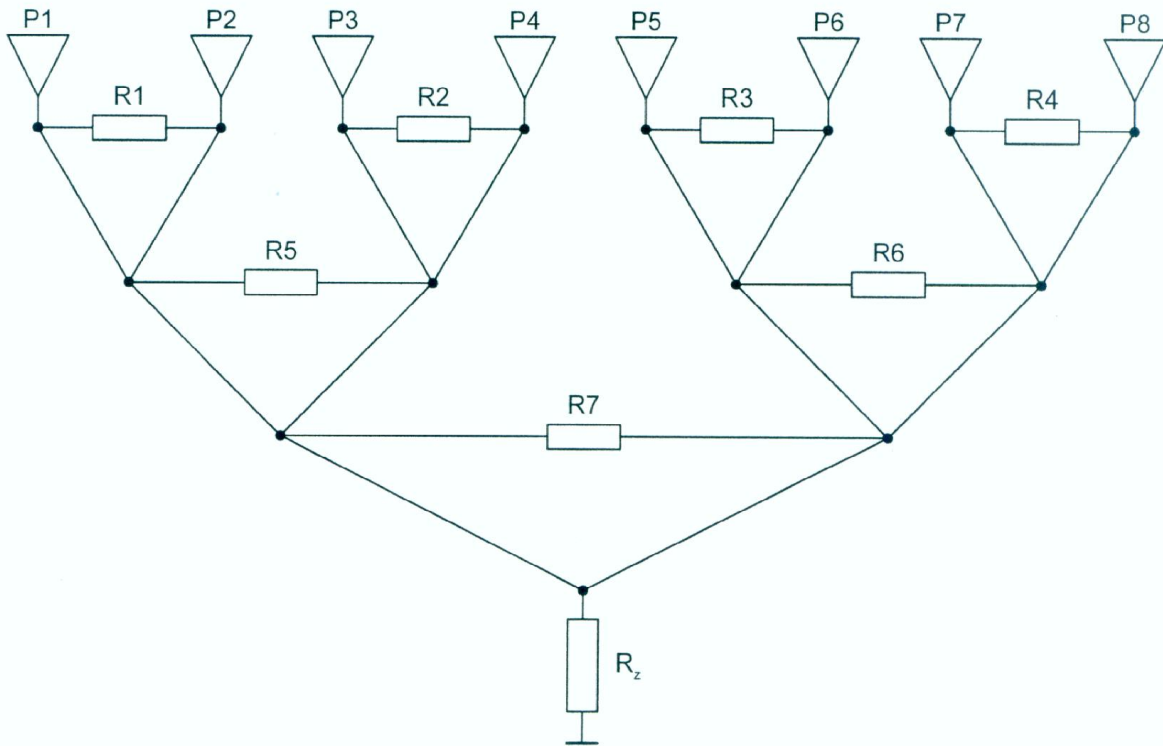
obr. 42 Zapojení tranzistorového výkonového zesilovače(na C_{23} je připojena L_{28} , místo L_{26})



obr.43 Rozložení součástek tranzistorového výkonového zesilovače



Obr. 102 Wilkinsonův sdružovač



obr.44 Wilkinsonův sdružovač pro 8 zesilovačů

Jak je patrné z obr. 44/102 *Wilkinsonův sdružovač*, jsou výstupy obou zesilovačů mezi sebou propojeny rezistorem o hodnotě $2Z_0$, kde Z_0 je jmenovitá zatěžovací impedance. K zátěži jsou oba zesilovače připojeny čtvrtlnným vedením o impedanci $Z_0 \cdot \sqrt{2}$. Takové vedení se chová tak, že je-li zatíženo impedancí Z_0 , přetransformuje tuto impedanci na hodnotu $2Z_0$. Zkrat na konci takového vedení se projeví jako otevřený obvod na vstupu, a naopak je-li vedení na konci naprázdno projeví se jako zkrat na vstupu.

Pokud oba zesilovače dodávají stejné a soufázové napětí, mají oba jejich výstupy stejný potenciál a odporem neprotéká žádný proud.

Takto konstruované tranzistorové výkonové zesilovače dodávají výkon v obraze 10kW, ve zvuku 1kW.

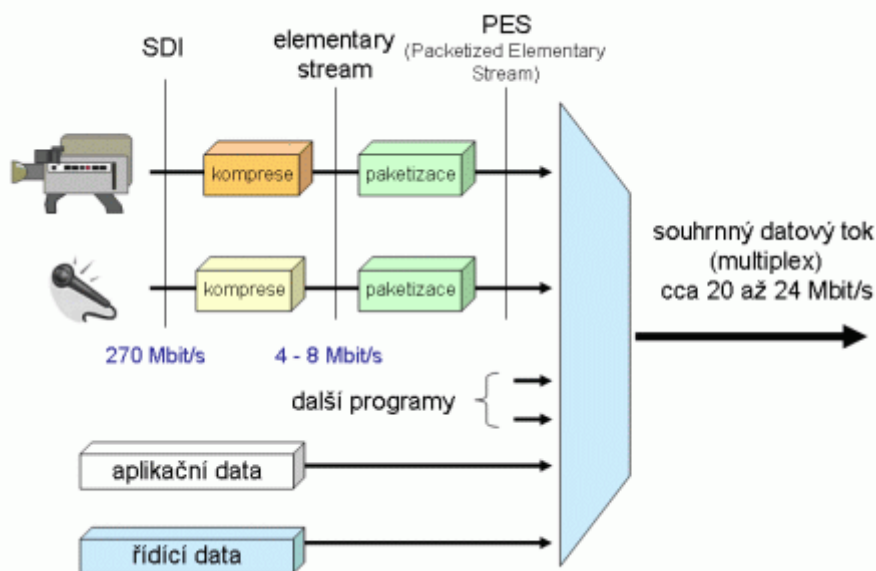
6. Digitální televizní vysílače.

6.1 Základní informace k přenosu digitálního signálu.

6.1.1 Co všechno standard DVB-T pokrývá

Principy přenosu dat za pomoci digitálního vysílání.

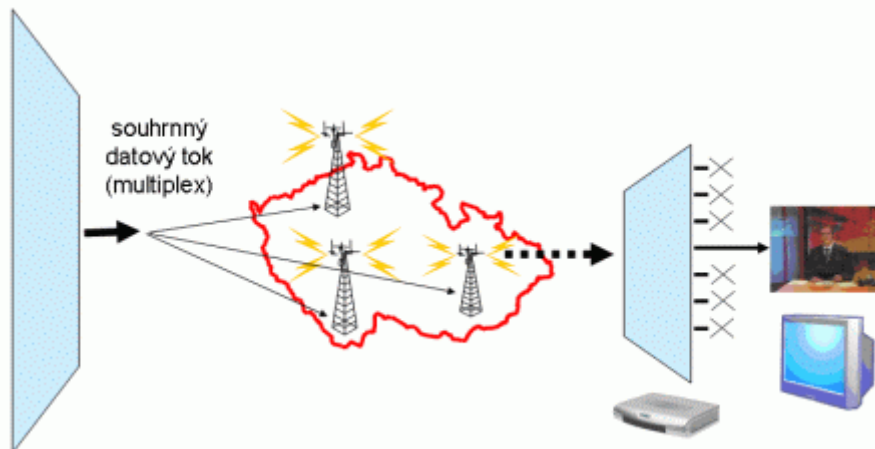
Standard DVB-T pokrývá fungování celého řetězce, který zajišťuje dopravu signálu až ke koncovému příjemci (divákovi), v rámci pozemního (terestrického) vysílání. Řeší například *otázky komprese a zdrojového kódování*, tvar v jakém jsou digitální data vysílána a řadu dalších věcí. Abychom si to mohli upřesnit, musíme si rozšířit naši představu celého uvedeného řetězce oproti tomu, co zaznělo v prvním článku.



Na začátku celého přenosového řetězce jsou jednotlivé programy upravovány do takové podoby, která je vhodná pro přenos (nejprve jsou komprimovány tak, aby jejich data měla menší objem a vystačila i s menší přenosovou kapacitou). Pak jsou tato data „porcována“ na vhodně velké bloky (tzv. pakety), a ty jsou následně slučovány do jednoho společného celku – souhrnného datového toku, označovaného častěji jako tzv. multiplex. Do

něj jsou přidávána ještě režijní data (mj. definující strukturu samotného multiplexu), a dále data přidávaných služeb a aplikací.

Souhrnný datový tok (multiplex) je pak dopravován do sítě (pozemních) vysílačů, které zajišťují jeho vlastní vysílání.



Koncový příjemce, který chce digitální vysílání přijímat, musí být vybaven zařízením, které je schopné souhrnný datový tok (multiplex) zase rozložit na jednotlivé dílčí části (programy) a zobrazit ten program, který si uživatel aktuálně navolil. Dříve byla tato funkčnost zajišťována samostatným zařízením (tzv. set-top boxem), který se předradil před běžný (analogový) televizní přijímač. V současné době převažují TV přijímače, které již mají potřebné schopnosti zabudované přímo v sobě a nevyžadují žádný přídatný set-top box (tj. zařízení iDTV, integrované digitální televizní přijímače).

Tolik v kostce, pojďme si nyní trochu podrobněji rozvést některé zajímavé části celého řetězce a související aspekty.

6.1.2 Komprese

Na začátku celého řetězce je zdroj obrazového a zvukového signálu (bez ohledu na to, zda je generován živě nebo ze záznamu). Studiová technika dnes produkuje obraz s přenosovou rychlostí 270 Mbit/s (přes rozhraní SDI, Serial Digital Interface) a zvuk o rychlosti 1,92 Mbit/s. Tomu odpovídající objem dat je ovšem příliš velký, než aby se mohl dále přenášet, a proto je nejprve komprimován. Využívána je celá řada propracovaných technik komprese, která dokáží snížit objem dat až na 4 až 8 Mbit/s (někdy s uvádí 3 až 6 Mbit/s), v závislosti na požadované kvalitě, a také na dokonalosti komprimačních technologií.

Zajímavé je, že objem, který po kompresi zabírají jednotlivé programy, není pevně dán, ale může se měnit, podle požadavků na kvalitu přenosu, resp. přijímaného obrazu a zvuku. Navíc lze předpokládat, že se zdokonalováním technik komprese budou objemy přenášených dat dále klesat (při zachování stejné kvality). Dnes tyto techniky dosahují kompresního poměru na úrovni 50:1 (přičemž jde samozřejmě o tzv. ztrátovou kompresi, využívající nedokonalosti našeho vnímání živého obrazu a zvuku).

6.1.3 Souhrnný datový tok, neboli multiplex

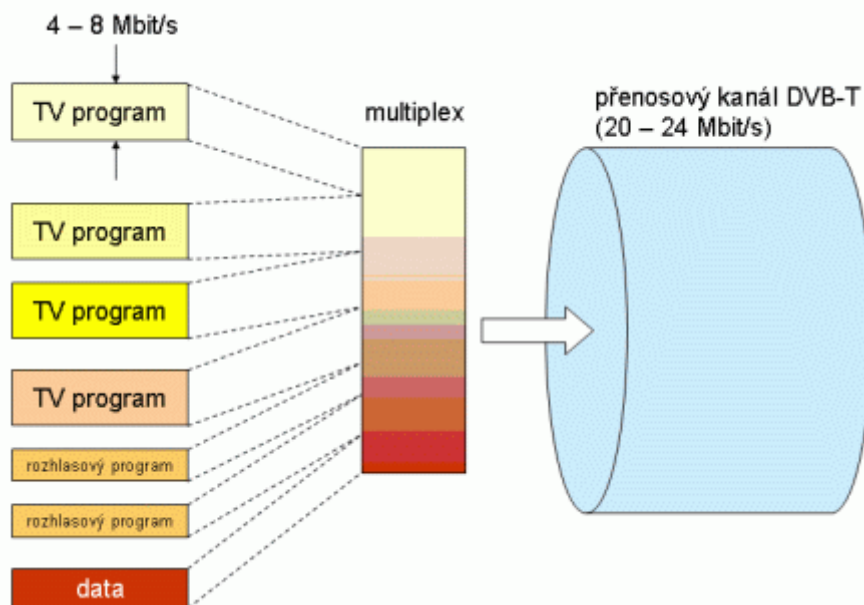
Složení multiplexu a jeho ohebnost objemu dat i v průběhu samotného vysílání.

Souhrnný datový tok (multiplex), do kterého jsou jednotlivé programy (již v digitální podobě) následně slučovány a v rámci kterého jsou přenášeny až ke koncovému příjemci, může mít jen omezenou velikost. Ta je dána zejména šířkou frekvenčního pásma, která je pro něj vyhrazena. Nejčastěji jde o *kanály o šířce 8 MHz*, na kterých se dosahuje přenosové rychlosti až 24 Mbit/s. Například České radiokomunikace pracovaly v rámci experimentální vysílání DVB-T s rychlostí 22,12 Mbit/s, a společnost Czech Digital Group s rychlostí 23,42 Mbit/s. V případě užších kanálů (6 MHz) jde pouze o cca 20 Mbit/s.

To vše ale přináší významný důsledek:

počet televizních a rozhlasových programů, které se vejdou do jednoho multiplexu stejně jako objem přidávaných dat pro doprovodné služby a aplikace, není apriorně a pevně dán, ale je možné jej navolit. V praxi je pak konečný počet programů výsledkem konkrétní volby (toho subjektu, který sestavuje výsledný datový tok, neboli tzv. multiplex). Tato volba je vždy určitým kompromisem mezi snahou umístit do multiplexu co nejvíce obsahu a požadavky na kvalitu jednotlivých programů. Výsledný kompromis je pak ovlivněn i momentální úrovní technologií, zejména kompresních, a samozřejmě také šířkou vyhrazených frekvenčních kanálů.

Dnes se do jednoho multiplexu nejčastěji zařazují čtyři televizní programy. Například ČRa ve svém experimentálním vysílání přenášely v jednom multiplexu 5 TV programů, zatímco společnost Czech Digital Group 4 TV programy, a 3 rozhlasové programy.



Subjekty, které rozhodují o obsahu (složení) multiplexu, tak mohou volit různé strategie. Mohou například dát přednost TV programům, a minimalizovat další obsah (rozhlasové programy, datové služby a aplikace). Nebo to mohou udělat naopak, a dát více prostoru třeba datovým službám, na úkor televizních a rozhlasových programů.

Důležité také je, že souhrnný datový tok má charakter statistického multiplexu. To v praxi znamená, že prostor, vyhrazený pro jednotlivé složky (TV a R programy, data), se může měnit podle potřeby, a to i za chodu (a velmi rychle). Je například možné i to, aby jeden televizní program, který právě potřebuje přenášet nějakou detailní scénu, získal pro příslušný časový interval větší kapacitu, na úkor jiného programu, který právě nepotřebuje přenášet tolik obrazových detailů viz. Princip hierarchické modulace v kapitole 6.7.

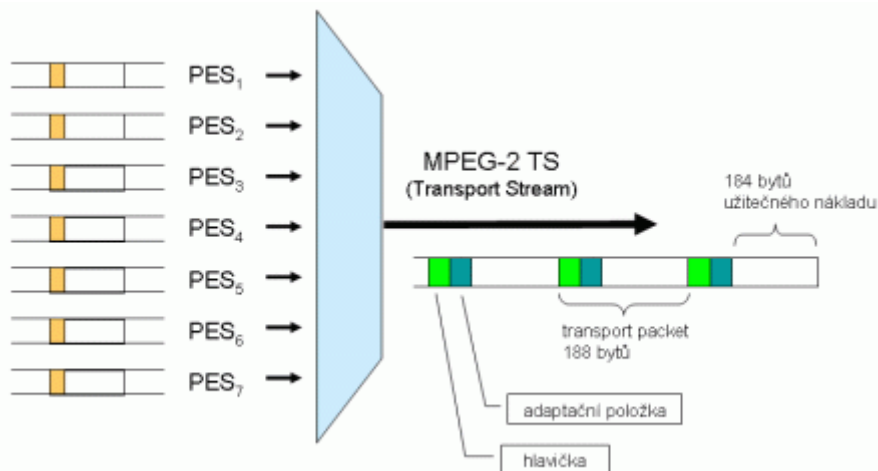
6.1.4 Paketizace

Obsah paketů, jejich přenos a funkce v multiplexech.

Vraťme se ale znovu k přenosovému řetězci v rámci DVB-T. Po kompresi velkého datového toku (270 Mbit/s) vzniká mnohem menší datový tok (až 4 či dokonce 3 Mbit/s, podle požadované kvality), který je v terminologii DVB-T označován jako elementární (Elementary Data Stream). Pro každý televizní program takto vzniká jeden video tok, a jeden audio tok (případně více audio toků, při více jazykových doprovodech).

Aby bylo možné tyto elementární toky snadno slučovat do výsledného datového toku (multiplexu) a následně zase oddělovat, musí být nejprve naporcovány na vhodně velké bloky, označované v terminologii DVB-T jako pakety. Ty jsou opatřeny hlavičkou, ve které je obsažen údaj, identifikující příslušnost paketu ke konkrétnímu toku (údaj PID, Packet Identifier, opatřené vhodnou identifikační hlavičkou).

Tím vzniká tzv. Packetized Elementary Stream (PES), který již může být snadno slučován (tzv. multiplexován) s dalšími obdobnými toky (audio, video), od dalších televizních a rozhlasových programů.



Již v této fázi se také přidávají datové toky (ve formě PES), generované různými doprovodnými aplikacemi (například data představující obsah elektronického programový průvodce, data patřící doprovodným službám atd.), či představující obecná data, která nemusí nijak souviset s přenášenými TV programy. Díky tomu může DVB-T sloužit i jako obecný (univerzální) přenosový kanál pro přenos dat, s distribučním charakterem. Nezapomínejme ale, že v rámci standardu DVB-T je tento kanál pouze jednosměrný!

Do výsledného datového toku (multiplexu) se dále přidávají i nezbytná režijní data, identifikující složení celého multiplexu, význam jednotlivých složek, jejich vlastnosti atd. Pro zařízení na straně příjemce (set-top box, resp. iDTV) jsou tato data klíčem k opětovnému rozkladu celého souhrnného datového toku (multiplexu) a výběru požadovaného programu a/nebo služeb. Zmíněná režijní data mají podobu řady vzájemně provázaných tabulek, jejichž popis již překračuje rámec tohoto textu.

Celá právě popsaná soustava vstupů je sloučena (spojena, tzv. multiplexována) do jednoho souhrnného datového toku (multiplexu), který je již označován jako Transport Stream (transportní proud). Je tvořen pakety o velikosti 188 bajtů (užitečný náklad představuje 184 bajtů).

V současné době je v celé popisované části přenosového řetězce (tj. pro kompresi, paketizaci i výsledný transportní tok) využívána technologie MPEG-2. Do budoucna ale lze předpokládat využití novějších a dokonalejších technologií (MPEG-4 atd.).

6.1.5 Modulace a vysílání

Vzájemné překrývání vysílaného signálu z jednotlivých vysílačů nemusí být vždy na škodu.

Souhrnný datový tok (multiplex) je před svým vysláním ještě doplněn o údaje, sloužící k jeho zabezpečení proti chybám. Pak už směřuje k jednotlivým pozemním vysílačům, které se starají o jeho šíření éterem do svého okolí. Zde přitom odchází k jedné významné odlišnosti od klasického analogového vysílání:

analogové vysílače, které by vysílaly na stejných frekvencích, by se vzájemně rušily, a proto musí vysílat na různých frekvencích. Naopak v případě digitálního vysílání nemusí používání stejných frekvencí vadit, ba právě naopak – jednotlivé vysílače mohou vysílat na stejných frekvencích (tvořit tzv. jednofrekvenční síť, SFN, Single Frequency Network), a svým vysláním se vzájemně doplňovat a přispívat tak k lepší kvalitě obrazu a zvuku u koncového příjemce. Proto se pro digitální vysílání také buduje spíše hustší síť menších vysílačů, které vzájemně vytváří pokrytí určité souvislé oblasti (i se vzájemnými překryvy). Obvykle se umísťují do vzdálenosti max. 90 km od sebe.

To, proč se u digitálního vysílání jednotlivé vysílače vzájemně neruší ale doplňují, souvisí se způsobem šíření signálu, resp. s jeho modulací. Standard DVB-T předpokládá použití techniky OFDM (ortogonální frekvenční modulace). Její podstatou je rozdělení celého frekvenčního kanálu, které je k dispozici pro vysílání (typicky 8 MHz) na větší počet podstatně užších pásem – nejčastěji na 6817 dílčích pásem. Každé z nich je pak využíváno k vysílání samostatně, a to jakoby pomalu (s poměrně pomalu se měnícím signálem).

Smysl (relativně) pomalých změn přenášeného signálu v každém z dílčích pásem souvisí s odolností vůči všelijakým poruchám, rušení a hlavně odrazům (které způsobují známé duchy). Přichází-li takový odraz (nebo signál od jiného vysílače na stejné frekvenci), a jeho časový posun vůči hlavnímu signálu není příliš velký, může být takovýto vedlejší signál ještě správně přičten k hlavnímu signálu a může dokonce zlepšit jeho kvalitu, místo toho aby ji zhoršil (viz známé duchy u analogového vysílání).

Díky tomu dokáže digitální vysílání zajistit kvalitní příjem tam, kde podmínky nejsou zdaleka ideální a analogový příjem by byl špatný.

Neplatí to ale absolutně, digitální vysílání dokáže efektivně kompenzovat (eliminovat) resp. využít jen určitou míru vedlejších signálů (odrazů a signálů od dalších vysílačů na stejné frekvenci). Jakmile by například byly příliš časově posunuty (což souvisí např. se vzájemnou vzdáleností vysílačů), už by se to na zhoršení kvality obrazu a zvuku přeci jen projeвило.

6.1.6 Přenos dat v DVB-T

Typy přenosu dat v systému DVB-T, princip přenosu a jeho funkce.

Jak jsme si již uvedli, v rámci přenosu podle DVB-T vzniká jednosměrný digitální přenosový kanál o konkrétní kapacitě (přenosové rychlosti). Část této kapacity je využívána

pro přenos určitého počtu televizních a rozhlasových programů a zbytek pak může být využit pro různá data – ať již související či nesouvisející s jednotlivými programy. Také rozdělení celkové kapacity mezi jednotlivé složky (programy, data) není fixní, ale závisí na rozhodnutí toho, kdo sestavuje výsledný datový tok (multiplex).

Zastavme se ale na chvíli u toho, jakým principiálním způsobem může být využita ta část kapacity, která je v rámci celkového datového toku (multiplexu) vyhrazena pro data. Předtím si ale znovu zdůrazněme, že jde pouze o jednosměrný kanál, který má distribuční charakter (vede ke všem potenciálním příjemcům) a je všemi příjemci sdílen. Není tedy možné jej jakkoli individualizovat – to, co je vysíláno, je k dispozici všem příjemcům současně, v naprosto stejné podobě. Případné individuální přenosy (k jedinému příjemci) proto musí být řešeny tak, aby se příslušný obsah stejně přenášel ke všem příjemcům současně, ale pouze jeden z nich si jej skutečně vyzvedl, resp. dále zpracoval.

Nyní již slíbené dvě varianty přenosu dat přes tento jednosměrný sdílený kanál:

- **jednorázový (neopakovaný) přenos:** odesílatel v určitou konkrétní dobu zařadí do vysílaného proudu určitá data. Ti příjemci, kteří o tom vědí a mají o tato data zájem, je mohou v uvedenou dobu přijmout – ovšem právě a pouze v uvedenou dobu. Takto se většinou řeší jednorázová distribuce velkých souborů (různých aktualizací apod.), například v nočních hodinách, kdy některý z televizních programů právě nevysílá (a část celkové kapacity, která je tím uvolněna, je využita právě pro datový přenos).
- **opakovaný přenos, na principu tzv. karuselu:** určitá množina dat je odesílatelem vysílána opakovaně (stále dokola), buďto zcela beze změn, nebo i s průběžnými aktualizacemi. Ten příjemce, který nestihl přijmout určitou část těchto dat, si jednoduše počká na příští opakování (příští kolo vysílání týchž dat). Jde o princip, na kterém je v rámci stávajícího analogového vysílání přenášén teletext. Samozřejmě platí, že čím je příslušná množina dat menší, tím je možné její vysílání opakovat častěji – a příjemce čeká kratší dobu na požadovaná data. Naopak, čím větší data, tím je čekání příjemce delší.

6.1.7 Interaktivita v rámci DVB-T

Možnosti individuálního navolení interaktivity v DVB-T

S možnými způsoby přenosu dat v rámci DVB-T souvisí i různé formy interaktivity, které digitální vysílání (podle DVB-T) nabízí. Můžeme si je odstupňovat takto:

- **žádná interaktivita:** příjemce (divák, resp. posluchač) si pouze jednorázově zvolí program, který ho zajímá a který chce sledovat. Jeho přijímač (set-top box nebo iDTV) pak z přijímaného datového toku průběžně extrahuje právě tu část, která odpovídá zvolenému programu, a zajišťuje jeho zobrazení.
- **lokální interaktivita (též: malá interaktivita):** takto se označuje situace, kdy si příjemce interaktivně vybírá z množiny dat, která je k němu vysílána opakovaně (stále dokola, na principu karuselu). Příjemce naopak nemá možnost si vybrat cokoli jiného, než to co již bylo pro něj předem připraveno v rámci karuselu (opakovaně vysílané množiny dat). Ilustrativním příkladem může být listování stránkami teletextu – požadovaná stránka se zobrazí až poté, kdy je znovu odvysílána (přijata).

- **plná interaktivita:** takto je označována situace, kdy je jednosměrný přenosový kanál DVB-T doplněn o zpětný kanál, obecně jakýkoli (například přes ADSL, dial-up, GPRS apod.), a příjemce má možnost nějakým způsobem ovlivnit i to, co je k němu vysíláno. Zde je vhodné zdůraznit, že zpětný kanál není součástí DVB-T, resp. standard DVB-T s žádným zpětným kanálem nepočítá, a plnou interaktivitu tedy sám o sobě nepodporuje. Existuje sice další standard (standard DVB/RCT, od: Return Channel Terrestrial), který již zpětný kanál zahrnuje – ale v ČR dosud nejsou žádné známky o tom, že by měl být implementován).

6.1.8 DVB-T a přístup k Internetu

Přístup k Internetu v rámci vysílání DVB-T nebude tak snadný, jak se může zdát.

V souvislosti s lokální a plnou interaktivitou je vhodné si ujasnit, jaký je vztah mezi DVB-T a přístupem k Internetu. Právě digitální televize obecně (a DVB-T konkrétně) jsou totiž často prezentovány jako řešení pro přístup k Internetu pro skutečně masové uživatele. Pravda je taková, že DVB-T je schopné nabídnout určitou formu přístupu k Internetu, skrze lokální interaktivitu. Spočívala by v tom, že někdo v určitém okamžiku sejme vzorek určité omezené části Internetu, a ten nechá opakovaně vysílat ke všem příjemcům současně a opakovaně (na principu karuselu). Je to v zásadě stejné, jako brouzdání obsahem CDčka: můžete klikat a přecházet jen na ty stránky, které jsou na CD vypáleny. Uživatel tedy vidí a smí navštívit pouze to, co pro něj někdo jiný vybral. O nějakém kladení dotazů (skrze vyplňování formulářů) nemá smysl mluvit, protože chybí zpětná vazba, která by dotaz dopravila k příslušnému serveru.

Proč se tedy opakovaně vkládají tak velké naděje do zpřístupnění Internetu přes digitální TV pro širokou veřejnost? Proč tato myšlenka nachází tak velkou odezvu hlavně mezi politiky a zákonodárci? Není to nakonec proto, že zde někdo konkrétní bude rozhodovat o tom, kam se masy uživatelů budou moci dostat a kam nikoli?

I kdyby si koncoví uživatelé, již nad rámec standardu DVB-T, pořídili zpětný kanál a měli možnost ovlivnit to, co k nim přitéká, ani pak z toho nebude plnohodnotný přístup k Internetu. Uvědomme si totiž, co přesně znamená možnost ovlivnit obsah vysílaných dat: jde o data, vysílaná společně ke všem příjemcům. Pokud by si více uživatelů individuálně vyžádalo nějaká data, musela by všechna tato data být vysílána ke všem uživatelům současně, na principu jednorázového přenosu – a každý by si z nich vzal to, co si sám vyžádal. Pro jednoho uživatele by to nejspíše šlo, ale co třeba pro tisíce uživatelů současně? To by bylo stejné, jako kdyby tyto tisíce současně pracujících uživatelů (v dosahu stejného vysílače) seděly na jedné páteřní síti o kapacitě 20 až 24 Mbit/s, ze které ale ukusují rozhodující část přenosy televizních a rozhlasových programů, a dále opakující se datové přenosy (na principu karuselu). To by bylo nepoužitelné, alespoň podle názoru autora tohoto článku.

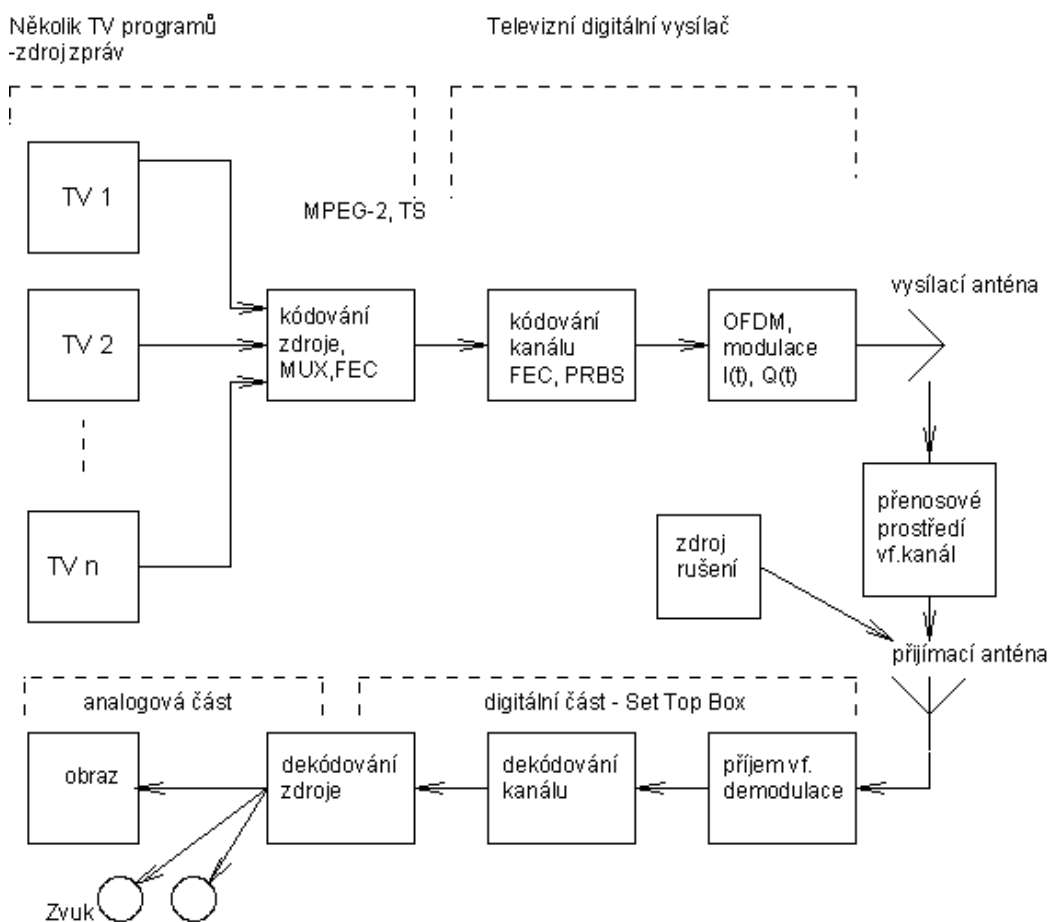
Plná interaktivita má smysl například k tomu, aby si uživatel objednal nějaký dávkový přenos většího souboru, nejspíše někdy v nočních hodinách, kdy je ve výsledném datovém proudu dostatek místa pro takovýto přenos. Nebo třeba pro hlasování v různých anketách (kde se dnes posílají hlasovací SMSky).

Představy, že lidé budou skrze své televizní přijímače interaktivně brouzdat celým veřejným Internetem, číst a odesílat svou poštu, účastnit se různých chatů a diskusí, nakupovat v e-shopech, hrát on-line apod., samozřejmě jsou realizovatelné – ale ne jen skrze DVB-T. Spíše tak, že příslušný set-top box bude vybaven nejen zpětným kanálem (pro možnost odesílání dat), ale také individuálním dopředným kanálem, skrze který bude stahovat

specifická data, subjektivní pro daného uživatele. Ostatně, když už by takovýto set-top box byl připojen třeba na domácí přípojku ADSL, proč ji využívat jen v jednom směru (odchozím), kde je její propustnost navíc ještě malá, ve srovnání s příchozím směrem? Smysl kombinace set-top box a TV a přínos digitální televize jako takové je pak hlavně v tom, že nahrazuje osobní počítač (PC-čko).

6.2 Způsoby přenosu v zemském systému DVB-T

Pozemní digitální televize, jinak řečeno digitální televize terestriální (DVB-T, Digital Video Broadcasting- Terrestrial) je z hlediska šíření elektromagnetických vln v zemském prostředí nejsložitější a nejobtížnější. V současné době byl plně dokončen přechod z analogového systému vysílání na systém digitální



Obr.43 Obecný model digitální televize DVB-T

TV 1 až TV n

MUX

FEC (Forward Error Correction)

PRBS (Pseudorandom Binary Sequence)

OFDM (Orthogonal Frequency Division and Multiplexing)

I(t), Q(t)

jednotlivé TV programy

programový slučovač – multiplexer

protichybová ochrana

pseudonáhodná funkce

blok modulace subnosných vln

kvadrurní složky po rychlé inverzní Fourierově transformaci

6.3 Co mají oba přenosové systémy společné

- Oba systémy, analogový i digitální vychází ze stejné normy CCIR. Tato norma definuje základní požadavky na přenos a zpracování televizního signálu. Norma vychází ze systému prokládaného řádkování:
- obraz je rozložen do 625 řádků s řádkovým prokládáním, řádkový kmitočet $f_r = 15625$ Hz doba trvání řádku $t_r = 64\mu s = H$ (horizontál).
- pulsímkový kmitočet $f_s = 50$ Hz, tedy snímkový kmitočet $F_s = 25$ Hz , doba trvání pulsímku $t_s = 20$ ms =V (vertikál)
- z celkového počtu 625 řádků je 50 řádků zatemněných a tyto se používají k přenosu snímkového synchronizačního impulsu, k přenosu pěti vyrovnávacích impulsů s opakovací periodou $32\mu s$ na počátku a na konci snímkového synchronizačního impulsu a dále k přenosu měřících a zkušebních řádků. Doba trvání snímkového synchronizačního impulsu je 25H. Úroveň zatemňovacích impulsů je 75% celkové amplitudy, úroveň černé 75% amplitudy a úroveň bílé 10 % amplitudy. Prokládané řádkování znamená, že sudý pulsímk má řádky umístěné mezi řádky lichého pulsímku.. Signál vzniklý tímto způsobem snímání se označuje jako *jasový signál Y*
- řádkování a snímkování je řízeno synchronizačními impulsy
- barevný signál se získává rozkladem na tři základní barvy **R-červená**, **G- zelená** , **B-modrá**, z těchto tří základních barev a jasové složky se vytvářejí tři přenášené složky a to jasová složka Y a rozdílové signály R-Y a B-Y

6.4 Technické specifikace , ve kterých se oba systémy liší

V **digitální televizi** se podle doporučení č.601 Mezinárodního poradního sboru pro radiokomunikace (CCIR) studiový barevný obraz vytváří tak, že každá část televizního řádku mezi řádkovými synchronizačními impulsy je rozdělena na **720 vzorků jasového signálu Y** a dvou barevných rozdílových signálů **R-Y** a **B-Y**. Barevný obraz se tedy skládá z plošek, přičemž každá ploška je popsána třemi údaji. Hodnoty jasu a rozdílových barev jsou definovány ve 256 hodnotách, tzv. ve 256 vzorkovacích úrovních. Každému vzorku a jeho vzorkovací úrovni je přiřazeno digitální slovo v 8 nebo 10bitovém kódu modulace PCM. Jasový signál o kmitočtu cca 6 MHz je vzorkován vzorkovacím kmitočtem 13,5 MHz (*vzorkovací kmitočet je nejméně dvojnásobkem nejvyššího přenášeného kmitočtu*) vzorkovací kmitočty rozdílových signálů R-Y a B-Y jsou vzorkovány kmitočtem 6,75 MHz Vznikne tak tok digitálního obrazového signálu. Digitálnímu toku odpovídá při 625 řádcích a 50 pulsímkách za sekundu a při daných vzorkovacích kmitočtech bitová rychlost v_p , která závisí na součtu vzorkovacích kmitočtů jednotlivých složek obrazu,

$$v_p = [f_{vz}Y + f_{vz} (R-Y) + f_{vz} (B-Y)].8bitů = 27 \text{ MHz} \cdot 8bitů = 216 \text{ Mbit/s}$$

nebo při 10bitovém kódu 270 Mbit/s. K signálu obrazové modulace se dále přidává zvukový digitální signál, ale s podstatně menší bitovou rychlostí. Aktivní bitový tok je dále snížen na konečnou hodnotu 165 Mbit/s.

Pokud jde o kvalitu přenosu, byl problém vyřešen na počátku přechodu zavedením systému MPEG 2 viz.další text.

6.5 MPEG

Název **MPEG** zkracuje anglická slova *Motion Picture Experts Group* (vyslovuje se [empeg]), v překladu *Skupina expertů pro pohyblivý obraz*, což je název pracovní skupiny vyvíjející standardy používané na kódování audiovizuálních informací (např. film, obraz, hudba) pomocí digitálního [kompresního](#) algoritmu. MPEG je jedna z mnohých pracovních skupin pracujících v rámci společné technické komise vytvořené organizacemi [ISO](#) (*Mezinárodní organizace pro normalizaci*) a IEC (komise *International Electro-Technical Commission*). Současně se název používá pro pojmenování celé skupiny komprimačních [MPEG](#) formátů. MPEG-2 byl představen v roce 1994.

MPEG-2 je [ztrátový komprimační datový formát](#), který slouží ke snížení datového toku a tím i velikosti výsledného souboru u digitálně zpracovávaných videozáznamů při co nejmenším viditelném zhoršení kvality po dekomprimaci. Jeho předchůdcem je formát [MPEG-1](#) a dokonalejším technologickým nástupcem formát [MPEG-4](#).

MPEG-2 je standardním formátem užívaným pro ukládání a přenos videa na [DVD](#), nebo při distribuci digitálního televizního signálu [DVB-T](#). U aplikací, které vyžadují MPEG-2 komprimaci či dekomprimaci videa v reálném čase, jsou kladeny výrazně vyšší nároky na výpočetní kapacitu procesoru, než u formátu MPEG-1 (používal se pro klasické video VCD).

Pro pochopení funkce komprimace je potřeba vědět, že každý videozáznam je sekvencí jednotlivých samostatných snímků. Základním principem MPEG komprimace videa, je individuální přístup k jednotlivým snímkům, konkrétně určení tzv. **klíčových snímků** (**I** - *Intra Frame*), které se ukládají resp. přenášejí celé - jsou to v podstatě [JPEgy](#) - zásadně kódovány vnitrosnímkově, a dále **snímků pomocných** (**P** - *Predicted*), které se ukládají zkomprimované (mezi snímková komprese) - jsou to jednosměrné předpovědi vzhledem k předcházejícímu I nebo P obrázku, *přenášejí se pouze rozdíly* oproti již přenesenému (referenčnímu) makrobloku, přičemž polohu ref. makrobloku udává pohybový vektor. Tyto dva typy snímků jsou pak proloženy ještě třetím typem snímků (**B** - *Bidirectional Predicted*), který se přenáší buď silně zkomprimován (*také mezi snímkovou kompresí*), nebo se nepřenáší vůbec - jsou to obousměrné předpovědi vzhledem k předcházejícímu I nebo P obrázku, přenášejí se pouze rozdíly oproti již přenesenému (referenčnímu) makrobloku. Tyto „chybějící“ snímky jsou pak při dekomprimaci (třeba i v reálném čase) dopočítávány z informací klíčových snímků. Typické pořadí snímků je např.: IBBPBBPBBPBBPBBPBB (tato sekvence mezi dvěma „I“ se nazývá **GOP** - Group of Pictures).

Při dopočítávání se využívá i skutečnosti, že lze některé drobné části obrazu a jejich vzájemné rozdíly na po sobě jdoucích snímcích popsat matematicky (např. statická jednobarevná plocha). Práce s takto definovanými plochami se označuje jako **kvantizace** (*quantized*). Proto se v některých případech (typicky při televizním DVB-T přenosu), kdy je potřeba docílit při kódování co nejmenšího datového toku (TV= 3Mb/s), ještě obraz před samotným kódováním upravuje tak, aby obsahoval co nejméně ploch s detaily a naopak co nejvíce „jednobarevných“ ploch - *typicky u fotbalových přenosů dochází ke „slití“ trávy na hřišti do univerzální plochy téměř bez vzorku*.

MPEG-2 se liší od formátu MPEG-1 tím, že dokáže pracovat s tzv. proměnlivým datovým tokem (**VBR** - variable bit rate). To v praxi znamená, že komprimační software rozpozná scénu, která obsahuje řadu za sebou jdoucích velmi podobných (statických) snímků, mezi kterými jsou jen velmi malé rozdíly - např. moderátor, který (z pohledu videostopy)

„pouze“ otevírá ústa. V takovém případě sekvence obsahuje velmi málo klíčových snímků a relativně málo doplňkových informací k dopočtu výsledného obrazu. Opakem je např. záznam hokejového zápasu. Ve výsledku je pak průměrný datový tok (výsledný soubor) menší než při použití konstantního datového toku (**CBR** - constant bit rate) a současně kvalitnější, neboť u náročných scén se dočasně datový tok zvýší.

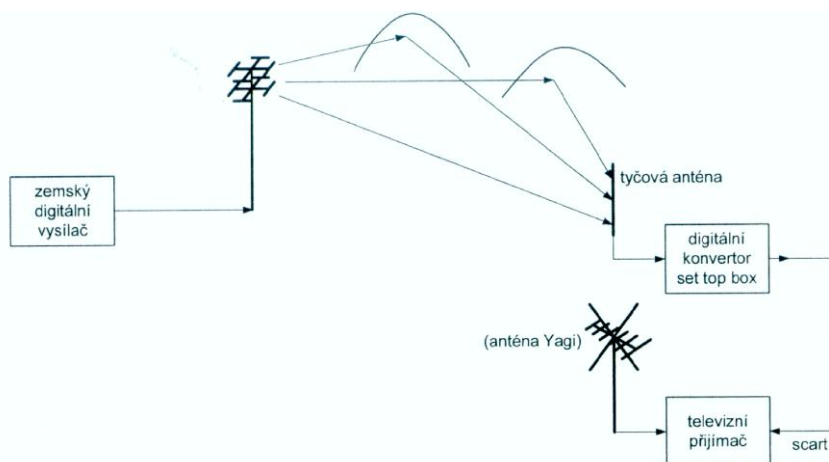
MPEG-2 na rozdíl od MPEG-1 umí pracovat s prokládanými snímky, tzv. pulsnímky.

MPEG-2 byl vyvinut pro rozlišení 720x576 obrazových bodů. V praxi je možné ale kódovat jakýkoliv vstupní rozměr a poměr stran a zvolit konstantní datový tok CBR, nebo proměnlivý datový tok VBR, s konkrétním datovým tokem. Obdobně lze v praxi nastavit i kvalitu komprimovaného zvuku.

Podrobnější informace získáte v kapitole o kompresních formátech v kurzu Elektronická zařízení III.

6.6 Modulační techniky

Po krátkém exkurzu do teorie zpracování obrazového a zvukového signálu před přenosem, se vrátíme k metodám přenosu televizního signálu v systému DVB-T. Základním problémem při šíření televizního signálu, je mnohacestné šíření. Jedná se o to, že televizní signál šířící se v konkrétním prostředí, které obsahuje značný počet terénních překážek a nehomogenit, se na anténu přijímače dostává v různých časových intervalech- vlivem odrazu od překážek obr.44 .



obr. 44 Digitální zemské vysílání DVB-T

Na anténě se objeví signál přímý, od vysílací antény a současně odražený časově posunutý. Výsledek si určitě pamatujete z doby, kdy se na obrazovce přijímače objevily odrazy jako lidově řečeno *duchy*- „při přenosu fotbalového utkání tak na hřišti bylo 22 hráčů s velmi těsnou obranou identických dvojic“. Problém se objevil nejen při příjmu odraženého signálu, ale také vlivem blízkého vysílače, pokud vysílal na stejném kmitočtu. Protože tomuto jevu nelze zabránit, bylo nutné najít takový modulační systém, který by byl k tomuto jevu imunní.

Problém si ukážeme na jednoduchém příkladu. Při vysílání Morseovy abecedy (*telegrafní spojení*), kde délka jednoho znaku je při rychlosti 50 baudů 20 ms, (baud je

jednotka telegrafní rychlosti $v=1/a$). Počet binárních symbolů přenesených za jednu sekundu, se nazývá přenosová rychlost a vyjadřuje se v bit/s. Číselně je rovna telegrafní rychlosti v .

Tedy v případě přenosu takového znaku se mnohacestné šíření projeví v rozdílu mikrosekund, což je zcela zanedbatelné.

To však neplatí při přenosu pohyblivých obrázků. Musíme využít jiné techniky, kterou znáte z počítačové praxe. Jak je vám známo, mají počítače jednak *sériový port* a jednak *port paralelní*. Budeme-li zvažovat stejný datový tok, spočívá rozdíl v tom, že při sériovém přenosu se data přenášejí velkou rychlostí po jednom vodiči, kdežto při paralelním přenosu mnohem nižší rychlostí po více vodičích. Toho je možné využít i při přenosu televizního signálu.

Až dosud jsme uvažovali systém, který využíval jednu nosnou vlnu, která je modulována relativně vysokými kmitočty televizního signálu (*obrazová modulace až do 6 MHz*). To tedy znamená, že při digitálním přenosu, přenáší jediná nosná (*jediný vodič*) velký bitový-datový tok. Stejněho efektu se dá dosáhnout, použijeme-li *větší počet nosných (větší počet vodičů)* a bitový tok mezi ně rozdělíme. Pak bude bitový tok přenášený jednotlivými nosnými mnohem menší – přenos pomalejší. Přitom bude platit, že celková potřebná šířka pásma např. 8 MHz, zůstane stejná. V případě jedné nosné se totiž vytvoří postranní pásma o značné šířce (*znáte to u amplitudové modulace HPP a DPP 4,5kHz, u analogové televize HPP 6,5 MHz*), u digitálního přenosu postranní pásma s velkým bitovým tokem. U systému s mnoha nosnými si každá vytvoří postranní pásma poměrně úzká, úměrná malé přenosové rychlosti.

Podstatné je to, že při pomalém přenosu se mnohacestné šíření bude uplatňovat velmi málo. Na základě těchto úvah byl zvolen modulační systém pro soustavu DVB-T. Používá se systém *COFDM (Codet Orthogonal Frequency Division Multiplex)*, což znamená multiplex s ortogonálním frekvenčním dělením. Základní označení je OFDM, písmeno C znamená, že systém je vybaven ještě kódováním pro ochranu proti chybám při přenosu.

Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů, které jsou vzájemně k sobě v ortogonalitě, kdy platí:

$$f_k = k \cdot f_0$$

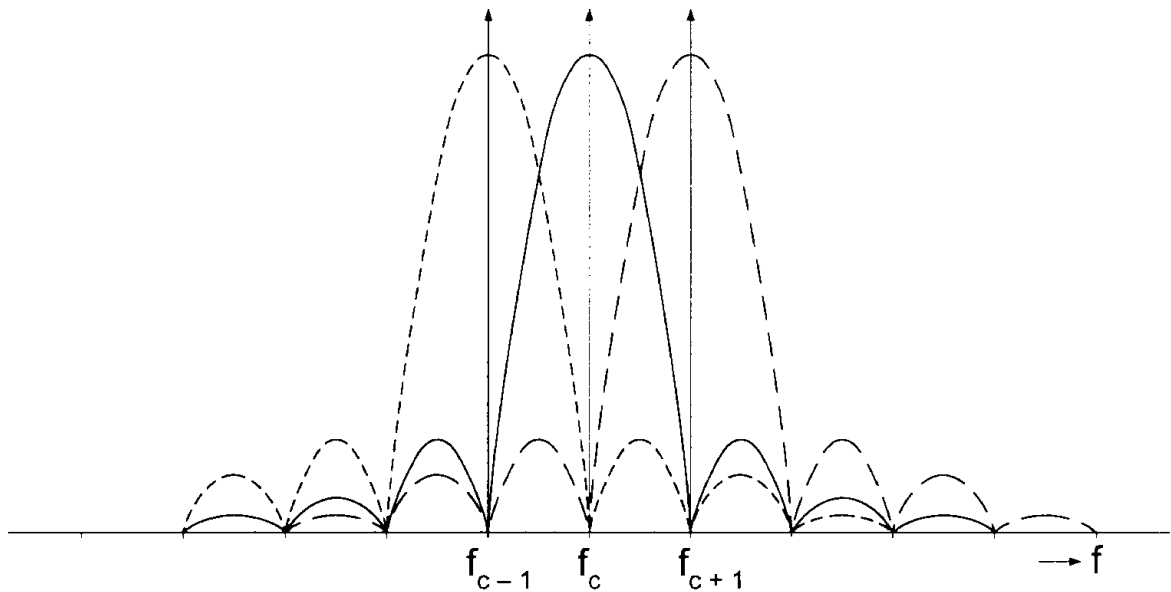
kde f_0 je základní nosná v pořadí a k je celé kladné číslo.

Nosné jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi QPSK, 16QAM nebo 64QAM, viz obr.46. Jednotlivé nosné jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Poněvadž jsou ve výsledku toky na jednotlivých nosných malé, je možné vkládat ochranný interval (GI) – čas, kdy se nevysílá žádná nová informace. Realizace spočívá v tom, že se přijímač vybaví obvodem, který vždy po určitou dobu od začátku vysílání symbolu signál vyklíčuje a umožní dekodéru zahájit činnost teprve po uplynutí zmíněného ochranného intervalu.

Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout (právě) vysílaný symbol, i když přichází k přijímači více cestami s různým zpožděním. Stejný symbol přijatý vícekrát s různým zpožděním tak může odpovídat i více vysílačům. Přijímané výkonové úrovně více vysílačů resp. odrazů se tak na přijímací straně do jisté míry sčítají. Na obr.45 je naznačen

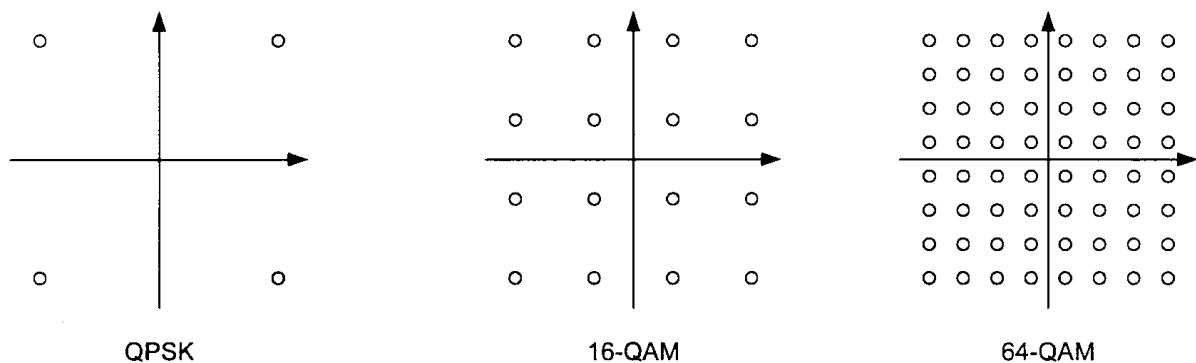
příklad obsazení spektra jednotlivými nosnými a je zřejmé, že minimum spektra sousední nosné spadá do maxima vedlejší nosné (*ortogonalita*).

Popsaný mechanismus využívající ochranný interval dovolu je značně snížit nároky na kvalitu přijímací antény. Na rozdíl od analogového vysílání, kdy byla potřebná dostatečně kvalitní směrová přijímací anténa, je v případě digitálního vysílání možný příjem i na jednoduchou prutovou anténu, ovšem při dostatečném signálu v místě příjmu obr. 48.



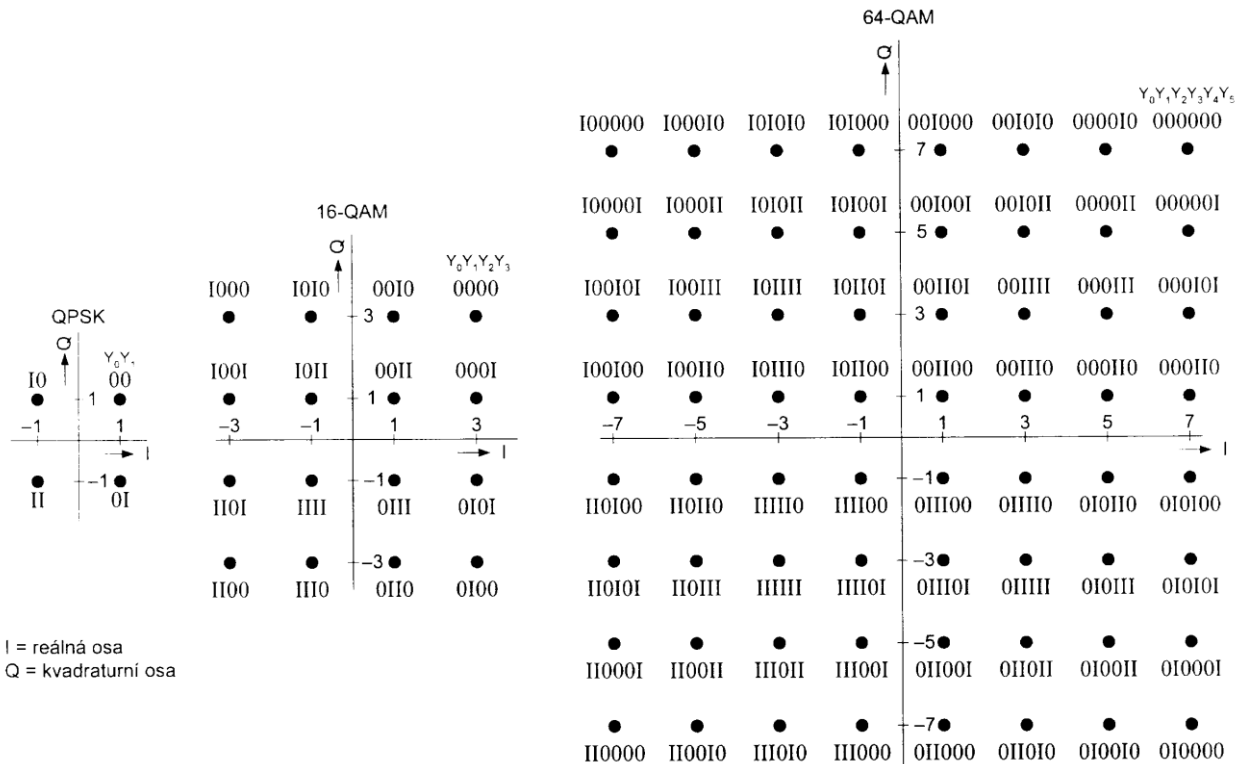
obr.45 Příklad uspořádání nosných v systému OFDM

Jak bylo již uvedeno, šlo při návrhu systému také o dosažení maximální efektivity využití kmitočtového pásma. K tomu se používají tzv. *vícestavové modulace*. U DVB-T se používají tři typy modulace: QPSK, 16-QAM, 64-QAM. U všech těchto modulací je nosná nikoliv modulována, ale klíčována fázově, u posledních dvou současně i amplitudově. Vše je názorné na obr.46.

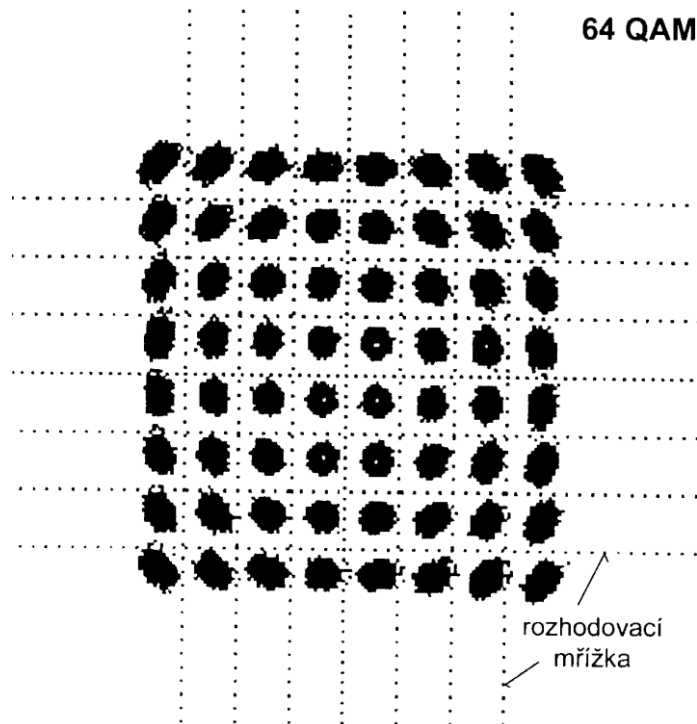


obr.46 Uspořádání koncových bodů fázorů v systému QPSK, 16QAM, 64QAM

Pokud fázor zaujme více poloh než dvě, může v jedné poloze přenášet více než jeden bit. Názorně to ukazuje obr.47 , kde je udána přenášená informace při uvedených modulacích. Vidíme, že každá poloha fázoru u 16-QAM přenáší informaci odpovídající 4 bitům U modulace 64-QAM stoupne tato hodnota na 6 bitů. Nese to však s sebou problém růstu počtu stavů modulace a tím se zvyšuje nejistota dekodéru rozeznat správně příslušnou polohu fázoru. Je to naznačeno na obr. 47 , kde je uveden konstalační diagram vícestavové modulace v reálných podmínkách. Různé parazitní vlivy, jako je šum, nelinearity, nerovnoměrnost přenosových charakteristik, způsobují neurčitost koncových bodů, což se projevuje rozmazáním, nebo deformací diagramu.



obr.47 Přenášené informace v systémech QPSK, 16QAM, 64QAM znázorněné v konstalačních diagramech.



obr. 48 Konstelační diagram 64QAM v reálných podmínkách

Podle obr.48 je zřejmé, že pokud je deformace tak velká, že je překročena hranice daná rozhodovací mřížkou, vznikne chyba v přenosu. Modulace s menším počtem stavů je tedy odolnější proti případným zkreslením a používá se tam, kde se počítá se zhoršenými podmínkami přenosu.

Nyní můžeme stanovit kapacitu přenosového kanálu DVB-T. U systému 8k lze tedy uvažovat 6817 nosných, které při modulaci 64-QAM přenášejí každá 6 bitů s periodou $T = 1,12$ ms. Z toho vychází teoretická maximální kapacita C_k 36,52 Mbitů/s.

$$C_k = 1/T \cdot 6 \text{ bitů} \cdot 6817 \text{ nosných} = 1/1,120 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 6817 = 36,52 \text{ Mbitů/s}$$

Protože se však musí asi 13% kapacity použít pro synchronizaci a další pomocné funkce, zmenšuje se kapacita při modulaci 64-QAM s ochranným intervalem 1/4 a při konvolučním kódování 7/8 na hodnotu 26,1 Mbitů/s, což umožňuje přenos asi 4 až 6 programů v kvalitě PAL při klasickém multiplexování. Pro modulaci 16-QAM vychází kapacita 17,4 Mbitů/s a při modulaci QPSK 8,7 Mbitů/s. Samozřejmě při vyšším zabezpečení proti chybám, např. při konvolučním kódování 1/2, je výsledný bitový tok nižší. U modulace QPSK dosahuje asi 5 Mbitů/s.

Pokud budeme uvažovat *statistické multiplexování*, při kterém se jednotlivým programům daného multiplexu přiděluje operativní bitový tok odpovídající okamžité situaci, je možné počítat s vyšším počtem přenášených programů. V případě 64-QAM je to asi 7 až 8 programů.

Přehled parametrů v systémech 8k a 2k je uveden v tabulce I.

Pro informaci si ještě uvedeme nároky televizního přenosu různé kvality na přenosovou rychlost. Televize s vysokou rozlišovací schopností HDTV potřebuje asi 30 Mbitů/s, televize se zvýšenou kvalitou EDTV asi 11 Mbitů/s, televize se standardní kvalitou

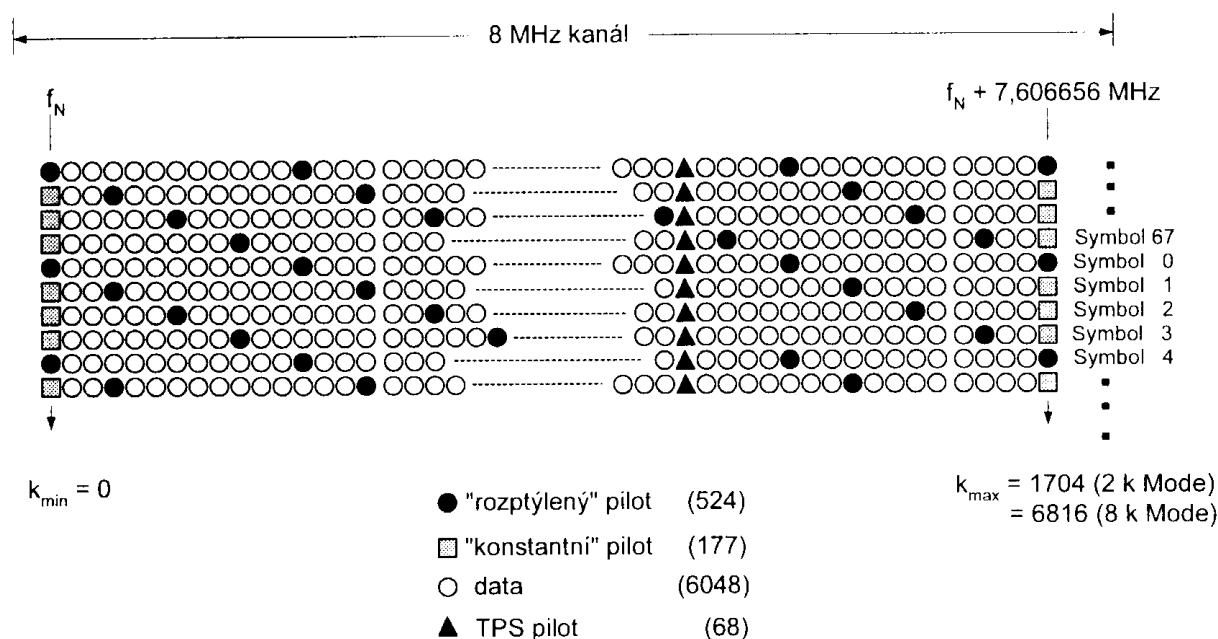
SDTV (o něco lepší než PAL) asi 4 až 5 Mbitů/s a televize s nízkou kvalitou LDTV (asi jako VHS) 1,5 Mbitů/s.

Systém	8k	2k
Počet nosných	6817	1705
Využitelná délka symbolu (μs)	896	224
Odstup nosných (Hz)	1116	4464
Šířka pásma (MHz)	7,61	7,61
Ochranný interval (z délky symbolu)	1/4 1/8 1/16 1/32	1/4 1/8 1/16 1/32
Délka ochranného intervalu (μs)	224 112 56 28	56 28 14 7
Délka symbolu (včetně ochrany) (μs)	1120 1008 952 924	280 262 238 231
Max. vzdálenost vysílačů (km)	67,2 33,6 16,8 8,4	16,8 8,4 4,2 2,1

Tabulka I Parametry systémů 8k a 2k

Datový tok u soustavy DVB-T je uspořádán do jednotlivých rámců, z nichž každý přenáší 68 symbolů o 6 bitech (viz.obr. 47). Uspořádání tohoto rámce je na obr.49. Obrázek ukazuje, že některé nosné nepřenesající data (binární data obrazu a zvuku) jsou modulovány pouze pilotními signály, jejichž úkolem je přenášet některé *systemové informace*. V případě 8k je to 177 nosných s pořadím 0, 48, 54, 87, ...6816. Dále se vysílá tzv. *rozptýlený pilot*, který je umístěn spolu s daty na 524 nosných a konečně *pilot TPS* určený k přenosu pomocných dat, který se vysílá na 68 nosných. Vlastní data se tedy vysílají na 6048 nosných.

$$6817 - 177 - 524 - 68 = 6048$$



obr.49 Uspořádání rámce DVB-T

6.7 Hierarchická modulace

Z vlastní zkušenosti při příjmu digitálního signálu jste poznali, že při zhoršení příjmových podmínek, např. hustý déšť, sněžení apod., nastane skokem naprostý výpadek přenosu. *Obraz začne tzv, kostičkovat a nakonec tzv, zamrzne.* Televizní divák nemá žádnou možnost, jak sledování programu upravit. U analogového vysílání při zhoršení příjmových podmínek také došlo k znehodnocení obrazu, ale obraz byl sice zašuměný ale do jisté míry pozorovatelný. U DVB-T platí zásada „ *bud' všechno a v kvalitě, nebo nic.* “

Protože při příjmu signálu musíme vždy počítat s možností zhoršených podmínek, event. s příjmem na přenosný televizor, je potřeba tento problém řešit. Máme několik možností:

- podstatně zvýšit výkon vysílače
- rozšířit síť doplňkových vysílačů
- smířit se s tím, že budeme přijímat signál v nižší kvalitě

Realizace poslední zmíněné možnosti vedla k vývoji tzv. *hierarchické modulace*.

Technická realizace spočívá v tom, že ve společném multiplexu (souboru přenášených programů) se vysílá současně program v systému QPSK v nižší kvalitě, s větším zabezpečením proti chybám a současně program s vyšší kvalitou 64-QAM s menším protichybovým zabezpečením. Oběma tokům se přiřadí priorita (u bezpečného vyšší) a rozhodnutí o tom, který bitový tok se použije se ponechá na dekodéru přijímače. Vysílač má v takovém případě dva paralelní řetězce pro zpracování signálu. V konečném důsledku může nastat stav, že oba bitové toky mají společně 2 bity v toku 64-QAM a zbývající bity využívá pouze kvalitnější přenos.

6.8 Provoz jednofrekvenčních sítí SFN

Při digitálním vysílání je možné využít kmitočtově úsporné využití sítě vysílačů. Můžeme vytvořit soustavu, ve které všechny vysílače vysílající stejný multiplex, budou používat stejný nosný kmitočet. Taková soustava se nazývá síť *SFN (Single Frequency Network)*. Pokud vzdálenost těchto vysílačů nepřekročí hodnotu danou ochranným intervalem, nenastane vzájemné rušení a síť bude pracovat v bezchybném provozu. Teoreticky tak může být území celého státu, velké oblasti, pokryto několika programy sdruženými v jednom multiplexu při využití jediného televizního kanálu.

Ve skutečnosti to není tak jednoduché, protože je potřeba počítat s tím, že v místě příjmu se může rušivě projevit signál mnohem vzdálenějších vysílačů, které budou pracovat na stejném kanálovém kmitočtu, avšak budou mít příznivější podmínky pro šíření signálu. Proto mají síť SFN své omezení, ale přesto se s nimi do budoucna při plánování systému DVB-T počítá.

Aby síť SFN pracovala spolehlivě, je potřeba splnit určité základní podmínky. Především přesnost kmitočtu nosných musí být v nejhorším případě 1 % jejich vzájemní frekvenční vzdálenosti. U systému 8k je to tedy maximálně 11 Hz.

Při šířce pásma kanálu 7,61 MHz a při počtu subnosných 6817 dostaneme jejich vzájemnou frekvenční vzdálenost

$$f_{sub} = \frac{7,61 \text{ MHz}}{6817} = 1116,32 \text{ Hz} \Rightarrow 1\% = 11,1 \text{ Hz}$$

Multiplex musí být synchronizován s přesností nejvýše 10 % ochranného intervalu, (tedy méně než 22,4 μ s). To tedy znamená, že stejná informace musí vystupovat u všech vysílačů z antény ve téměř stejném okamžiku. Bitový tok musí být identický. Toho můžeme dosáhnout pouze využitím moderních systémů, z nichž nejvhodnější je *navigační systém GPS* (*Global Positioning System = celosvětový navigační systém*). Vysílače SFN jsou na tento systém navázány, přičemž synchronizace multiplexu se dosahuje zařazením vyrovnávací paměti, která uvolňuje informace na povelový signál odvozený od systému GPS (*vyrovnávací paměť se chová jako zpoždovací vedení s regulovaným zpožděním*).

6.9 Modulační techniky pro DVB-T

V předcházejících částech jsme si uvedli, jakými způsoby se dá digitální signál v systému DVB-T vytvářet. Nastává otázka jakým způsobem se dá přenos realizovat. Mohli bychom použít vysílač, který by obsahoval 6048 modulátorů pro přenos dat, viz. kap. 6.6- definice rámce pro přenos dat. Toto je však zcela nereálné. Nabízí se však řešení, které museli použít již dříve konstruktéři, kteří se zabývali přenosem např. akustických signálů. Tam se také používá současný přenos signálů ve zvukovém spektru. Představte si, že by jste celé zvukové spektrum rozdělili na jednotlivé tóny a ty pak přenášeli samostatně oddělenými kanály, pro pásmo 30 Hz až 15 kHz bychom potřebovali 14 970 kanálů. Na výstupu bychom měli 14 970 výstupních měničů, např. samostatných reproduktorů výsledný akustický signál bychom pak vnímali jako směs dílčích zvuků.

Místo toho používáme pouze jeden kanál s reprodukcí jedinou membránou reproduktoru. Je tedy zřejmé, že celý akustický signál (obsahující mimo základních tónů i jejich příslušné harmonické), se transformuje do jediného časového průběhu elektrického napětí, podle něhož se pak membrána pod vlivem proměnného proudu vychyluje. $F = k \cdot i$

Přitom podle harmonické analýzy je možné tento časový průběh rozložit Fourierovou transformací na řadu sinusových signálů. Tak například bude-li signál obdélníkový, zjistíme pomocí této transformace, že vznikl jako součet velkého počtu **lichých harmonických základního kmitočtu** .

Zdůvodnění:

Matematická podstata harmonické analýzy a podmínky za kterých ji lze provést, jsou vyjádřeny větou Fourierovou. Tedy trochu matematiky.

Každá jednoznačně určená, periodická funkce $F(t)$ s opakovací periodou T a s opakovacím kmitočtem $f_0 = 1/T$, která má intervalu T konečný počet extrémů a nespojitostí, může být vyjádřena nekonečnou goniometrickou řadou ve tvaru:

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + a_3 \cos 3\omega_0 t + \dots + a_n \cos n\omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + b_3 \sin 3\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t$$

Pravá strana rovnice se nazývá Fourierovým rozvojem (řadou) funkce $F(t)$. Člen řady a_0 je střední hodnota funkce $F(t)$ za dobu T a říká se mu stejnosměrná složka. Členy s funkcí \cos se nazývají kosinovými složkami a členy s funkcí \sin , se nazývají sinovými složkami Fourierova rozvoje. Jejich kmitočty jsou celistvými násobky opakovacího kmitočtu f_0 analyzovaného průběhu $F(t)$. Čísla a_1 , b_1 až a_n , b_n se nazývají Fourierovy součinitele.

Obecně můžeme Fourierův rozvoj rozdělit na tři složky:

1. stejnosměrná složka, neboli nultá harmonická $A_0 = a_0$
2. základní harmonická $A_1 \cos(\omega_0 t - \varphi_1)$
3. vyšší harmonické $A_2 \cos(2\omega_0 t - \varphi_2) + A_3 \cos(3\omega_0 t - \varphi_3) + \dots + A_n \cos(n\omega_0 t - \varphi_n) + \dots$

Zjednodušení Fourierova rozvoje.

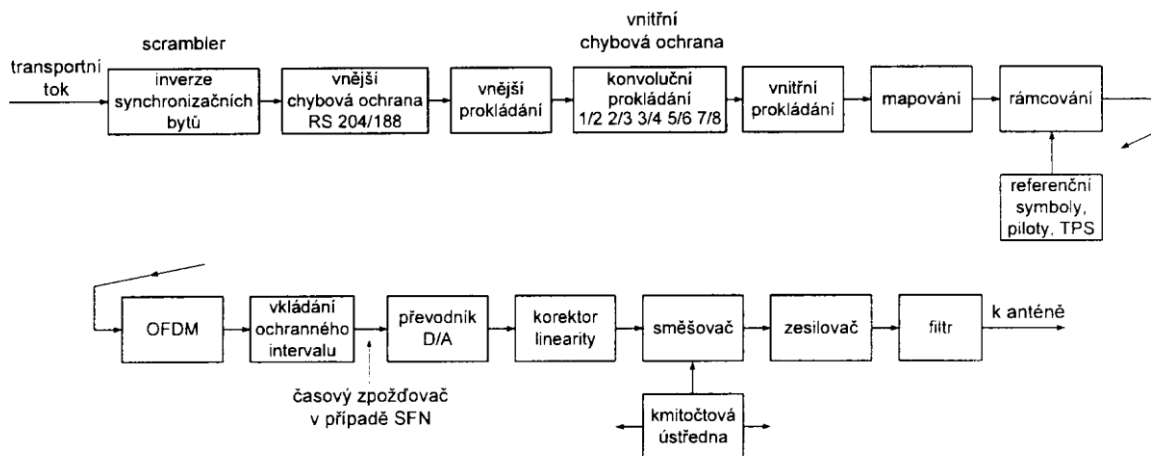
Opakují-li se hodnoty periodického průběhu z první poloviny periody v druhé polovině s opačným znaménkem, neboli platí-li $F\left(t + \frac{T}{2}\right) = -F(t)$, pak Fourierův rozvoj obsahuje pouze liché členy. A to je to co jsme chtěli dokázat. Takže “Konec matematiky“

Z obecného pohledu pak vyplývá, že chceme-li přenášet velký počet lichých harmonických, stačí vytvořit obdélníkový signál určitých parametrů. Z této úvahy vyplývá realizace modulační techniky **COFDM**. Jestliže podrobíme jednotlivé nosné tzv. inverzní Fourierově transformaci, nastane zhruba totéž, co se děje v každém mikrofónu. Výsledkem takové operace bude obecný časový průběh příslušné (pouze jediné) funkce.

Pak ovšem na základě zkušeností stačí pro další zpracování signálu pouze jeden modulátor a vysílač se značně zjednoduší.

6.10 Skupinové zapojení vysílače

Nyní se podíváme na skupinové, základní zapojení vysílače pro DVB-T. Schéma je na obr.50.



obr. 50 Skupinové schéma zapojení vysílače DVB-T

Digitální signál přichází na vysílací středisko ve formě tzv. transportního toku, pro který se používá označení TS (Transport Stream). Tento tok obsahuje celý multiplex (programy a data) a pro zabezpečení proti chybám v přenosu je doplněn příslušným ochranným kódováním. Vzhledem k tomu, že toto kódování není stejné jako v DVB-T, musí být TS nejdříve dekodován a pak teprve přiveden do budičové části vysílače.

Zde je upravený TS signál nejprve zaveden do jednotky, kde se oddělí synchronizační data a zbytek signálu se podrobí energetické dispersi (skramblování). Účelem tohoto procesu

je učinit datový tok co nejvyrovnanější (podobný bílému šumu), aby nevznikaly velké napěťové špičky, který by vyžadovaly velkou výkonovou rezervu v následujících stupních. Energetické disperse se dosáhne vynásobením signálem pseudonáhodné posloupnosti. Aby přijímač mohl takto rozprostřený signál znovu obnovit, dostává informaci ze synchronizačních bitů, které nejsou podrobeny dispersi a jsou po každých 8 paketech invertovány. Signál rozložený do paketů po 188 bytech postupuje dále do bloku **vnější chybové ochrany**, kde je doplněn Reed-Solomonovým kódem (16 zabezpečovacích bytů). V dalším obvodu se zavádí vnější prokládání interleaving, což spočívá v tom, že signál se ukládá do příslušné paměti po řádcích, ale čte se po sloupcích. Účelem prokládání je rozmělnění jedné větší poruchy (chyby) přenosu do řady drobných poruch rozprostřených v různých oblastech signálu.

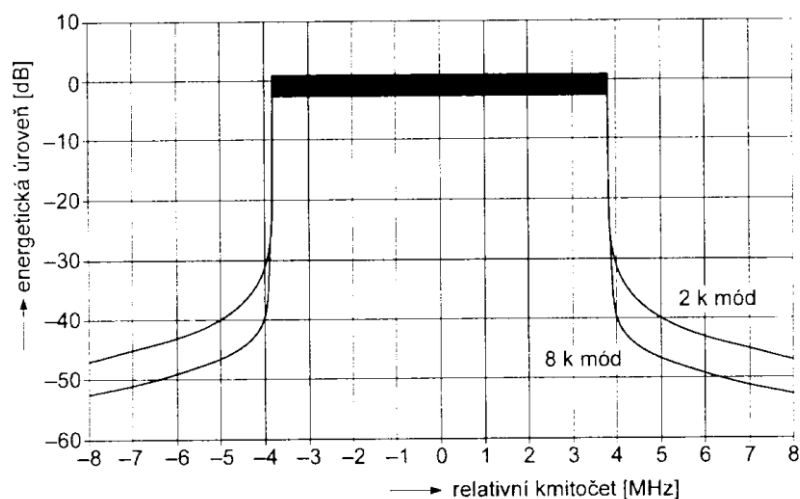
Následuje vnitřní protichybová ochrana konvolučním kódováním, s volitelným redukčním stupněm ochrany 1/2 až 7/8.

Dále je pak vnitřní prokládání, které má podobný protichybový účel jako prokládání vnější. V tomto případě jde však o to, že je potřeba potlačit vliv selektivní poruchy přenosu, která by mohla vymazat celou skupinu sousedních nosných. Prokládáním se dosáhne toho, že taková porucha se rozloží na řadu výpadků jednotlivých nosných kmitočtů rozložených v rozsahu rámce.

Po těchto úpravách nastává modulační proces. Signál vstupuje do mapovacího obvodu, který přiřazuje jednotlivým symbolům (bitům) příslušné místo v konstelačním diagramu, obr.47,48. Pak je signál zpracován do jednotlivých rámců a doplněn pomocnými daty (piloty, symboly TPS).

Následuje vlastní OFDM modulátor s již zmíněnou inverzní Fourierovou transformací a vkládání ochranného intervalu. Následně je signál převeden z číslicové podoby na analogovou formu převodníkem D/A, a je překorigována nelinearita výkonového stupně. Potom se pomocí směšovače přeloží do vysokofrekvenční polohy na příslušný kanálový kmitočet. Následuje výkonový (koncový) stupeň, který přes výstupní filtr budí vysílací anténu. Jak vypadá teoretické spektrum takto zpracovaného signálu je na obr. 51. Pokud by vysílač pracoval v systému síť SFN, musí být v řetězu před převodníkem D/A zařazeno ještě dříve zmíněné řízené zpožďovací vedení.

Používá-li se hierarchická modulace kap. 6.7, jsou v budiči instalovány dva signálové řetězce, které zpracovávají signál v příslušném modulačním systému. Pracují paralelně a jejich signály se slučují v mapovacím obvodu.



obr.51 Teoretické spektrum DVB-T

pozn. následující text vysvětluje některé pojmy používané v předchozí kapitole 6.10

Read-Solomonův kód náleží mezi nebinární BCH kódy. (Bose, Chaudhuri, Hocquengham Code) jsou velmi důležitou kategorií cyklických kódů, použitelnou v širokém rozsahu bitových datových rychlostí a ve značném rozsahu kódovacích rychlostí.

Základní variantou BCH kódů jsou kódy binární, jejichž zevšeobecněním však lze vytvořit i nebinární BCH kódy, u nichž je kódový symbol vytvořen z m bitů. Tyto kódy jsou charakterizovány třemi parametry (n , k , t), přičemž n je rozměr bloku (v bitech nebo symbolech) po kódování, k je rozměr originálních bloků (v bitech nebo symbolech) před kódováním a t je počet opravitelných bitů resp. symbolů. Tyto kódy jsou vhodné pro korekci skupinových chyb.

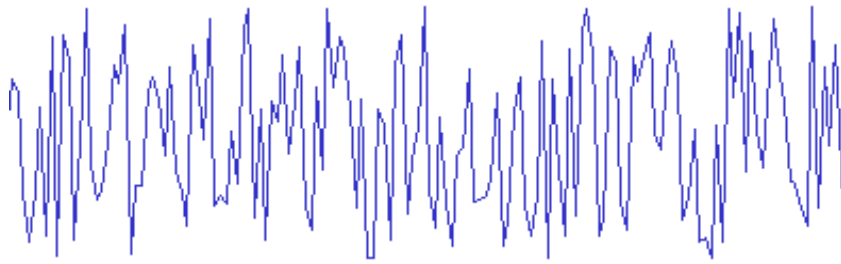
Délka bloku je u RSC $n = 2^m - 1$, lze ji však rozšířit na 2^m , nebo na $n = 2^m + 1$ (m je celé číslo). Ke korekci e chyb je nutné použít $2e = n - k$ paritních symbolů. Tyto kódy mají minimální délku $d_{\min} = 2e + 1$, což je největší dosažitelná hodnota ze všech lineárních kódů. Kódy RSC se používají v systémech DVB.+

V případě DVB-T je u kódu RSC rozměr originálního bloku (tzv. transportního paketu) $k = 188$ bytů, kódováním se zvětší o 16 bytů, minimální Hammingova vzdálenost je $d_{\min} = 17$ bytů. Tím je umožněna korekce až $(d_{\min} - 1)/2 = 8$ chybných bytů na blok. (pozn. 1 byte = 8 bitů) .Tento kód nese označení RS ($204,188, t = 8$), jeho kódový zisk je $k/n = 188/204 = 0,92$, viz označení ve skupinovém schématu obr. 50, blok vnější chybové ochrany.

6.11 Výkonové zesilovače pro DVB-T

Úkolem výkonového zesilovače je vytvořit výkon, který bude dostatečný pro vybuzení anténních obvodů. Jak vyplývá z předcházejících textů, vstupuje do výkonového zesilovače signál z budiče vysílače. Mohlo by se zdát, že na výkonový zesilovač nejsou žádné vyšší nároky, neboť se v podstatě jedná pouze o přenos digitálního signálu, tedy přenos určité kombinace binárních signálů, logických nul a jedniček. Signál DVB-T je však velmi komplikovaný, protože jde vlastně o analogové vysílání velkého počtu modulovaných nosných (princip OFDM). To však klade vysoké nároky zejména na linearitu zesílení a schopnost obvodů přenášet i vysoké signálové špičky. Sám signál DVB-T se podobá signálu bílého šumu, který má pseudonáhodný charakter s občasnými špičkami. obr. 52. U výkonového zesilovače pak nemluvíme o špičkovém výkonu, používáme hodnotu středního výkonu a tzv. *crest faktor*(vrcholový činitel), který vyjadřuje špičkového a středního výkonu.

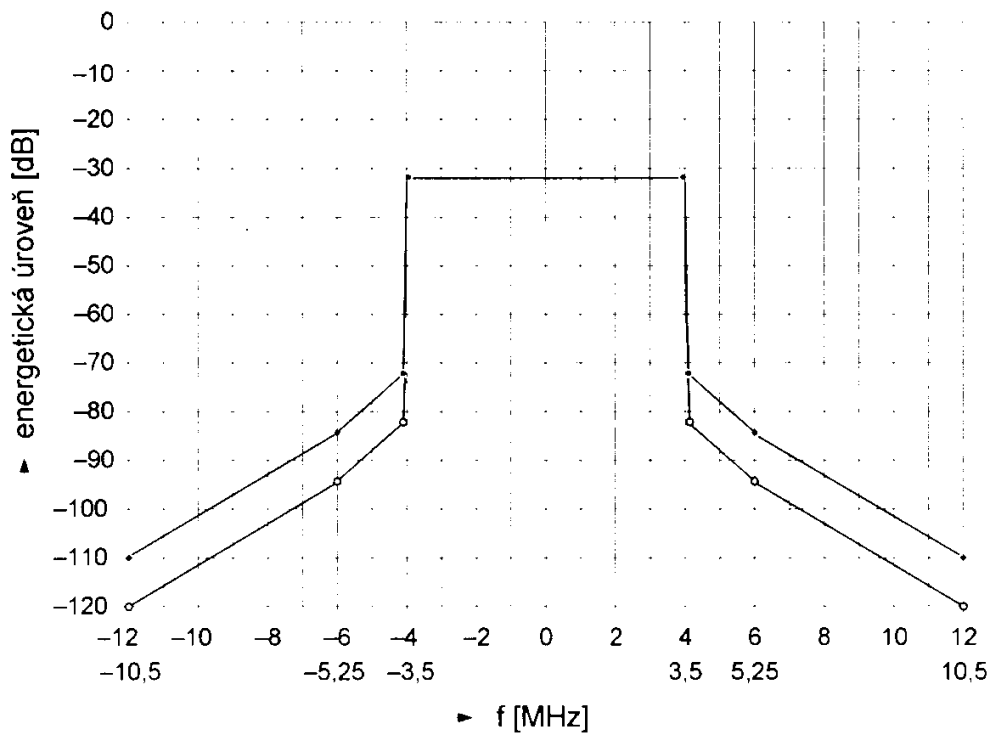
***Bílý šum** je náhodný signál s rovnoměrnou výkonovou spektrální hustotou. Signál má stejný výkon v jakémkoli pásmu shodné šířky. Například pásmo široké 20 Hz mezi 40 a 60 Hz má stejný výkon jako pásmo mezi 4000 a 4020 Hz. Bílý šum je tak nazýván jako analogie s bílým světlem, které obsahuje všechny frekvence. Nekonečný frekvenční rozsah signálu bílého šumu je pouze teoretický. Kdyby byl nenulový výkon na všech frekvencích, celkový výkon takového signálu by byl nekonečný. V praxi je signál „bílý“ pokud má ploché spektrum v definovaném rozsahu frekvencí.*



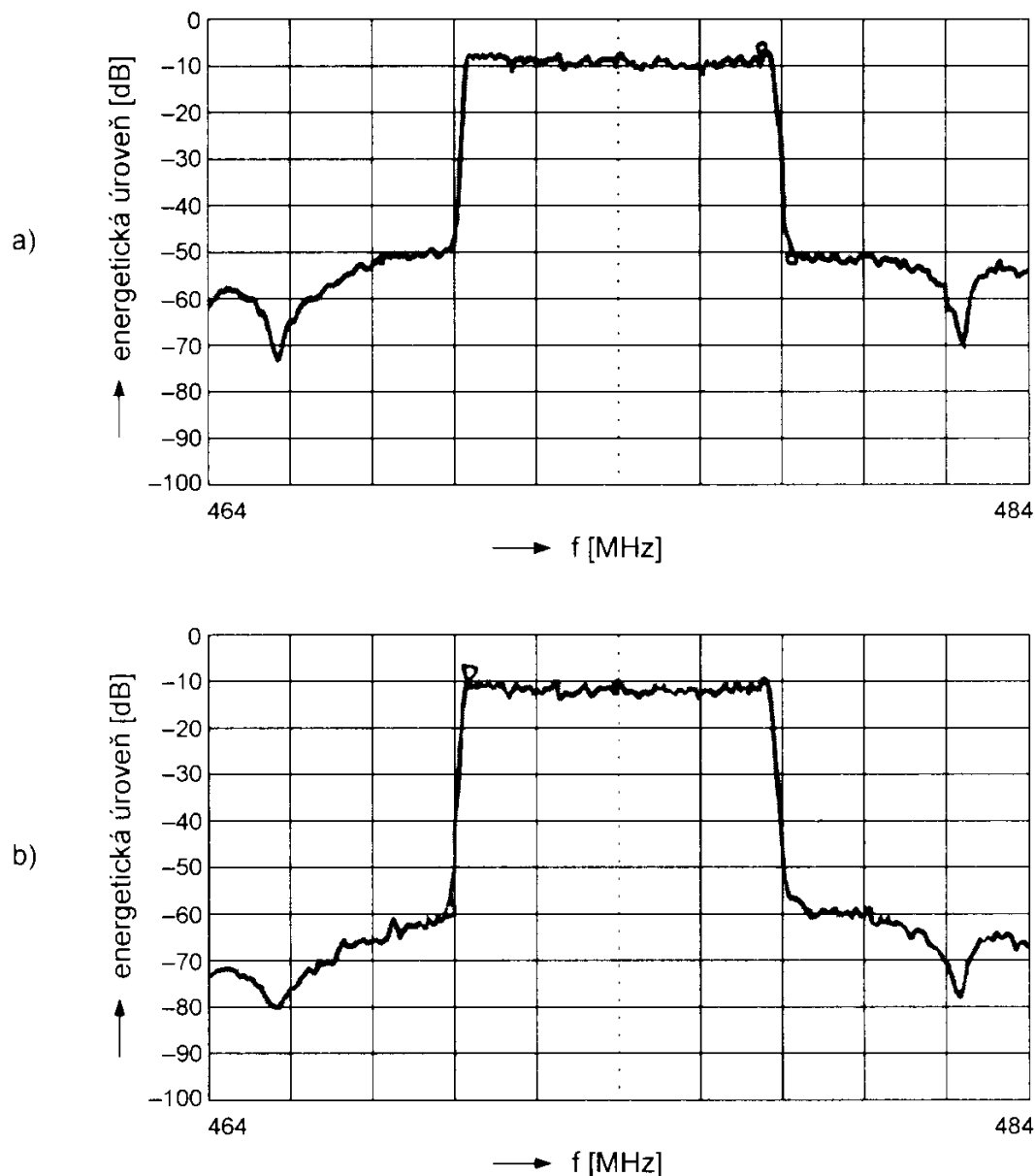
obr. 52 Spektrum bílého šumu

Pokud budeme uvažovat fakt, že se v malém počtu se oříznou extrémní hodnoty amplitudy signálu můžeme počítat s tím, že střední výkon zesilovače je asi o 6 až 8 dB nižší než by odpovídalo špičce synchronizačního impulsu v analogové televizi.

Nelinearita v zesilovači (vlivem nelineárních charakteristik aktivních prvků), způsobuje nejen deformaci konstelačního diagramu, obr. 48, ale vytváří intermodulační další kmitočtové produkty uvnitř i vně přiděleného kanálu. Aby nenastalo rušení intermodulačním signálem, je pro vysílače předepsán tvar spektra signálu, tzv. toleranční maska, obr. 53. Na obr. 54 jsou uvedeny hodnoty, které byly naměřeny na vysílači s elektronkou TH 382 pro výkon 3,3 kW obr. a) a 1,6 kW obr. b)



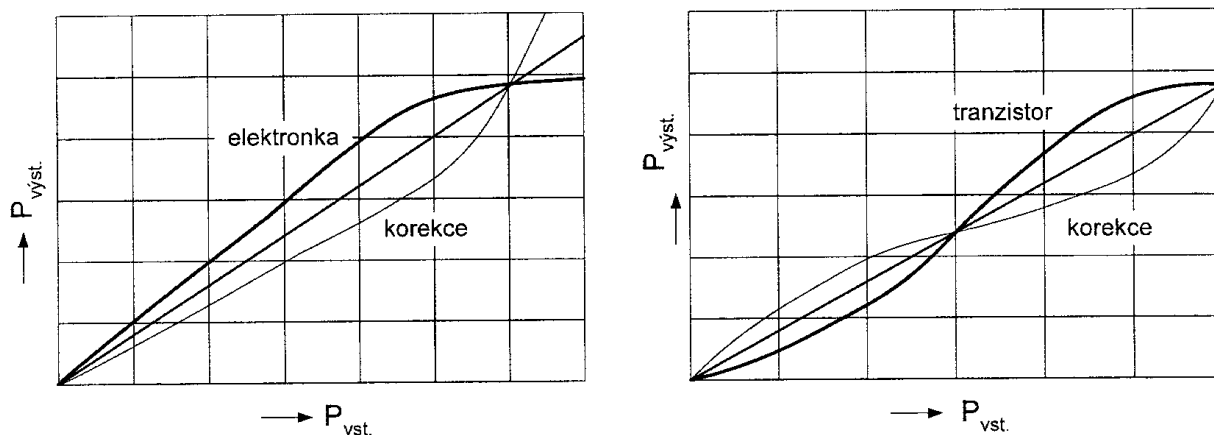
obr.53 Toleranční maska signálu DVB-T



obr. 54 Naměřené spektrální charakteristiky elektronkového zesilovače DVB-T ; a) pro výkon 3,3 kW ; b) pro výkon 1,6 kW

Z průběhů na obr. 54 vyplývá, že spektrum velmi závisí na výkonovém využití zesilovače. Nároky na linearitu jsou u DVB-T tak veliké, že nejsou použitelné klystrony. Ve výkonových stupních mohou být osazovány buď speciální lineární tetrody, nebo elektronky IOT, obr. 41, nebo polovodičové zesilovače s lineárními tranzistory.

Žádné z těchto řešení se však neobejde bez mezifrekvenčního korektoru linearity. Zpravidla nestačí ani tato korekce a proto musí být nežádoucí produkty filtrovány ještě výstupním filtrem. Výhodnější je řešení s elektronkami, které mají v oblasti malých rozkmitů lineární charakteristiku a k zakřivení dochází až v oblasti špičkových výkonů. Pokud se týká tranzistorů, je situace ještě horší, neboť vykazují značné nelinearity i při nízkých úrovních signálů a proto je zde korekce složitější, viz obr. 55. Vhodnější jsou tranzistory MOSFET.



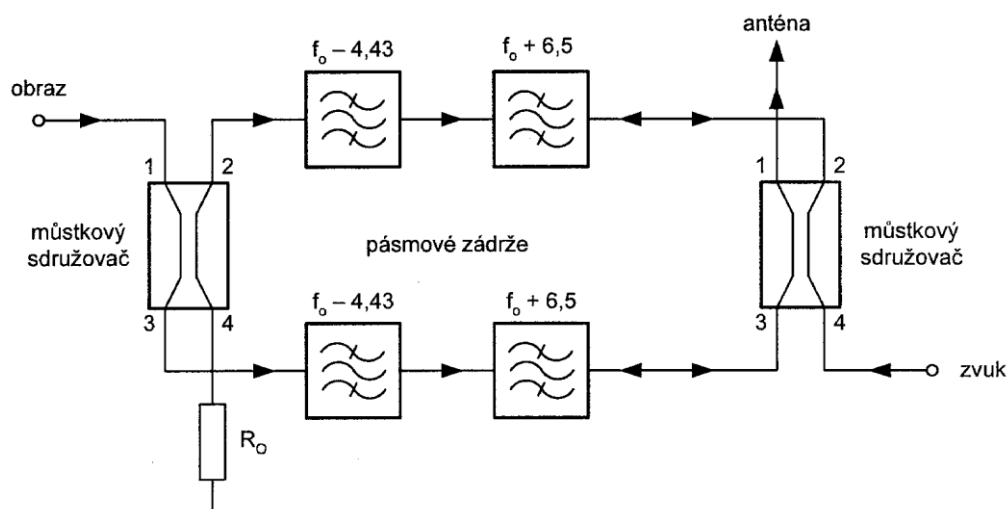
obr.55 Nelinearity elektronkových a tranzistorových zesilovačů

Pokud se týká účinnosti zesilovačů signálu DVB-T, dávají tyto zesilovače vzhledem k rovnoměrnému rozložení signálu téměř konstantní střední výkon a jsou tedy lépe energeticky využité.

6.12 Sdružovače

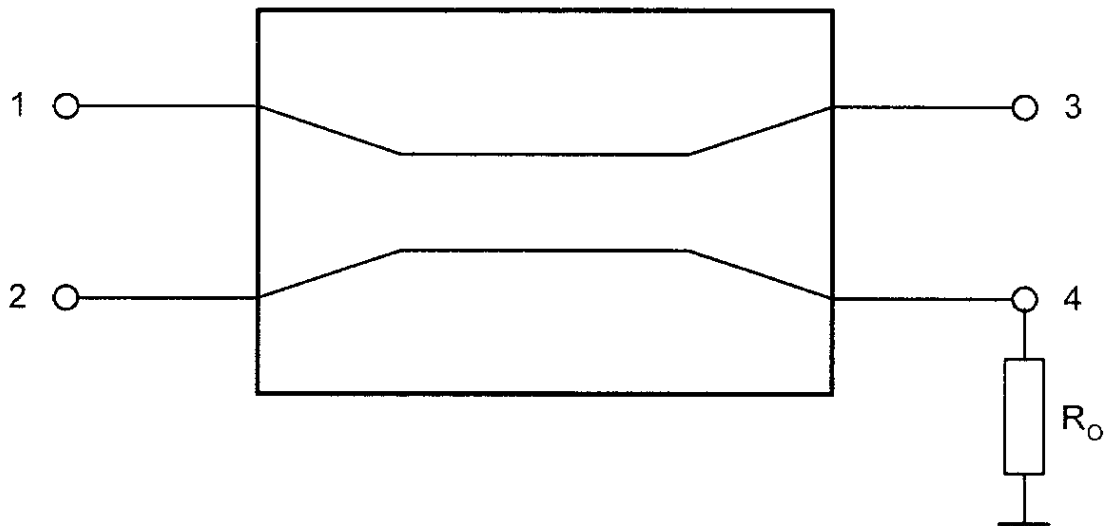
Použijeme-li klasické zapojení televizního vysílače s odděleným výkonovým zesilovačem obrazu a zvukového doprovodu, musíme oba signály sloučit tak, aby je bylo možné vysílat společnou televizní anténou. Přitom je potřeba zajistit, aby se oba výkonové zesilovače navzájem neovlivňovali, tedy musí být vzájemně izolované. Dále je potřeba zajistit optimální impedanční přizpůsobení. Většinou se při této operaci ještě dodatečně upravuje vysílané spektrum, tj. náležitě se upravuje přenos dolního postranního pásma (modulace VSB AM)

Principiální zapojení zařízení, které se ke sloučení používá a nazývá se *sdružovač*, *diplexer* nebo *filterplexer* je uvedeno na obr.56. Zařízení obsahuje dva můstkové sdružovače (můstky 3dB), několik rezonátorů, pásmových zádrží a zatěžovací rezistor R_o .



obr.56 Anténní sdružovač, filterplexer

Abychom pochopili funkci sdužovače, vysvětlíme si nejdříve funkci 3 dB můstkových členů na obr.57. Jedná se o jakousi skříň, která obsahuje dvě vedení s definovanou vzájemnou vazbou. Délka těchto vf. vedení je rovna přibližně $\lambda/4$ pracovního signálu. Např. použijeme –li pro přenos obrazové informace 60 kanál , pak pracovní kmitočet je 783,25 MHz., pak vlnová délka $\lambda = 38,3$ cm, tomu odpovídá $\lambda/4 = 9,57$ cm. Obě vf. vedení jsou opatřena konektory označenými čísly, obr. 57.



obr. 57 Můstek 3 dB

Představme si nejprve, že na konektor označený 1 připojíme vysokofrekvenční generátor a ostatní výstupy můstku zatížíme jmenovitou impedancí. Potom se výkon dodávaný generátorem můstku rozdělí na dvě stejné části, které přejdou do výstupů 2 a 3, kdežto na výstupu 4 se bude výkon rovnat nule. Současně je potřeba uvést, že signály na výstupech 2 a 3 budou proti sobě fázově posunuty o 90° .

Můstek může pracovat i tehdy, jestliže výstupy 2 a 3 nebudou řádně zakončeny (nesprávné zatěžovací impedance, zkrat a pod). I potom se výkon rozdělí do obou výstupů. Energie, která se vlivem nepřizpůsobení odrazí, se nevrátí zpět do generátoru, ale spotřebuje se v zátěži na výstupu 4. Důležité je to, že generátor bude stále správně zatížen.

Můstek můžeme použít i obráceném zapojení. Představte si, dva generátory připojené na konektory 2 a 3, přičemž oba generátory mají stejný kmitočet, stejný výkon a určitý fázový rozdíl. Pokud bude fázový rozdíl právě 90° , oba výkony se sečtou a celá energie přejde do zátěže na výstupu 1. Výkon na výstupu 4 bude nulový. Pokud vznikne nějaké nepřizpůsobení, nestane se nic jiného než, že se na výstupu 1 objeví pouze část výkonu a zbytek se spotřebuje v zátěži na výstupu 4. Oba generátory budou přizpůsobeny a nebudou nijak ovlivněny. V tomto zapojení pracuje tedy můstek jako dokonalý sdužovač dvou paralelních výkonových zesilovačů.

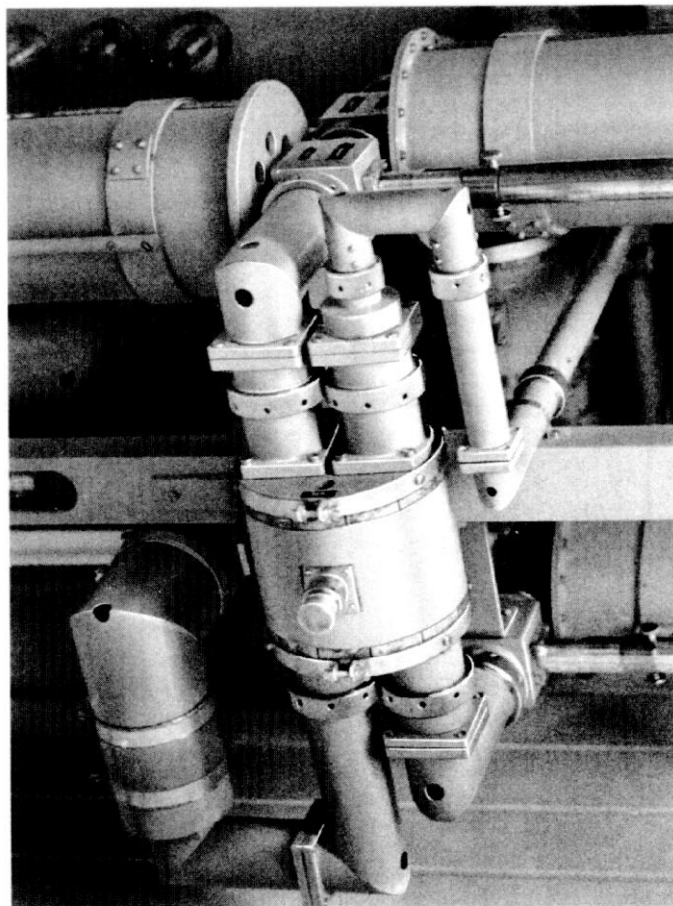
Nyní si vysvětlíme funkci filterplexeru dle obr. 56. Výkon výstupního signálu obrazového výkonového zesilovače vstupuje do levého můstku a rozděluje se na dvě stejné části. Obě vf. vedení, která připojují tento můstek k druhému můstku a tedy i k vysílací anténě, jsou opatřena rezonátory, pásmovými filtry, které představují zkrat pro kmitočet zvukového doprovodu ($f_o + 6,5$ MHz) a zkrat pro kmitočet ($f_o - 4,43$ MHz) ležící pod

nosnou obrazu f_0 . Zkrat rezonátoru představuje dokonalý odraz, signál zkratem dále neprochází a vrací se zpět ke zdroji signálu (viz teorie vf. vedení). Pro ostatní signály je rezonátor prostupný, to tedy znamená, že přes rezonátory prochází obrazové spektrum; (nosná f_0 , horní postranní pásmo, a zbytek dolního postranního pásma 1,75 MHz) do pravé části sdružovače. Zde se oba rozdělené výkony opět sloučí a bez problému odcházejí do vysílací antény. Nežádoucí signál dolního postranního pásma, který má svoje maximum v oblasti ($f_0 - 4,43 \text{ MHz}$), je příslušnými rezonátory odražen a spotřebuje se v zatěžovacím odporu levého můstku. Vysílač zvukového doprovodu se zde neuplatní, neboť je z hlediska obrazového signálu zapojen ve výstupu 4 pravého můstku, v němž je výkon obrazového signálu roven nule.

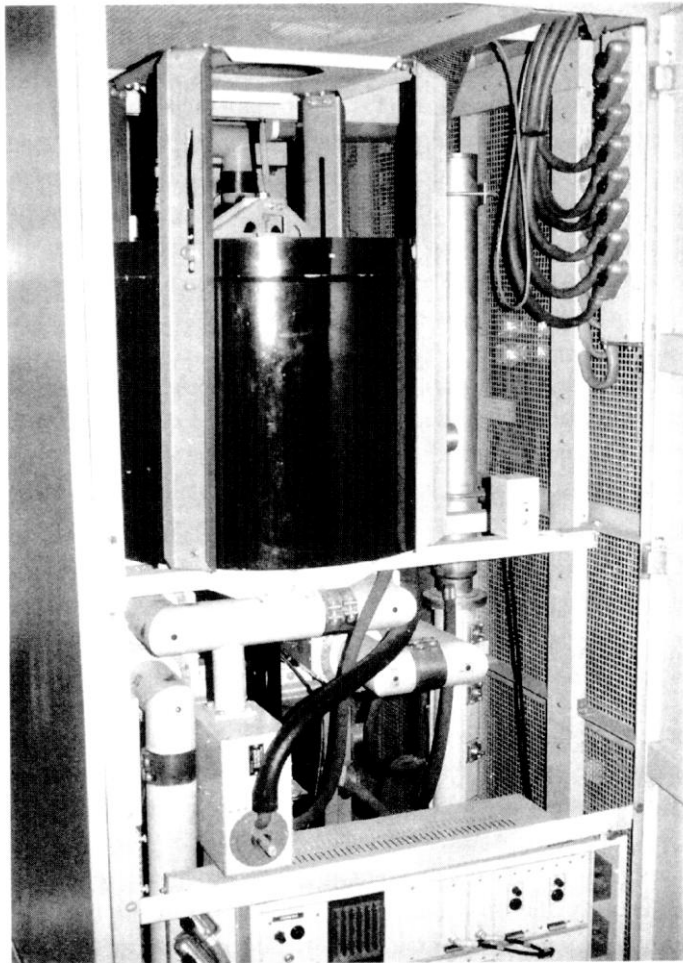
Vysílač zvukového doprovodu dodává svůj výkon do pravého můstku. V něm se výkon rozdělí na dvě části a měl by pokračovat v cestě směrem k vysílací obrazu. Zde se opět projeví vliv rezonátorů na kterých opět vznikne pro zvukový doprovod zkrat a signál je odražen zpět do můstku a přejde do výstupu 1, ke kterému je připojena vysílací anténa.

Tímto způsobem tedy obvody filterplexeru připojí oba vysílače k anténě, přitom je však vzájemně oddělují a navíc se upravuje spektrum signálu. Důležitou složkou filterplexeru jsou rezonátory. Musí být konstruovány tak, aby měly dostatečný činitel jakosti Q , tedy malé ztráty, a dostatečnou přesnost a stabilitu nastavení. Bývají pro to konstruovány dost robustně, kvalitně postříbřeny a aby se ladění neměnilo se změnami teploty, bývají vyráběny z Invar, což je plátovaný materiál.

Na obr. 58 je pohled na konstrukci 3 dB můstku a na obr. 59 pohled do diplexeru televizního vysílače.



obr. 58 Konstrukce můstku 3 dB



obr. 59 Pohled do diplexeru televizního vysílače

6.13 Energetické napájení vysílačů

Vysílací elektronky

Triody a tetrody do 250 kW výkonu rozptýleného na anodě a pracovní frekvence do 250 MHz. Jsou určeny pro použití ve vysokofrekvenčních předzesilovačích, koncových výkonových zesilovačích, modulátorech rozhlasových vysílačů a koncových zesilovačích obrazu a zvuku TV vysílačů III.pásma.

Elektronka	Chlazení	U_f /V/	I_f /A/	U_{am} /kV/	I_{am} /A/	P_{G1} /W/	P_a /kW/	μ	S /mA/V/	f /MHz/	\varnothing /mm/	l /mm/
<u>RD 200 B</u>	vzduchové	10,8	4,4	3,5	0,28	3	0,2	24	6	60	108	275
<u>RE 025 XA</u>	vzduchové	6	2,6	2	0,25	2	0,25	--	12	500	41,7	60
<u>RE 025 XB</u>	vzduchové	6	2,6	2	0,25	2	0,25	--	12	500	41,7	60
<u>RE 025 XM</u>	vzduchové	6	2,6	2	0,2	2	0,25	--	12	1000	41,7	70
<u>RE 400 A</u>	vzduchové	5	15	4	0,35	15	0,4	5	4,5	235	90	157
<u>RE 400 C</u>	vzduchové	5	15	4	0,35	15	0,4	5	4,5	235	90	157
<u>RE 1000 F</u>	vzduchové	7,5	28,5	6	0,7	25	1	6	5,2	150	150	265
<u>ZD 1000 F</u>	vzduchové	7,5	34	4	3	30	1	12	15	60	150	265
<u>ZD 1 XB</u>	vzduchové	19	27	6	0,4	40	1,2	7	11	30	180	480
<u>RE 3 XH</u>	vzduchové	6,3	34	5	1,1	30	3,5	8	18	220	92	187
<u>RE 3 XM</u>	vzduchové	22	2,7	4,2	1,2	10	3	4,2	90	300	103	111
<u>ZD 3 XH</u>	vzduchové	7,5	34	4	3	25	3	12	30	30	98	184
<u>RD 4 XM</u>	vzduchové	7,5	56	6	2,5	150	4	23	18	110	105	205
<u>RD 4 XMF</u>	vzduchové	7,5	56	6	2,5	150	4	23	18	110	105	428
<u>RD 4 XMH</u>	vzduchové	7,5	56	6	2,5	150	4	23	18	110	107,7	428
<u>RE 5 XN</u>	vzduchové	6,5	115	5	4	150	5	5	30	240	140	349
<u>RE 8 XM</u>	vzduchové	10	86	5	4	50	8	8	67	300	142	141
<u>ZD 8 XA</u>	vzduchové	18	76	12	1,5	250	8	7	6	20	215	700
<u>RD 10 XL</u>	vzduchové	7	180	10	3	600	10	45	67	30	127	345
<u>ZD 10 VM</u>	varem vody	10	70	11	4	100	12	14	25	70	153	252
<u>RD 12 XH</u>	vzduchové	12	60	15	2,5	500	12	48	10	30	206	790

<u>RE 12 XM</u>	vzduchové	10	86	5	4	50	12	8	67	300	172	173
<u>RE 12 XMG</u>	vzduchové	10	86	5	4	50	12	8	70	300	172	173
<u>RE 12 XO</u>	vzduchové	4,2	126	6	4,5	50	12,5	8	80	800	169,5	155
<u>RD 15 VL</u>	varem vody	7	180	12,5	4,5	600	15	43	66	30	220	332
<u>RE 15 VM</u>	varem vody	10	86	6,2	5	50	15	8	67	100	170	192
<u>RD 18 YH</u>	vodní	12	60	15	2,5	500	18	45		30	155	795
<u>RD 30 XM</u>	vzduchové	10	240	15	12	1200	30	40	70	60	275	515
<u>RD 50 XH</u>	vzduchové	18,5	130	15	12	3000	50	40	20	3	273	1090
<u>RD 20 XK</u>	vzduchové	12,5	110	15	5	2500	20	30	15	30	205	500
<u>RD 50 XL</u>	vzduchové	14	260	15	15	3000	50	50	100	100	195	530
<u>RD 50 XM</u>	vzduchové	17	150	20	12	2000	50	40	20	30	209	1026
<u>RD 70 VM</u>	varem vody	13	260	15	15	3000	70	50	100	100	290	528
<u>RD 70 VL</u>	varem vody	14	260	15	15	3000	70	50	100	100	290	524
<u>ZD 70 VL</u>	varem vody	14	260	11	15	1200	70	13	80	30	290	524
<u>RD 100 VM</u>	varem vody	18	164	12,5	20	2000	100	50	110	30	270	508
<u>ZD 100 VM</u>	varem vody	17	156	12,5	20	1200	100	13,5	76	30	270	508
<u>RD 250 VM</u>	varem vody	17	520	13	60	6000	250	40	180	30	315	696
<u>RD 250 VMV</u>	varem vody	17	520	13	60	6000	250	40	180	30	315	712

U _f ... Žhavicí napětí	P _A ... Výkon rozptýlený na anodě
I _f ... Žhavicí proud	μ ... Zesilovací činitel
U _a ... Anodové napětí	S ... Strmost
I _a ... Anodový proud	f ... Pracovní kmitočet
P _{G1} ... Výkon rozptýlený na mřížce	Ø ... Vnější průměr
	L ... Výška



ZD1000F



ZD10VM

Televizní přijímač, základní popis

Televizní přijímač je velmi podobný rozhlasovému až po demodulátor. Jediný rozdíl je v tom, že zvukový a obrazový signál se demodulují odděleně. Mezifrekvenční kmitočet obrazu je v normě OIRT 38 MHz, z čehož plyne, že mezifrekvenční kmitočet zvuku je 31,5 MHz (kmitočty se odečítají od kmitočtu oscilátoru, takže vyšší nosný kmitočet zvuku znamená nižší mezifrekvenční kmitočet). Zesílení v mezifrekvenčním zesilovači je v řádu 5000. Nejmenší signál z antény, který je přijímač schopen zpracovat (*zašuměný, ale*

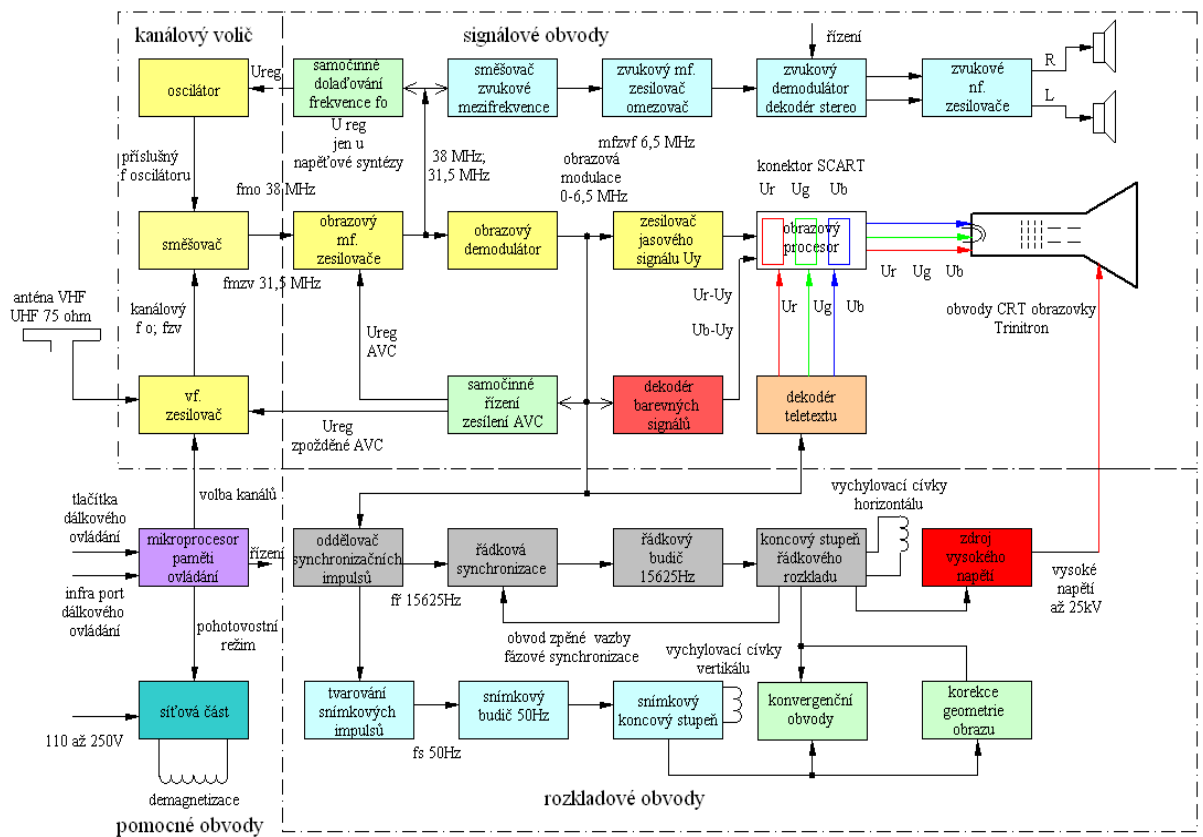
zasynchronizovaný obraz, pro analogový přenos) je cca 50 μV , tj. cca o řád vyšší, než u rozhlasového příjmu.

Demodulovaný obrazový signál obsahuje synchronizační směs, kterou je třeba oddělit od obrazového signálu a použít k synchronizaci generátorů řádkového a snímkového rozkladu. Obrazový signál po svém dalším zesílení v obrazovém zesilovači na amplitudu řádově 100 V slouží k jasové modulaci elektronového paprsku obrazovky (připojuje se mezi katodu obrazovky a tzv. Wehneltův válec, který u obrazovky nahrazuje řídicí mřížku u obrazovek CRT). Synchronizované výstupy z generátorů řádkového a snímkového rozkladu se přivádějí na dva páry (horizontální a vertikální) vychylovacích cívek, které způsobují magnetické vychylování elektronového paprsku. Běžný vychylovací úhel byl 120° u černobílých obrazovek a 90° u barevných obrazovek, později s rozvojem CRT obrazovek také 120° .

Kromě signálových obvodů potřebuje každý přístroj a tedy i televizní přijímač napájecí obvody. Ty zajišťují mimo jiné rovněž napájení obrazovky včetně urychlujícího napětí pro elektronový paprsek na energii potřebnou k tomu, aby se luminofor na vnitřní straně stínítka při dopadu paprsku rozsvítil (toto napětí, prostě jen urychluje ty elektrony, kterým Wehneltův válec "g₁, dovolí" proletět- zde se reguluje jas obrazovky). Kromě žhavení a urychlujícího napětí, které je v řádu 10 - 20 kV, potřebuje obrazovka několik napětí na tzv. fokusační elektrody. Napětí na těchto elektrodách vytváří elektrické pole vhodného tvaru, který fokusuje(zaostruje) elektronový svazek vycházející z katody (po jeho intenzitní modulaci obrazovým signálem).

Zvukový signál se po demodulaci (zpravidla poměrovým detektorem) zesiluje v audio zesilovači podobně jako v rozhlasovém přijímači. Stejným způsobem jako v rozhlasovém přijímači se zajišťuje automatické vyrovnávání citlivosti, AVC, pouze řídicí signál se odvozuje od amplitudy obrazového signálu po jeho demodulaci. Účinnost AVC je pozoruhodná, při změně vstupního napětí do mezifrekvenčního zesilovače o 60 dB (o tři řády), mění se výstupní napětí obrazového zesilovače jen o 3 dB (faktor 1,4).

Tyto základní informace zatím postačí k pochopení funkce televizního přenosu, podrobnější popis si provedeme na skupinovém schématu barevného analogového přijímače, v další části výkladu *obr.11*



obr.11 Skupinové schéma barevného přijímače analogového vysílání