

① Zákon a teoremy v elektronických obvodech.

- proudový Kirchhoffův zákon (součet proudů v uzlu je nulový),
drůbý KZ ($\sum \text{úbytek napětí ve smyčce} = \sum \text{el. napětí zdrojů}$)
- princip superpozice - součet odezev jednotlivých zdrojů v lin. obvodu
být ostatní zdroje jsou deaktivovány
- Théveninův teorem - nahrazení lin. části obvodu elv. obvodem
(zdroj napětí $\sim$ napětí naprázdno, vnitřní odpor $\sim$ odpor s deaktivovanými zdroji)
- Nortonův teorem - totéž pro nahrazení proudovým zdrojem
- teorem o přenosu max. výkonu - požad je $R_Z = R_{\text{THEV}}$.
- teorem reciprocity: Poměr odezvy v jedné části lin. obvodu k budícímu
zdroji U_o nebo I_o je stejný, zaměníme-li místo odezvy a zdroje

② Řešení obvodů - analýza, syntéza, návrh. Modelování reálných elektronických obvodů. Počítačová podpora.

- analýza - určení vlastností obvodu, jednoznačná
- syntéza - k vlastnostem hledáme obvod, víceznačná; vlastnosti $\Rightarrow$ matematický
model $\Rightarrow$ obvodový model $\Rightarrow$ skutečný obvod
- návrh - úprava známých obvodů, komplexní - znalosti, zkušenosti, intuice
- model diody: propustný směr (exponenciála + seriový odpor), závěrný směr
(dvě přímky, zlom v Zenerově napětí); VF model (difúzní/bariérová C, parazitní L, C)
- model BJT: globální Gummel-Poonův ($i_c = f(i_b, i_e, T)$), Ebers-Mollův (α_{FE}, α_{RE}),
lokální model s h-parametry $\begin{bmatrix} U_{be} \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_b \\ U_{ce} \end{bmatrix}$, Giacolettiův (lokální
fyzikální model (vnitřní báze), VF modely
- model MOS: lokální, globální - gate přes C nebo odpor
- model OZ: např. 3. úroveň: Rst, OZ s daným zesílením, DP, OZ s jednotkovým
zesílením, Ryzt

MTEO

③ Analýza lineárních obvodů s regulárními a neregulárními prvky a funkčními bloky.

- topologie - obraz schématu; uzly, větve; úplný strom
- metoda součtových proudů MSP - zavádí fiktivní proudy telonei v nezávislých součtech obvodu; $Z = D \cdot Z_v \cdot D^T$, kde D je zkrácená incidence matice součtů a větví, Z_v je impedanční matice
- MSP @ BEL2: $\underline{\hat{Z}} \cdot \underline{\hat{I}} = \underline{\hat{U}}$, $\underline{\hat{I}} = \begin{bmatrix} I_{s1} \\ \vdots \end{bmatrix}$
- metoda uzlových napětí MUN, totéž pro napětí, všedny zdroje musí být přepočítány na elv. zdroje proudů; $Y = M \cdot Y_v \cdot M^T$, kde M je incidence matice uzlových napětí, Y_v je admitanční matice
- MUN @ BEL2: $\underline{\hat{Y}} \cdot \underline{\hat{U}} = \underline{\hat{I}}$, $\underline{\hat{U}} = \begin{bmatrix} U_{n1} \\ \vdots \end{bmatrix}$
- regulární vícebran - lze popsat impedanční matice; transformator, tranzistor
- MSP/MUN pro regulární vícebrany: matice obvodu bez regulárního prvku, poté se prvek ztransformuje do této matice
- neregulární prvky (VCCS, CCCS, OZ, některé transformatory) - nelze popsat admitanční matice; prvky transformují souřadnice proudů a/nebo napětí

MTEO

④ Analýza nelineárních obvodů

- nelineární rezistor netřženy (odpor statický, diferenciální, diferenciální) a třženy (uvěžit charakteristiky); linearizace - jen v okolí pracovního bodu
- metoda zatěžovací přímkou - zjišťuje polohu prac. bodu, průsečík lineární části (spoř. $i=0$ a $u=0$) a nelineární části (charakteristika)
- analytické řešení - např. princip kompenzace, metoda stavových proměnných (stavová trajektorie $Q = f_{\text{st}}(t)$), metoda linearizace po částech
- numerické řešení
- buzení nelineárního obvodu harmonickým signálem (vznik vyšších harmonických proudů), dvěma harmonickými signály (směšování)
- Schulzův diagram - úrovně harmonických v závislosti na polovičním úhlu otevření tranzistoru

MTEO

- ⑤ Obvodové funkce a parametry, póly a nulové body, vlastnosti přenosových funkcí, obvody s minimálním a neminimálním argumentem.
- obvodové funkce: přenos K_u, K_i , bránové impedance (Z_{imp}), přenosové impedance (Z_T)
 - modulová a fázová charakteristika, hodograf
 - přenosová fce $T(s) = F_0 \frac{\prod_k (s - z_k)}{\prod_p (s - p_k)}$ - nulové body
 - ∞ - póly
 - nulový bod v počátku (+20dB/dec), pól v počátku (-20dB/dec)
 - reálný záporný/kladný nulový bod (HP), reálný záporný/kladný pól (DP)
 - klasické parametry dvojbranu a, admitanční y, hybridní $\begin{bmatrix} U_{be} \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_b \\ U_{ce} \end{bmatrix}$
 - $K(\omega)$ a $\varphi(\omega)$ jsou svázány vztahem, pro $K(\omega)$ lze nalézt křmá řešení $\varphi(\omega)$, jedno z nich je minimální - obvod s minimálním argumentem
 - leží-li všechny nulové body v levé poloovině komplex. roviny, jedná se o obvod s min. argumentem, jinak s nemin. argumentem

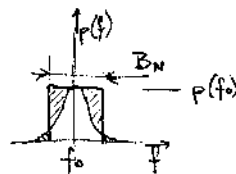
MTEO

- ⑥ Citlivostní a toleranční analýza obvodů
- citlivost absolutní, relativní, semirelativní
 - desenzibilace - snížení citlivosti obvodu na minimum
 - u filtrů citlivostní fce modulu a argumentu, výrazní limitované záhlasy
 - v zapojení s OZ: citlivost prvků ZV násobena zesílením obvodu
 - víceparametrové citlivosti: souhrnná, worst-case, statistická
 - toleranční analýza - vliv odchylek jednotlivých prvků (statistická, výroba, okolí) na výsledné parametry obvodu
 - toleranční syntéza - hledání max. tolerance jednotlivých prvků pro zadané tolerance parametrů celého obvodu
 - náhodný charakter popsan normálním (Gaussovy) rozdělením
 - rozložení rovnoměrné, ořímke Gaussovo (po výběru), bimodální trojúhelníkové (zbytek po výběru)
 - při výrobě 10 tolerance prvků korelované

MTEO

⑦ Šumová analýza obvodů.

- tepelný šum - ve všech součástkách, $\sim T \cdot R \cdot B_s$, bílý šum
- výřetkový šum - na PN přechodu (nosiče náboje po kvantech), $\sim I_{DC} \cdot B_s$, bílý šum
- kolísavý šum - pomaly, místy PN na určitých kmitočtech, $\sim 1/f$, barevný šum
- šumící rezistor - sériově s R zdroj $\bar{u}_n$
- šumící BJT - tepelný šum v B, výřetkové šumy B-E a B-C
- šumící UJT - šum kanálu, hradla, parazitních odporů - vše tepelné
- šumící OZ - bipolární - proudové zdroje šumu do obou vstupů, napětový zdroj šumu v neinverzním vstupu
- šumové číslo $F = SNR_{in}/SNR_{out}$, $F_{dB} = 10 \log F$
- šumová teplota $T_e = T_0(F-1)$
- šumová šířka pásma $B_N = \frac{1}{P(f_0)} \int_0^\infty P(f) df$

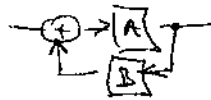


$$B_N > B_{3dB}$$

MTEO

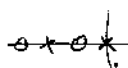
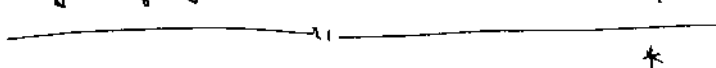
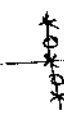
⑧ Řešení stability obvodů a oscilační podmínky

- charakteristická rovnice : determinant admittanční matice obvodu roven nule
- Nyquistovo kritérium stability : systém se ZV: $K(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1-B(j\omega)A(j\omega)}$
hodograf $T(j\omega) = 1-B(j\omega)A(j\omega)$, stabilitu počud neobepne $[1; 0j]$
- Bodeho kritérium stability : do grafu $A=f(f)$ vynést $|A(j\omega)|$ OZ a obrácenou $1/B(j\omega)$ charakteristiku ZV dvojbrann; stabilitu, počud se přibližují ≤ 20 dB/dec.
- oscilační podmínky - meze stability, $|B(j\omega)A(j\omega)|=1$, $\varphi_A + \varphi_B = k2\pi$
- Blackův vztah $k = \frac{A}{1-BA}$
- zpětná vazba : vstup (sériová, paralelní), výstup (napětová, proudová)
- záporná ZV snižuje zesílení, zvyšuje šířku pásma



MTEO

⑨ Syntéza obvodů RLC

- mittanční fce RLC dvojpólu je PRF (pozitivní reálná fce)
- obvody RC: nuly a póly na reálné ose, střídají se 
- obvody RL: 
- obvody LC: nuly a póly na imaginární ose 
- obvody RLC: nuly a póly kdekoli v levé polovině
- výpočet rozkladu PRF na řetězový nebo parciální zlomek

MTEO

⑩ Moderní netradiční pracující obvody se spínacími kapacitami, se spínacími proudy a v proudovém módu.

- obvody se spínacími kapacitami
 - technologie CMOS, kapacitní $< 10 \text{ pF}$, 0,2 a spínací
 - vstřelovací, SC, rekonstrukční filtry $\Rightarrow$ diskrétní v čase, spojitý v hodnotě
 - snadná realizace velkých odporů, indukčností atd. (integrátory $\Rightarrow$ filtrace)
- obvody se spínacími proudy
 - podobné jako SC, ale netradiční plovoucí kapacitami
 - záložený na držení náboje a přenosu proudu (SC přenos náboje)
 - využívají parazitní kapacity C_{GS} u CMOS
- obvody v proudovém módu
 - využití v aktivních filtrech výsledk kmitočtu
 - omezují parazitní kapacity
 - proudové konvektory, transimpedanční zesilovače, transadmittanční zesilovače, proudové sledovače atd.
 - univerzální filtry