

CITLIVOSTNÍ ANALÝZA V KMITOČTOVÉ A ČASOVÉ OBLASTI

Osnova

- **Citlivostní analýza v časové oblasti**
 - Základní vztahy citlivostní analýzy v časové oblasti
 - Statické citlivosti
- **Citlivostní analýza v kmitočtové oblasti**
 - Základní vztahy citlivostní analýzy v kmitočtové oblasti
 - Módy citlivostní analýzy
 - » Standardní citlivostní analýza
 - » Šumová citlivostní analýza
 - » **Citlivostní analýza šumového čísla**
- **1. příklad: statická a dynamická citlivostní analýza nf zesilovače**
 - Statické **citlivosti na lokální ohřev** v obvodu
 - Dynamické citlivosti na lokální ohřev v obvodu
- **2. příklad: citlivostní analýza šumového čísla vf zesilovače**
 - Koncepce **monolitického mikrovlnného integrovaného obvodu** (**circuit**, MMIC)
 - Určení vstupní a výstupní impedance obvodu, **dodržení podmínek Friisova vztahu**
 - Optimalizace šumového čísla pomocí vypočtených citlivostí

Obecné vztahy citlivostní analýzy v časové oblasti

system parametrických algebro-diferenciálních rovnic obvodu

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}(t, p), \dot{\mathbf{x}}(t, p), t, p) = \mathbf{0}$$

implicitním derivováním podle p a užitím aproximace 1. řádu

$$\dot{\mathbf{x}}'(t, p) \equiv (\mathbf{x}'(t, p) - \mathbf{x}'(t - \Delta t)) / \Delta t^*$$

získáme **rekurentní** rovnici (se stejným Jakobiánem **pro všechny** p)

$$\left[\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}}(t, p) + \frac{1}{\Delta t} \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \dot{\mathbf{x}}}(t, p) \right] \mathbf{x}'(t, p) = -\mathbf{f}'(t, p) + \frac{1}{\Delta t} \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \dot{\mathbf{x}}}(t, p) \mathbf{x}'(t - \Delta t, p)$$

totožné derivované přidané (setrvačnost)

* program CIA používá aproximace od 1. do 6. řádu interpolace

Citlivostní analýza v pracovním bodu

pro určení parametrické derivace $\mathbf{x}'(\Delta t, p)$ (**první z řady**), **statická** parametrická derivace $\mathbf{x}'(0, p) = \mathbf{x}'_0(p)$ musí být již známá; tento vektor lze získat implicitním derivováním statické verze soustavy rovnic obvodu

$$\mathbf{f}_0(\mathbf{x}_0(p), p) = \mathbf{0}$$

čímž získáme jednodušší systém lineárních rovnic

$$\frac{\partial \mathbf{f}_0}{\partial \mathbf{x}_0}(p) \mathbf{x}'_0(p) = -\mathbf{f}'_0(p)$$

Obecné vztahy citlivostní analýzy v kmitočtové oblasti

system parametrických linearizovaných rovnic obvodu

$$\mathbf{A}(p)\mathbf{x}(p) = \mathbf{b}(p)$$

derivováním podle p a užitím aproximace prvního řádu

$$\mathbf{A}'(p) \cong (\mathbf{A}(p + \Delta p) - \mathbf{A}(p)) / \Delta p$$

získáme system komplexních lineárních rovnic

$$\mathbf{A}(p)\mathbf{x}'(p) = \mathbf{b}'(p) - \frac{\mathbf{A}(p + \Delta p)\mathbf{x}(p) - \mathbf{b}(p)}{\Delta p}$$

Standardní citlivostní analýza

$$\mathbf{b}'(p) = \mathbf{0}$$

Šumová citlivostní analýza

obvod je buzen šumovými zdroji (**předpokládáme nekorelovanými**)

$$c_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left({}^{\text{re}}_j x_i^2 + {}^{\text{im}}_j x_i^2 \right)} \Rightarrow c'_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left({}^{\text{re}}_j x_i {}^{\text{re}}_j x'_i + {}^{\text{im}}_j x_i {}^{\text{im}}_j x'_i \right)}{c_i}$$

každá z n složek se získá řešením soustavy lineárních rovnic

$$\mathbf{A}(p) {}_j\mathbf{x}(p) = {}_j\mathbf{b}(p)$$

užitím aproximace 1. řádu ${}_j\mathbf{b}'(p) \cong \left({}_j\mathbf{b}(p + \Delta p) - {}_j\mathbf{b}(p) \right) / \Delta p$

$$\mathbf{A}(p) {}_j\mathbf{x}'(p) = \frac{{}_j\mathbf{b}(p + \Delta p) - \mathbf{A}(p + \Delta p) {}_j\mathbf{x}(p)}{\Delta p}$$

Citlivost šumového čísla

vztah Ortize and Deniga (Microwave Journal, duben 1992)†

$$F_n = \frac{V_n^2 - V_{n,R_{\text{load}}}^2}{4A_V^2 k T R_{\text{input}}} \text{ or } F'_n = 10 \log F_n$$

V_n , A_V , k , T , a R_{input} jsou šumové napětí, napěťové zesílení, Boltzmanova konstanta, absolutní teplota a **vnitřní odpor vstupního zdroje**; $V_{n,R_{\text{load}}}^2$ je část V_n^2 vytvářená zatěžovacím odporem (jenž není součástí obvodu) – musí být **odečtena!**

derivováním této rovnice lze získat citlivost šumového čísla

$$\frac{\partial F'_n}{\partial p} = \frac{20}{\ln 10} \left(\frac{\partial V_n}{\partial p} / V_n - \frac{\partial A_V}{\partial p} / A_V \right)^*$$

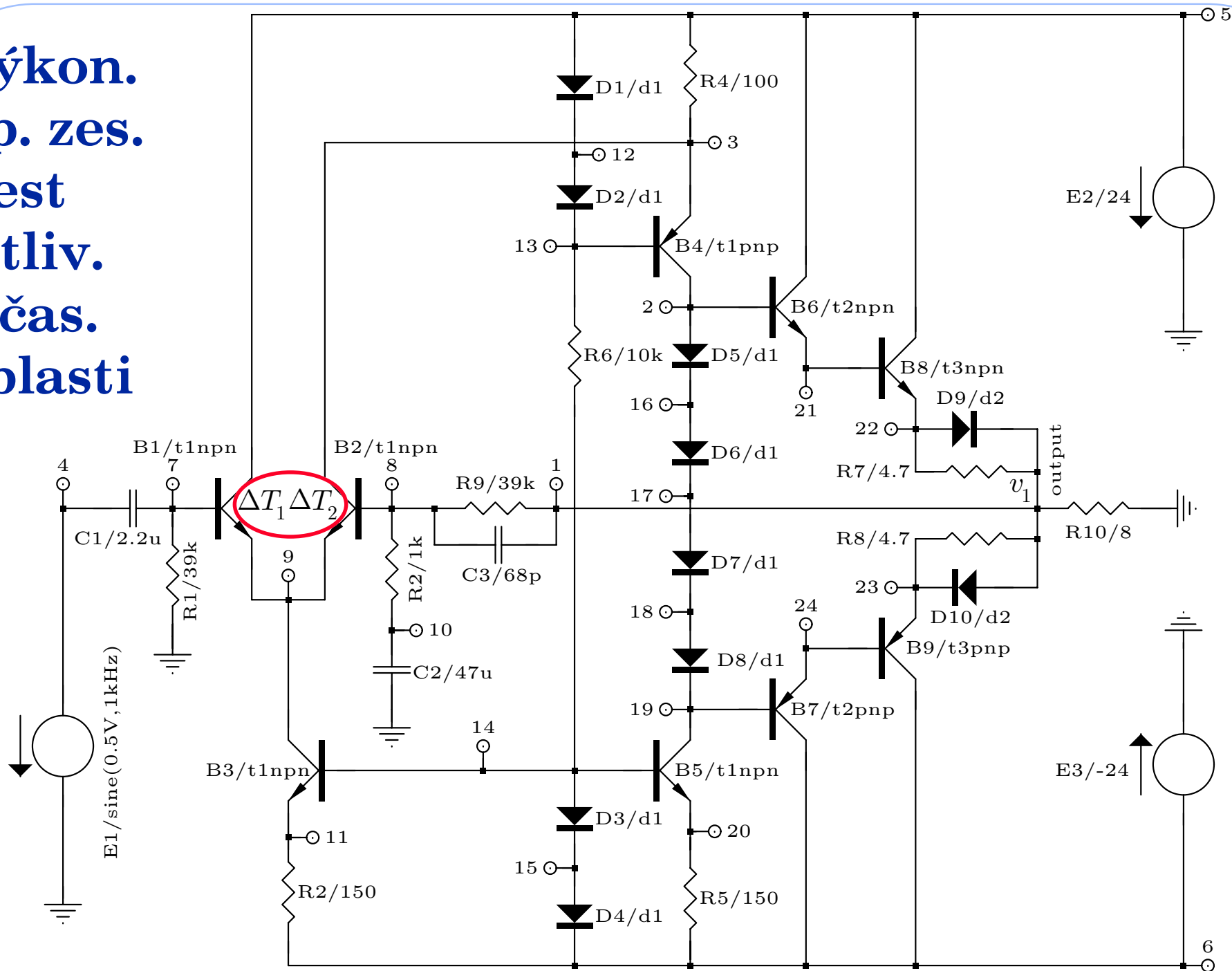
* většina programů nemůže určit $\partial V_n / \partial p$ a tudíž ani $\partial F'_n / \partial p$

† odvozeno ve skriptu na stranách 164-165 (nové) a 292 (staré)


Sumarizace zlepšení citlivostní analýzy šumového čísla

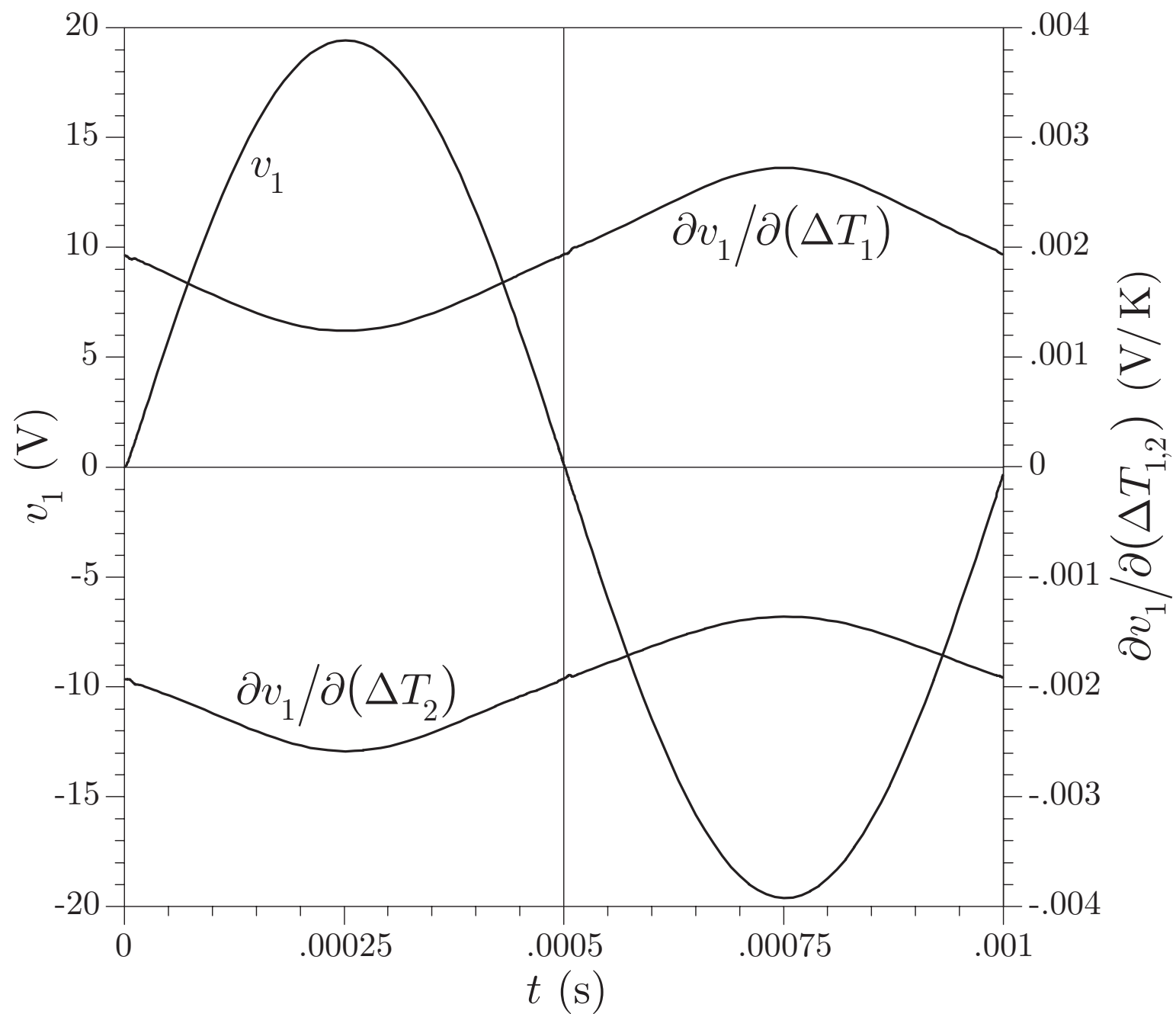
- Obvod **musí** být nejprve **přizpůsoben**, protože Friisova definice šumového čísla předpokládá **dosažitelné** šumové výkony a zisky
- Pokud je zatěžovací rezistor vytvořen uměle jako **řízený zdroj proudu**, pak zátěž **nevytváří** příspěvek k celkovému šumu a pak “ruční” odečet tohoto příspěvku **není** nutný

**Výkon.
op. zes.
Test
citliv.
v čas.
oblasti**



citlivosti výstupního napětí v pracovním bodu jsou **symetrické**:

$$\begin{aligned}\frac{\partial v_1}{\partial(\Delta T_1)} &= +\mathbf{1.925071} \times 10^{-3} \text{ V/K} \\ \frac{\partial v_1}{\partial(\Delta T_2)} &= -\mathbf{1.929745} \times 10^{-3} \text{ V/K}\end{aligned}$$




MMIC Test

citl. anal.
šum. čísla

