

① Základní veličiny a charakteristiky rezonančních obvodů

$$C: \varphi = -90^\circ$$

$$L: \varphi = +90^\circ$$

- $\hat{Z}_{\text{ser.}}(\omega) = R + j(\omega L - 1/\omega C)$, $\hat{Y}_{\text{par.}}(\omega) = G + j(\omega C - 1/\omega L)$
- rezonanční křivka - grafické znázornění $I_{\text{ser.}} = f(f)$, $U_{\text{par.}} = f(f)$
- rezonance, Thompsonův vztah $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$; $f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$
- síla pásma B pro $|X| = R$, tj. -3dB, $B = f_0/Q$
- jalost Q, sériový $Q = Z_0/R$, paralelní $Q = R/Z_0$; činitel tlumení $d = 1/Q$
- charakteristická impedance $Z_0 = \sqrt{L/C}$
- činitel rozladění $F = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}$, stupeň rozladění $\alpha = Q \cdot F$
- indukční autotransformační vazba $p = \frac{L_2 + M}{L_1 + L_2}$
- kapacitní vazba $p = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$
- transformační vazba $p = \frac{L_2 + M}{L_1}$
- u všech $p \Rightarrow$ připojení obvodů uvažujeme nesnižuje Q rezon. obvodu
- činitel vazby kapacitorem $k = \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{C_1}$, induktorem $k = \frac{L_1}{\sqrt{L_1 L_2}}$, trafo $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$,
vazba volná ($k < 0,05$), těsná ($k > 0,05$)
- stupeň vazby $\pi = k \sqrt{Q_1 Q_2}$
- filtry se soustředěnou selektivitou: krystaly, piezokeramické, SAW

} p... transformační činitel

② Šumové vlastnosti dvoudvých prvků a dvojbranů (aktivních i pasivních), šumové parametry používané ve VF technice

• tranzistor

- tepelný šum (bílý šum, na každé reálné části impedance, důsledek chaotického pohybu elektronů v materiálu při $T > 0K$; $\overline{u_r^2} = 4kTB_s R$)
- vstřelový šum (bílý šum, na PN přechodu při průchodu stejnosměrného proudu - důsledek přechodu náboje po kvantech, nespojité; $\overline{i_v^2} = 2qI_s B_s$)
- ostatní zdroje: $\propto$ šum $1/f$ (na místech kmitočtů), rekombinační šum, lavinový šum
- šumové přizpůsobení (T bremen ze zdroje R_{opt} má minimální šumový činitel F_{min})
- FETy: tepelný šum kanálu (dttto), indukovaný šum hradla (tepelný přenos přes kapacitu na gate), tepelné šumy parazitních odporů

• zesilovač

- šumový činitel $F = SNR_{gen} / SNR_{vst}$, vždy $F > 1$; šumové číslo $F_{dB} = 10 \log F$
- šum kaskády - Friisův vzorec $F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_{p1}} + \frac{F_3 - 1}{A_{p1} A_{p2}} + \dots$
- šum atenuátoru $F_F = 1/A_F$, kde $A_F \dots$ výkonový přenos
- míra šumu M (kombinuje údaje o šumu a zesílení zesilovače)
- ekvivalentní šumová teplota (pro jenmé rozlišení F)
- šumová šířka pásma $B_s = \frac{1}{p(f_0)} \int p(f) df$ (celkový šumový výkon zesilovače roven ekv. šum. výkonu zesilovače s ideální obdelníkovou přenosovou charakteristikou; není to -3dB)

③ Pracovní režim VF výkonové zesilovače: třída, stav, proudové, resp. napětové využití aktivního prvku

- pracovní třída - definována polovičním úhlem otevření θ , závisí na poloze klidového pracovního bodu tranzistoru

- třída A: $\theta = \pi$, min. ztrátem, $\eta \rightarrow 50\%$, nemulový klidový proud

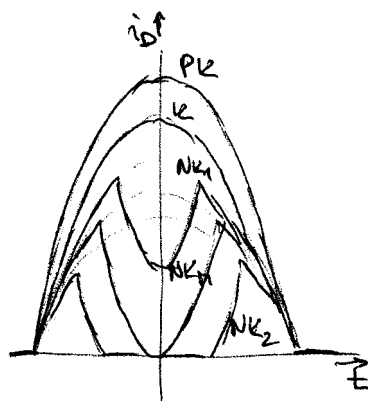
- třída AB: $\frac{\pi}{2} < \theta < \pi$

- třída B: $\theta = \frac{\pi}{2}$, velké ztrátem, $\eta \rightarrow 78\%$, nulový klidový proud

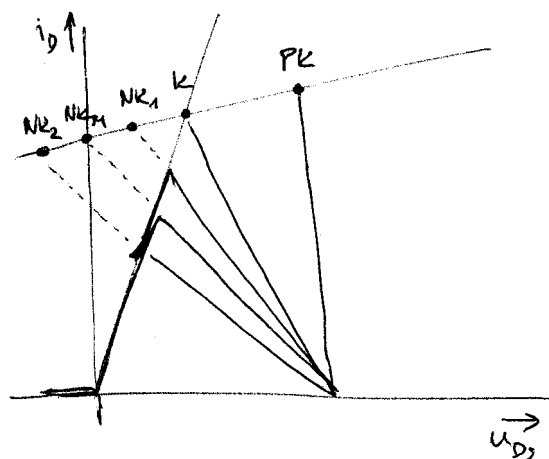
- třída C: $\theta < \frac{\pi}{2}$, extrémní ztrátem, $\eta \rightarrow 100\%$, ———— " ————

- třídy D, E, F, S - spínací režim

- pracovní stav ("sedlo" v $i_D = f(\omega, t)$)



PK - SCR
K - CR
NK₁
NK₂
NK₃
NK₄ } OCR



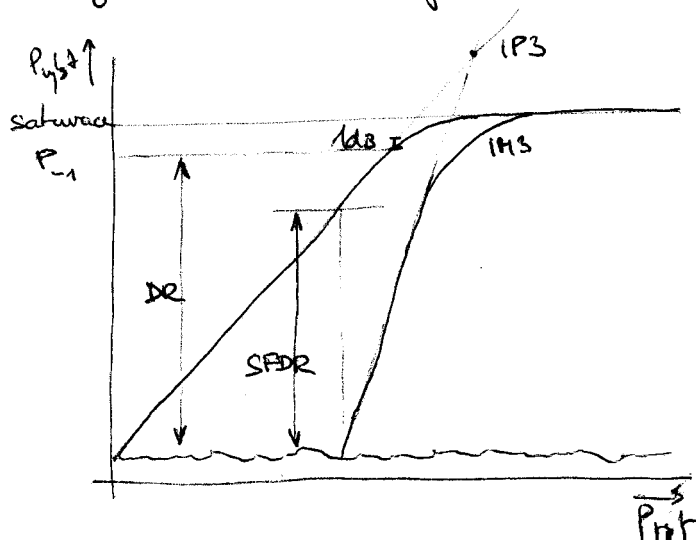
- stav: podkritický, kritický, nadkritický slabě, měrně, silně

- koeficient napětového využití zesilovače $p_u = U_1 / U_{DSS}$... vztah první harmonické a napájecího napětí (měrně nadkritický stav $p_u = 1$)

- koeficient proudového využití tranzistoru $p_i = I_{max} / I_m$... vztah velikosti impulzu kolektorového proudu s max. katalogovou hodnotou impulsního proudu

VNT
④ Zkreslení vznikající ve VF zesilovačích a možnosti jejich kvantitativního popisu. Vysvětlete rejn. pojmy intermodulační zkreslení, křížová modulace, dynamický rozsah zesilovače

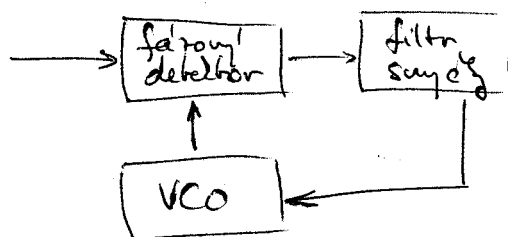
- zkreslení způsobeno kmitočtovou závislostí nebo nelineárními vlastnostmi použitých prvků
- lineární (kmitočtová) zkreslení - amplitudové, fázové (ne u ideálního člunu), kmitočtové zkreslení spóřděníím (skupinové spóřdění neloustantní - závisí na f)
- nelineární zkreslení
 - harmonické zkreslení (přítomnost vyšších harmonických)
 - intermodulační zkreslení (kombinace složky harmonických vstupních signálů, $f = m f_1 + n f_2 + p f_3 + \dots$; řád intermod. složky $r = |m| + |n| + |p| + \dots$; činitel intermod. zkreslení $k_i \dots$ poměr $f_r / f_{1..3}$)
 - křížová modulace (parazitní přenesení modulační obálky AM rušivého signálu na nosnou užitečného signálu, nebo odstranění, zabránění použití FET - kvadratické přenos. char.; činitel křížové modulace $k_k = m_k / m$, kde $m_k \dots$ hloubka rušivého mod. signálu, $m \dots$ hloubka mod. užitečného signálu)
 - amplitudové/fázové nelin. zkreslení (neřádnouci změna modulu / argumentu zesílení zesilovače v závislosti na velikosti vst. signálu, vznik neřádnouci AM vstupu - problém digitálních systémů)
- dynamický rozsah zesilovače DR - rozmezí výkonu, při kterém je závislost $P_{\text{výst}} / P_{\text{vst}}$ lineární (šum až odtlou 1 dB od teoretické závislosti)
- dyn. rozsah bez IM3 SFDR - šum až objevení intermod. složky 3. řádu
- bod zahrazení IP3 - (průnik charakteristik základního signálu a intermodulační složky 3. řádu)



⑤ Kmitočtové syntezátory. Základní způsoby syntézy kmitočtu. Vysvětlíte pojmy: kmitočtový blok syntezátoru, smyčka fázového záměru, krátkodobá a dlouhodobá stabilita, přesnost kmitočtu generovaného signálu

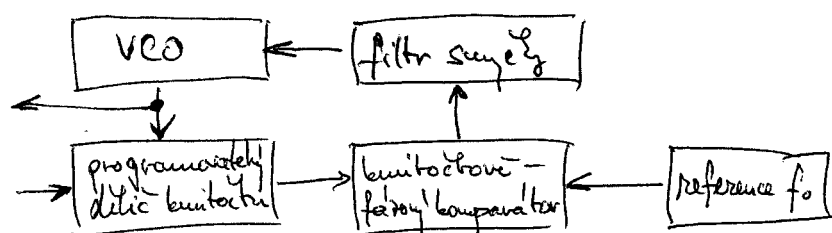
• fázový záměr

- režim zachycení, sledování
- pásmo zachycení < držení
- demodulace FM/PM, synchronizace, násobení a dělení kmitočtu



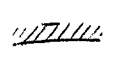
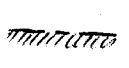
• kmitočtové syntezátory (zdvoje signálu přesných kmitočtů, které nabývají diskrétních hodnot v určitém rozsahu)

- syntéza přímá (generátory + aritmetické operace), nepřímá (s PLL)
- syntéza koherentní (jeden generátor f), nekoherentní (více)
- přímá číslicová syntéza DDS
- nepřímá koherentní syntéza



- kmitočtový blok syntezátoru (vonděl dvou sousedních výstupních kmitočtů)
- stabilita kmitočtu (míra změny kmitočtu s časem)
 - krátkodobá ($t \ll 1s$) - fluktuace, šum
 - dlouhodobá ($t \gg 1s$) - např. stárnutí
- přesnost kmitočtu (poměrná odchylka $\Delta f_p / f_0$ za dobu Δt)

VNT
⑥ Popište základní typy mikrovlnných integrovaných obvodů MIO: hybridní, monolitické MIO, MIO se soustředěnými parametry. Definujte jednotlivé typy, uveďte jejich typické konstrukce

- výhody: rozměry, hmotnost, reprodukovatelnost, spolehlivost, stabilita
- nevýhody: účinnost, výkon, návrh, technologie výroby, neopravitelnost
- hybridní MIO (substrát, vodivý motiv, čipy; $< 26 \text{ GHz}$)
 - struktury: stripline , microstrip , kopaném vedení , kopaném vlnovod  a další
 - požadavky na substrát: ϵ_r , $\tan \delta$, tepelná vodivost, stabilita, fyz./chem./mech. vlastnosti
 - problémy: rozptylové elmag. pole, hybridní elmag. vlna HEH s disperzí = kvazi-TEM
 - návrh konformní transformací $w \rightarrow w_{ef} = f(w, h)$, $\epsilon_{ef} = f(\epsilon_r, w, h)$
- monolitické MIO (vosna' diel. podložka, blok polovodiče)
 - materiál GaAs - vysoký f_{max} , výborné izolace, nízké ztráty, velmi tenké struktury; cena, technologie, špatný odvod tepla
 - nízký stupeň zaphení plochy čipu, návrh CAD
 - 3D obvody, VIP (Vertical Installed Planar), ploškové vedení (fin line)
- MIO se soustředěnými parametry (miniaturizace $\lambda \ll \lambda_g$, hmotnost, cena, spolehlivost; úzké Q, omezení f_{max} , náročná technologie)
 - induktory (klasické - do f_{max} , z úseku mikropásového vedení)
 - kapacitory (klasické - „mezera“, rozšířením mikropásku)
 - rezistory (úsek ztrátového vedení)

Popište konstrukci a princip činnosti dutinových rezonátorů. Vyveďte, na čem závisí jejich rezon. kmitočet a činitel jádosti. Jaka' konstrukce dutin. rezonátorů je v praxi nejpoužívanější, s jakými vidy práce a jaké má výhody.

- dutinové rezonátory, $Q \approx 10^3 \dots 10^5$, $f \approx f_0$ při $Q \gg 1$
- jádost $Q_0 = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{V}{S_p}$, při úplném dielektrickém $\frac{1}{Q_{0e}} = \frac{1}{Q_0} + \tan \delta$; obecně $Q_0 = \frac{\omega_0 W}{P_z}$
- rezonátory vlnodového typu: TM_{mnp} , TE_{mnp} , kde p charakterizuje rozložení pole - počet stojatých půlnů v rezonátoru
- kvádřové rezonátory $\lambda_0 = 2a / \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{l}\right)^2}$
 - TE ($m, n \geq 0$ ne zároveň; $p \geq 1$), typický TE_{101}
 - TM ($m, n \geq 1$; $p \geq 0$)
 - předlávání zbratovacími pískem, krychlový rezonátor $a=b=l$
- valcové rezonátory $\lambda_0 = 2a / \sqrt{\left(\frac{\alpha_{mn}^*}{a}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{l}\right)^2}$
 - využívá jako přesně vlnovody
 - nejčastěji rotačně symetrické vidy TE_{0np} , typický TE_{011}
 - TE_{011} (bezdotektní písk, Q_{0max} při $D=l$)
 - TE_{111} (větší předlavitelnost, ale ne bezdotektní písk)
 - vidy TM_{0n0} (jednoduché pole, předlávání poruchovým pískem - šroubkem)
- koaxiální rezonátory $\lambda_0 = 2l/p$
 - koax na obou koncích nakrátko, vid TEM
 - půlnové, čtvrtlnové
- způsoby zapojení do obvodu
 - přichozí rezonátor (2 vstřední otvory)
 - absorbní rezonátor (1 šetřbina)
 - reaktívní rezonátor (zvl. případ předchozích, výstupní brána zbratována)

8) Uveďte zásady bavení vlnovodů a dutinových rezonátorů sondou (anténou), proudovou smyčkou a štěrbinou. Jde o optimální umístění jednotlivých budících prvků a jak musí být volen kmitočet budícího signálu?

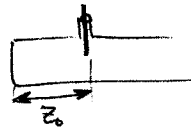
• bavení proudovou sondou - neobvyklejší

- krátkým vodičem $h \ll \lambda$

- rovnoběžně se siločarami el. pole v místě max. intenzity

- kmitočet budícího signálu musí být vyšší než měrný kmitočet baveného vidu, příp. blízký rezon. kmitočtu baveného vidu

- pro TE_{10} : $x_0 = a/2$, $z_0 = \lambda g/4$



- konstrukce předchodů z koaxiálu na vlnovod (dostavení přizpůsobení pomocí kapacitních šroubů nebo plynulý impedanční transformátor)

• bavení magnetickou smyčkou

- plocha smyčky kolmá na siločary mag. pole, střed v místě max. intenzity

- kmitočet dtto

- velikost bavení lze regulovat od nuly po max. hodnotu natočením smyčky o 90°

- časté pro bavení koax. vedení a koax. rezonátorů

• bavení vřezbou štěrbinou

- ve stěně vlnovodu/rezonátoru mají vřezbu otvor

- budící el. pole ve štěrbině kolmé na mag. siločary baveného vidu, střed štěrbiny v místě maxima mag. pole baveného vidu

- kmitočet dtto

- typické pro bavení vlnovodových dutinových rezonátorů

- nejčastěji štěrbiný kruhového tvaru (snadná výroba)

⑨ Co je to tzv. Faradayův jev v anizotropním feromagnetickém prostředí. Vysvětlete jeho princip. V jakých mikrotlumičích obvodech se tento jev využívá a k čemu se tyto obvody používají?

• Faradayův jev (ne reciproční)

- při průchodu vlny podélně magnetovaným feritem se vlna roztáhne na dvě eliptické polarizované
- permeabilita pravotočivá μ_+ (rezonance $\omega = \omega_0$... intenzivní pohlcování vlny ve feritu), levotočivá μ_- ; rozdílné fáze rychlosti $\Rightarrow$ Faradayova rotace polarizace
- příčná feromag. rezonance (ferit magnetován příčně na směr šíření) - vlna řádová (nemí ovlivněna), mimořádná (závislost na H_0 , může být pohlcována $\Rightarrow$ rezonance)

• feritové izolátory

- šlák signál pouze jedním směrem (izolace generatoru od upříisobeneí záložě)
- na principu Faradayova jevu: dva obdélníkové vlnovody s odporovou destičkou natočené o 45° , uprostřed kruhový vlnovod s tyčinkou z podélně magnetovaného feritu, $\omega/\omega_0 \approx 2$
- rezonanční izolátor (dodává k příčné feromag. rezonanci; užlopašmoy)
- izolátor na principu deformace pole (zpětná vlna maximum pohlcování v odpor. vrstvě)

• feritové cirkulátory

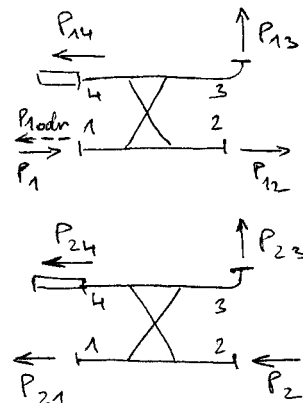
- signál šlák ve směru šípky (duplexery, izocirkulátory - s externí záložě)
- na principu Faradayova jevu (nejstarší čtyřramenný, dnes nepoužívány) - X
- tříramenný hvězdíkový feritový cirkulátor (trojbran, příčně magnetovaný feritový válec) - Y

10) Definujte základní technické parametry mikrovlnných směrových vazebních členů (směrových odbočnic). Co vyjadřuje příchozí, vazební a zpětný útlum odbočnice, co vyjadřuje izolace a směrovost odbočnice a jaká je mezi nimi souvislost?

- využití: odbočení části přeneseného výkonu z hlavní do vedlejší větve tak, aby hlavní větev byla maximálně izolována

• základní parametry:

- vazební útlum (coupling) $C = 10 \log P_1 / P_{13}$
- příchozí útlum (insertion loss) $IL = 10 \log P_1 / P_{12}$
- izolace (isolation) $I = 10 \log P_1 / P_{14} = 10 \log P_2 / P_{23}$
- směrovost (directivity) $D = 10 \log P_{13} / P_{14} = 10 \log P_{13} / P_{23}$
- zpětný útlum (return loss) $RL = 10 \log P_1 / P_{1\text{odrz}}$
- platí $I = D + C$



• hlavní typy odbočnic

- ideální: bezztrátový reciproční totálně přizpůsobený čtyřbran
- Bethova směrová odbočnice (jediný otvor, $C \approx 30 \text{ dB}$)
- odbočnice se dvěma otvory vzdálenými o $\lambda_g/4$ (kmitočtová závislost)
- také s opačnou fází (kmitočtově nezávislá)
- odbočnice s velkým vazebním otvorem/víceotvorová (vyšší směrovost, velká šířka pásma, lze slabší i silnější vazba $\Rightarrow$ nedokonalější)