

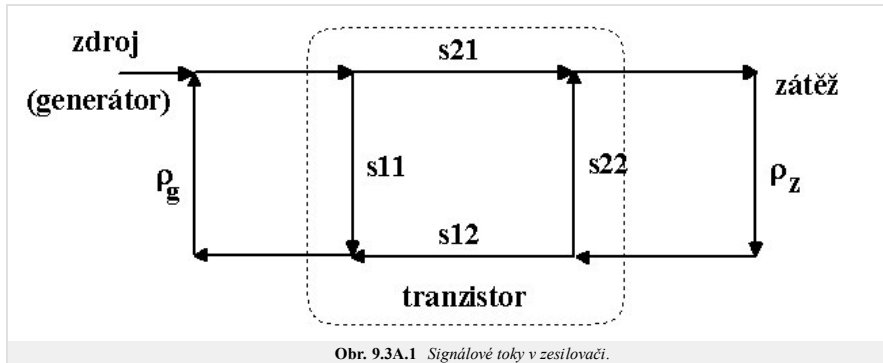
9.3 Úzkopásmový zesilovač

Základní teorie

Zesilovač

Pro porozumění funkci vř. či mikrovlnných zesilovačů je vhodné přejít od napětí a proudů na svorkách prvků k modelu uvažujícímu vlny, které vstupují a vystupují jednotlivými branami zesilovače. Pro výklad na této stránce budeme uvažovat zesilovače jako dvojbrany. Uvažme nyní, jak dochází k přenosu energie mezi zdrojem a zátěží prostřednictvím (aktivního) dvojbranu.

Vlna dodávaná zdrojem se může na vstupu dvojbranu (tranzistoru) odrazit zpět ke generátoru, nebo vstoupit do dvojbranu a po zesílení činitelem přenosu s_{21} pokračovat k zátěži. Pokud je dvojbran k zátěži přizpůsoben, dojde k přenosu do zátěže.



Obr. 9.3A.1 Signálové toky v zesilovači.

Není-li přizpůsoben, část energie se ztratí. Z hlediska zesílení signálu má tedy význam jen ta část signálu, která projde do zesilovače, je v něm zesílena a pohlcena zátěží. Navíc může dojít i k tomu, že přenos některé ze smyček na výše uvedeném grafu bude větší než 1 a zesilovač se může stát oscilátorem.

Zesílení

Přenos z generátoru do zátěže je dán jako

$$T = \frac{s_{21}}{1 - s_{11}\rho_g - s_{22}\rho_z + (s_{11}s_{22} - s_{21}s_{12})\rho_g\rho_z}. \quad (9.3A.1)$$

Prozkoumáme-li tento vztah podrobněji, pak seznáme, že za jistých okolností by mohl růst nade všechny meze (pokud by se jmenovatel zlomku blížil k nule). To by znamenalo, že se zesilovač stává nestabilním (hrozí rozkmitání). Takovému stavu je třeba zamezit. Proto je při návrhu třeba věnovat zvláštní pozornost posouzení stability zesilovače, nebo ještě lépe jejímu zajištění.

Stabilita dvojbranu

Věnujme nyní několik okamžiků stabilitě takového zesilovače. Jakými mechanismy by mohl kmitat? Na výše uvedeném obrázku signálových toků lze nalézt celkem tři smyčky, tj. uzavřené cesty ve směru šípek. V takové smyčce může signál cirkulovat donekonečna, pokud ovšem je splněna fázová i amplitudová podmínka oscilací. Vzhledem k tomu, že na tomto místě nemá být vykládán návrh oscilátoru, bude zde uvedeno jen to, jak se oscilacím vyhnout.

Nejprve zavedme pojem bezpodmínečné stability dvojbranu:

Definice: Dvojbran, který pro žádnou hodnotu odrazů (impedancí) připojených k jeho branám neosciluje, nazveme bezpodmínečně stabilním dvojbranem. Dvojbran, který pro některé hodnoty připojených impedancí osciluje nazveme podmíněně stabilním dvojbranem.

Jako kritérium stability se obvykle používá tzv. Rolletův čísel stability

$$K = \frac{1 - |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|s_{12}s_{21}|}. \quad (9.3A.2)$$

Bezpodmínečně stabilní dvojbrany mají hodnotu K větší než 1. Přitom jsme pro zjednodušení zapsali

$$\Delta = s_{11}s_{21} - s_{21}s_{12}.$$

Většina mikrovlnných tranzistorů je na nižších frekvencích podmíněně stabilní. Přitom je riskantní navrhovat funkční bloky jako (pouze) podmíněně stabilní, neboť při montáži se může stát, že v neúplně sestaveném obvodu se na vstup či výstup bloku bude promítat právě taková impedance, která jej rozkmitá. Rozkmitáním se mohou citlivě mikrovlnné aktivní prvky zničit. Uvedme tři jednoduché způsoby, kterými je možno stabilizovat mikrovlnný tranzistor:

- Zavedením zpětné vazby
- Připojením rezistoru k výstupu tranzistoru (zpravidla mezi kolektor a emitor). Tento způsob vždy snižuje dosažitelné zesílení.
- Připojením rezistoru ke vstupu tranzistoru (buďto mezi hradlo a emitor, nebo mezi zdroj a hradlo). Tento způsob vždy snižuje dosažitelné zesílení, a navíc zhoršuje šumové vlastnosti zesilovače. Bývá však účinný.

Zesilovač musí být stabilní nejen na frekvenci, na které má zesilovat užitečný signál, ale na všech frekvencích. To je poměrně silný požadavek, neboť drtivá většina komerčně dostupných aktivních prvků není bezpodmínečně stabilní v celém pásmu frekvencí. Na nízkých frekvencích (rozuměj desítky či stovky MHz) mívají velké zesílení a z toho zpravidla plyne náchylnost k oscilacím. Stabilizaci provádíme tak, že na frekvencích mimo zesilované pásmo uměle zvyšujeme ztráty v obvodu, například zařazením odporu.

Věnujme se nadále návrhu zesilovače se stabilním aktivním prvkem.

Návrh zesilovače se stabilním aktivním dvojbranem

Zesílení zesilovače bude největší, bude-li aktivní prvek na obou branách přizpůsoben. To nastane tehdy, bude-li na vstupu připojen odraz (generátoru) o velikosti

$$S_{S-opt} = C_1^* \frac{B_1 - \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2|C_1|^2} \quad (9.3A.3)$$

a na výstupu

$$S_{L-opt} = C_2^* \frac{B_2 - \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2|C_2|^2}. \quad (9.3A.4)$$

Hodnota dopředného přenosu pak bude

$$G_{max} = \left| \frac{s_{21}}{s_{12}} \right| K - \sqrt{K - 1}. \quad (9.3A.5)$$

Přitom bylo pro jednoduchost značeno

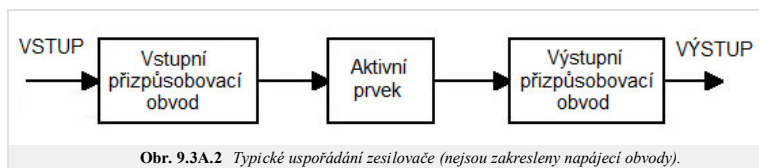
$$B_1 = 1 + |s_{11}|^2 - |s_{22}|^2 - |\Delta|^2,$$

$$B_2 = 1 + |s_{22}|^2 - |s_{11}|^2 - |\Delta|^2,$$

$$C_1 = s_{11} - s_{22}^* \Delta,$$

$$C_2 = s_{22} - s_{11}^* \Delta.$$

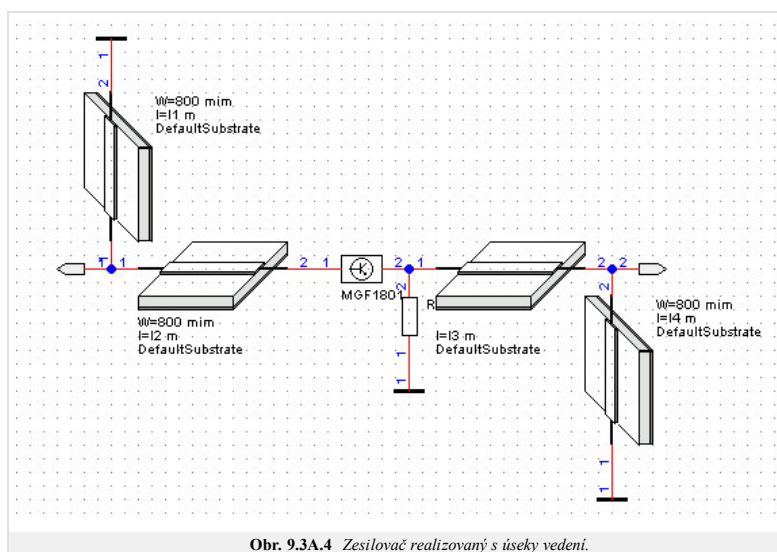
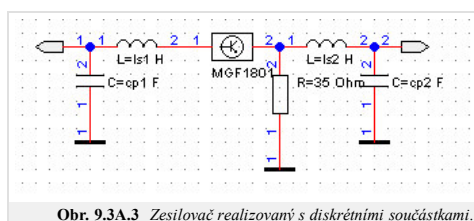
Uvedené hodnoty odrazů vytváříme prostřednictvím přizpůsobovacích obvodů na vstupu a výstupu zesilovače.

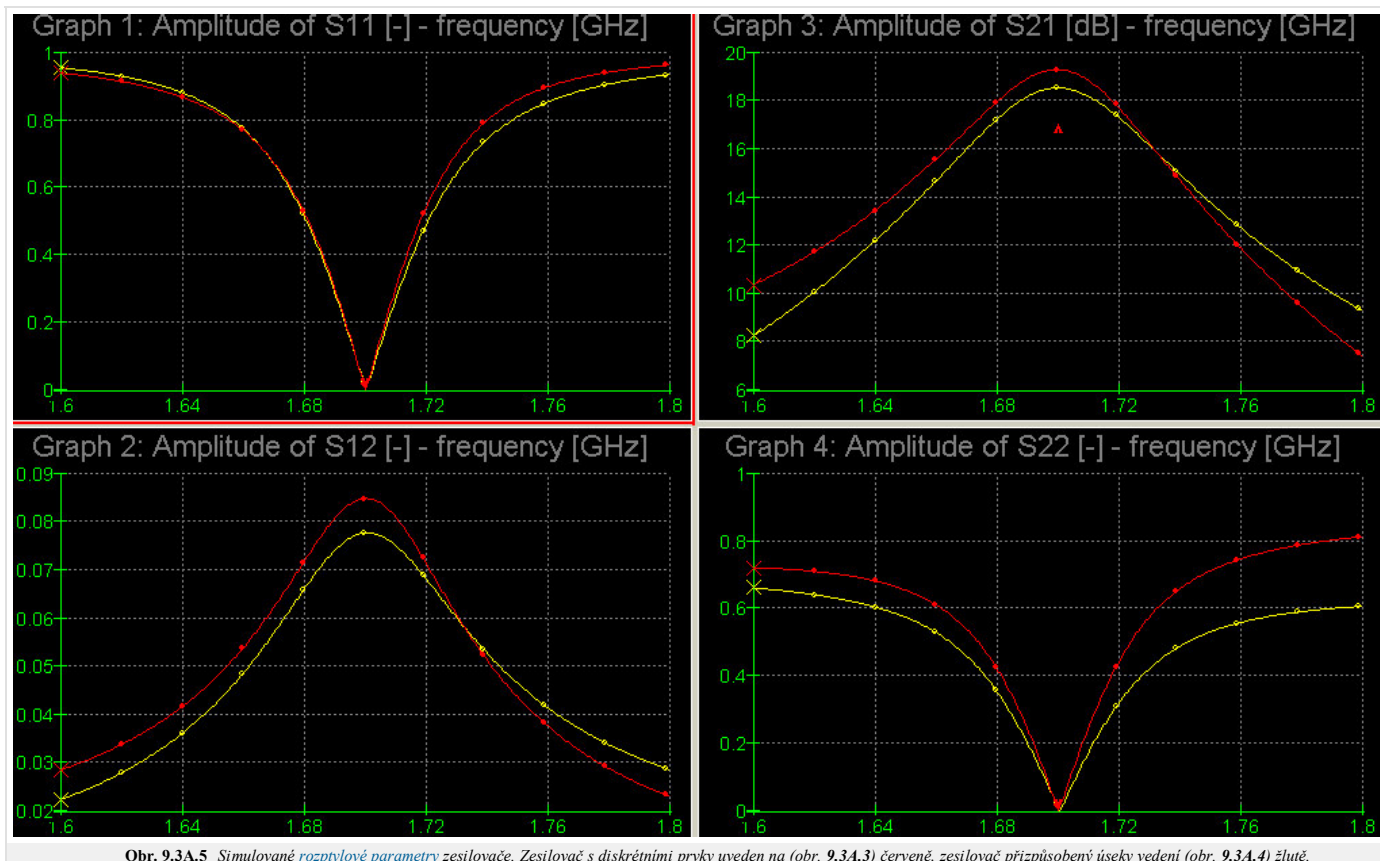


Poznámky:

1. Postup, při kterém nejprve přizpůsobíme například vstup zesilovače metodami uvedenými ve stati pojednávající o impedančním přizpůsobování a pak přizpůsobíme výstup pře svoji lákavost zřídka vede ke kýženému cíli. Připojením přizpůsobovacího obvodu mezi dvojbran a zátěž totiž změněme impedanci na vstupu zesilovače, a tím rozladíme již přizpůsobený vstup.
2. Dvojbran nelze současně přizpůsobit na obou branách, není-li bezpodmínečně stabilní.
3. Pokud si přejeme přizpůsobit bezpodmínečně stabilní tranzistor a nechceme vyčíslovat výše uvedené vztahy, můžeme toho dosáhnout tak, že optimalizujeme současně vstupní i výstupní přizpůsobovací obvod na minimální odraz. Musíme však zvolit takové obvody, které mohou přizpůsobit libovolnou impedanci (nejlépe pak úsek vedení a pahýl).

Příklad vf. zesilovače naleznete na obr. 9.3A.3 a 9.3A.4 Simulace parametrů je vyobrazena na obr. 9.3A.5.





Napájení zesilovače

Dosud jsme navrhovali jen signálovou cestu zesilovačem. Aby však aktivní prvek mohl zesilovat, je třeba zajistit vhodný pracovní bod přivedením (stejnoseměrných) napětí na elektrody tranzistoru. Těmito elektrodami bývají obvykle hradlo (gate, báze) a kolektor.

Požadavky na napájecí obvod

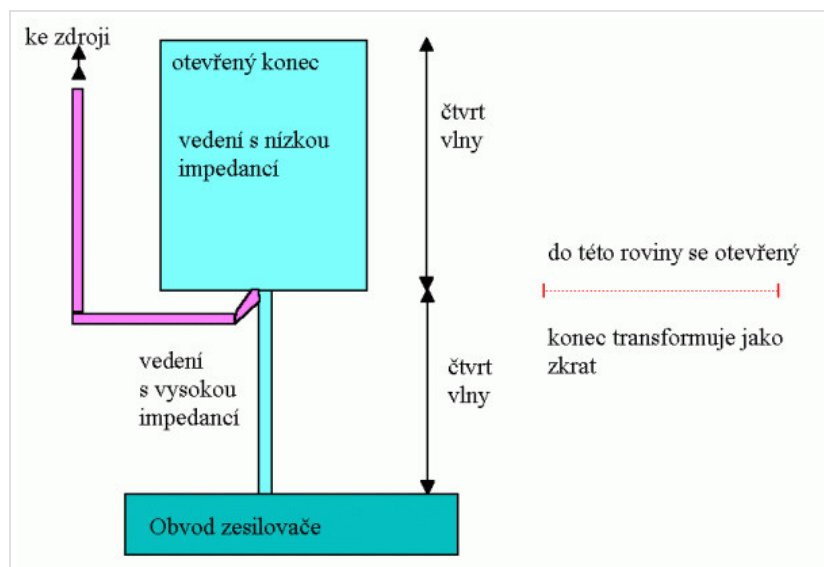
Napájecí obvod by měl

- přivádět napájecí napětí (či proud) a zajistit dostatečně tvrdé napájení
- zamezit úniku vysokofrekvenční energie do napájecích obvodů a s tím spojeným vazbám a vyzářování
- minimálně ovlivňovat vlastnosti obvodu na pracovní frekvenci (optimálně by měl na pracovní frekvenci vykazovat nekonečnou impedanci)
- neohrozit stabilitu obvodu ani mimo pracovní frekvenci; naopak často ji má zlepšit nebo zajistit

Některé náměty

- Přizpůsobovací obvod je do zesilovače vhodné připojit na místě, kde je impedance obvodu malá (tedy např. do zkratu na pahýlu přizpůsobovacího obvodu, přičemž zkrat nahradíme kondenzátorem nebo pahýlem vedení, nebo do uzlu napětí ve stojatém vlnění).
- Pokud je proud dodávaný napájecím obvodem malý (napájení hradla polem řízeného tranzistoru), lze realizovat širokopásmový napájecí obvod prostřednictvím rezistoru s vysokou hodnotou (k Ω).
- Stabilitu zesilovače mimo pracovní frekvenci lze často zlepšit, pokud napájecí obvod obsahuje do serie zapojený rezistor (desítky Ω). Na pracovní frekvenci se neuplatní (impedance napájecího obvodu je tak jako tak blízká nekonečnu), mimo pracovní frekvenci přidá do zesilovače další ztráty - chová se jako odpor paralelně připojený ke vstupu či výstupu.

Příklad napájecího obvodu v mikropáskovém vedení



Obr. 9.3A.6 *Příklad motivu napájecího obvodu zesilovače.*

Napájecí obvod dle obr. 9.3A.6 zajišťuje připojení zdroje (fialové vedení) do místa s velmi nízkou impedancí. Samotné vedení je provedeno jako úzký mikropásek o vysoké impedanci tak, aby se ještě snížil jeho vliv při připojení. Místo s nízkou impedancí je získáno transformací otevřeného konce mikropáskového vedení (nahofe) přes čtvrtvlnný úsek vedení s nízkou impedancí. To bývá na vyšších frekvencích snazší, než připojení kapacitoru proti zemi. Nízká impedance (virtuální zkrat) se pak přes čtvrtvlnný úsek vedení o vysoké impedanci připojí k vlastnímu napájenému obvodu. Tento úsek vedení transformuje zkrat z místa připojení napájecího zdroje na vysokou impedanci (v ideálním případě nekonečnou).