



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 1 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Model MESFET s frekvenční disperzí parametrů a přesnou charakterizací zpoždění hradla

Josef Dobeš

2. října 2013



1. Osnova

- Struktura modelu MESFET obsahujícího frekvenční disperzi parametrů a přesnou charakterizaci zpoždění

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 2 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 2 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Struktura modelu MESFET obsahujícího frekvenční disperzi parametrů a přesnou charakterizaci zpoždění
- Modifikované rovnice statické části modelu
 - Výsledky identifikace modelu GaAs FET (tranzistor DZ71)
 - Výsledky identifikace modelu pHEMT (tranzistor TriQuint)



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 2 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Struktura modelu MESFET obsahujícího frekvenční disperzi parametrů a přesnou charakterizaci zpoždění
- Modifikované rovnice statické části modelu
 - Výsledky identifikace modelu GaAs FET (tranzistor DZ71)
 - Výsledky identifikace modelu pHEMT (tranzistor TriQuint)
- Modifikované rovnice dynamické části modelu
 - Výsledky identifikace modelu mikrovlnných varaktorů



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 2 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

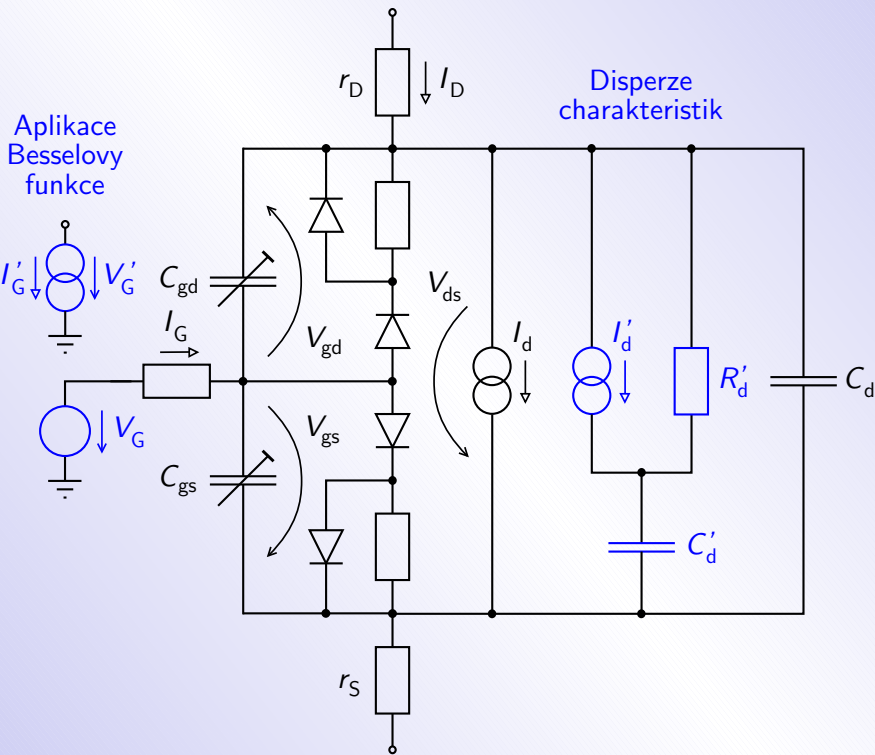
Konec

1. Osnova

- Struktura modelu MESFET obsahujícího frekvenční disperzi parametrů a přesnou charakterizaci zpoždění
- Modifikované rovnice statické části modelu
 - Výsledky identifikace modelu GaAs FET (tranzistor DZ71)
 - Výsledky identifikace modelu pHEMT (tranzistor TriQuint)
- Modifikované rovnice dynamické části modelu
 - Výsledky identifikace modelu mikrovlnných varaktorů
- Přesné modelování zpoždění hradla



2. Náhradní obvod modelu MESFET



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 3 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



3. Rovnice statické části modelu

Hlavní napětově řízený proudový zdroj modelu MESFET je definován v normálním módu ($V_{ds} \geq 0$)¹ (viz náhradní obvod)

$$V_{T1} = V_{T0} - \sigma V_{ds},$$

$$I_D = \begin{cases} 0 & \text{pro } V_{gs} \leq V_{T1}, \\ \beta (V_{gs} - V_{T1})^{n_2} (1 + \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) & \text{pro } V_{gs} > V_{T1}, \end{cases}$$

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 4 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



3. Rovnice statické části modelu

Hlavní napětově řízený proudový zdroj modelu MESFET je definován v normálním módu ($V_{ds} \geq 0$)¹ (viz náhradní obvod)

$$V_{T1} = V_{T0} - \sigma V_{ds},$$

$$I_D = \begin{cases} 0 & \text{pro } V_{gs} \leq V_{T1}, \\ \beta (V_{gs} - V_{T1})^{n_2} (1 + \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) & \text{pro } V_{gs} > V_{T1}, \end{cases}$$

a obdobnými vztahy v inverzním módu ($V_{ds} < 0$)

$$V_{T1} = V_{T0} + \sigma V_{ds},$$

$$I_D = \begin{cases} 0 & \text{pro } V_{gd} \leq V_{T1}, \\ \beta (V_{gd} - V_{T1})^{n_2} (1 - \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) & \text{pro } V_{gd} > V_{T1}. \end{cases}$$

Domovská stránka



Strana 4 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



3. Rovnice statické části modelu

Hlavní napětově řízený proudový zdroj modelu MESFET je definován v normálním módu ($V_{ds} \geq 0$)¹ (viz náhradní obvod)

$$V_{T1} = V_{T0} - \sigma V_{ds},$$

$$I_D = \begin{cases} 0 & \text{pro } V_{gs} \leq V_{T1}, \\ \beta (V_{gs} - V_{T1})^{n_2} (1 + \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) & \text{pro } V_{gs} > V_{T1}, \end{cases}$$

a obdobnými vztahy v inverzním módu ($V_{ds} < 0$)

$$V_{T1} = V_{T0} + \sigma V_{ds},$$

$$I_D = \begin{cases} 0 & \text{pro } V_{gd} \leq V_{T1}, \\ \beta (V_{gd} - V_{T1})^{n_2} (1 - \lambda V_{ds}) \tanh(\alpha V_{ds}) & \text{pro } V_{gd} > V_{T1}. \end{cases}$$

Výše uvedené vztahy lze rovněž použít pro přesné modelování pHEMT.

¹Cao, Dobeš, European Gallium Arsenide and Related III-V Compounds, 1999.

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 4 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 5 z 11

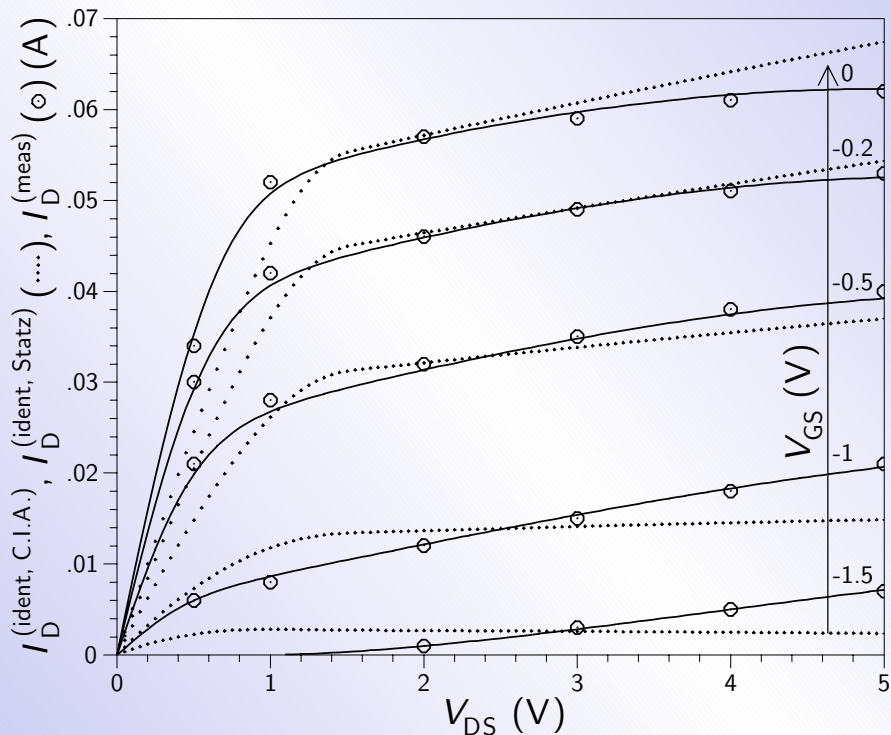
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

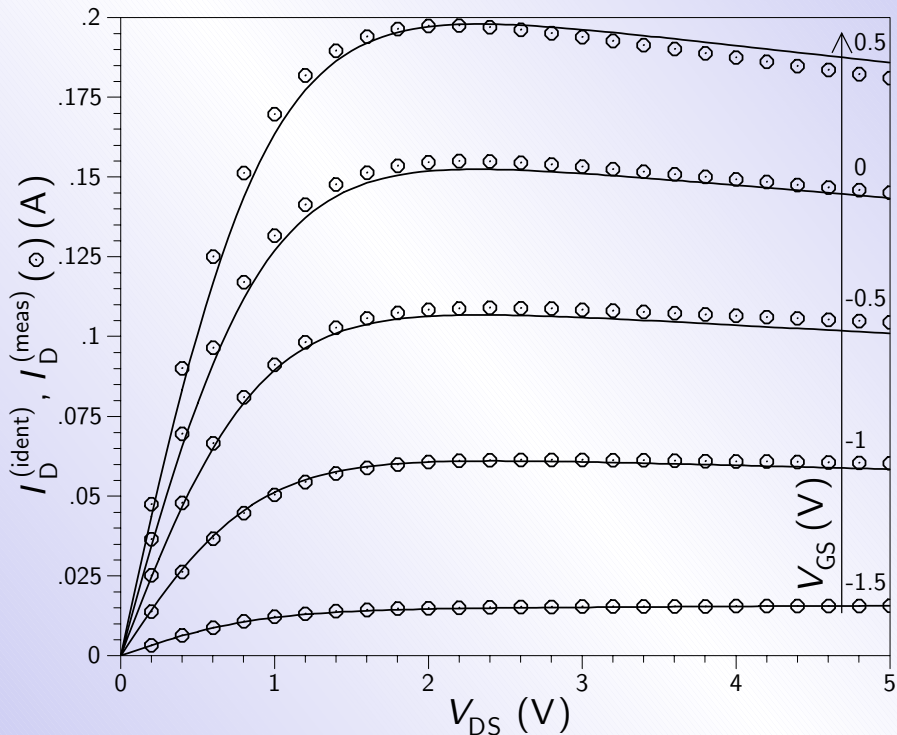
Konec

Příklad identifikace parametrů modelu GaAsFET (Jastrzebski, EuMC 1987)
(rms = 2.73 %, $\delta_{\max} = 8$ % (C.I.A.); meas – měřeno, ident – model):





Příklad identifikace parametrů modelu pHEMT (Cao, EuMC 1999) (rms = 2.38 %, $\delta_{\max} = 8.24$ %):



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 6 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



4. Rovnice dynamické části modelu

Definice je rozdělena do tří částí (podobně jako u Statzova modelu), avšak zde je navíc modifikováno prahové napětí (V_{T1}) a mocnina ($-m$):

$$C_g = \begin{cases} \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_g}} & \text{pro } V_g \leq V_A, \\ \frac{V_g - V_A}{V_B - V_A} \left[C_{J0} \left(1 - \frac{V_B}{\phi_0} \right)^{-m} + \right. \\ \left. \pi \frac{\epsilon W}{2} - \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_A}} \right] + \\ \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_A}} & \text{pro } V_g > V_A \wedge \\ & V_g < V_B, \\ \pi \frac{\epsilon W}{2} + C_{J0} \left(1 - \frac{V_g}{\phi_0} \right)^{-m} & \text{pro } V_g \geq V_B. \end{cases}$$

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 7 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



4. Rovnice dynamické části modelu

Definice je rozdělena do tří částí (podobně jako u Statzova modelu), avšak zde je navíc modifikováno prahové napětí (V_{T1}) a mocnina ($-m$):

$$C_g = \begin{cases} \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_g}} & \text{pro } V_g \leq V_A, \\ \frac{V_g - V_A}{V_B - V_A} \left[C_{J0} \left(1 - \frac{V_B}{\phi_0} \right)^{-m} + \right. \\ \left. \pi \frac{\epsilon W}{2} - \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_A}} \right] + \\ \epsilon W \arctan \sqrt{\frac{\phi_0 - V_{T1}}{V_{T1} - V_A}} & \text{pro } V_g > V_A \wedge \\ & V_g < V_B, \\ \pi \frac{\epsilon W}{2} + C_{J0} \left(1 - \frac{V_g}{\phi_0} \right)^{-m} & \text{pro } V_g \geq V_B. \end{cases}$$

Přechodná oblast v okolí prahového napětí je určena empiricky:

$$V_A = V_{T1} - 0.15 \text{ V}, \quad V_B = V_{T1} + 0.08 \text{ V}.$$

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 7 z 11

Zpět

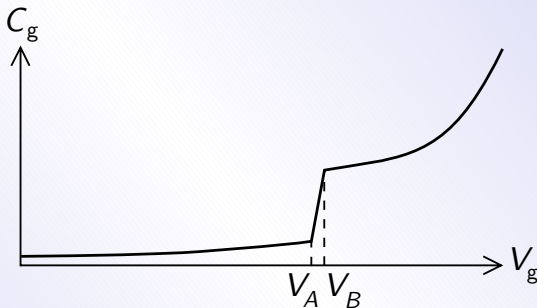
Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Typický tvar napěťových závislostí kapacit gate-source and gate-drain MESFET má charakteristický lomený průběh (zde a v dalších obrázcích je použito zjednodušené označení kapacity a napětí C_g a V_g)



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 8 z 11

Zpět

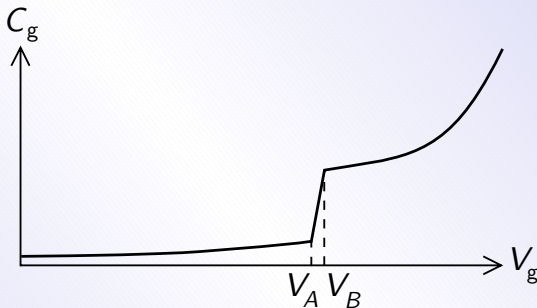
Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Typický tvar napěťových závislostí kapacit gate-source and gate-drain MESFET má charakteristický lomený průběh (zde a v dalších obrázcích je použito zjednodušené označení kapacity a napětí C_g a V_g)



Podobnou napěťovou závislost kapacit mají i [mikrovlnné varaktory](#) a proto lze výše definovanou funkci použít i k jejich matematickému popisu.

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 8 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 9 z 11

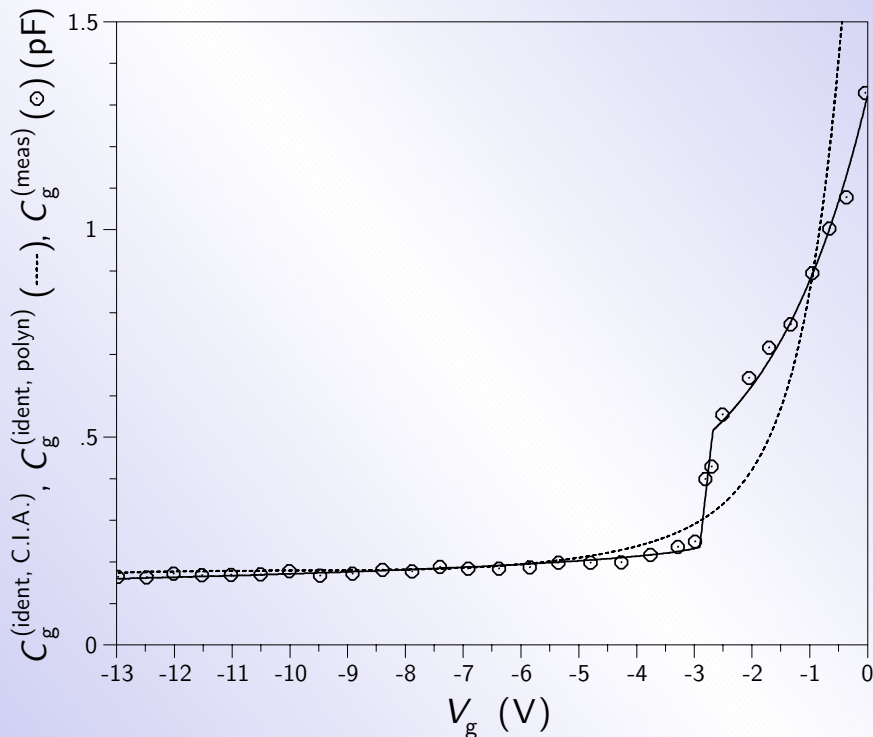
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

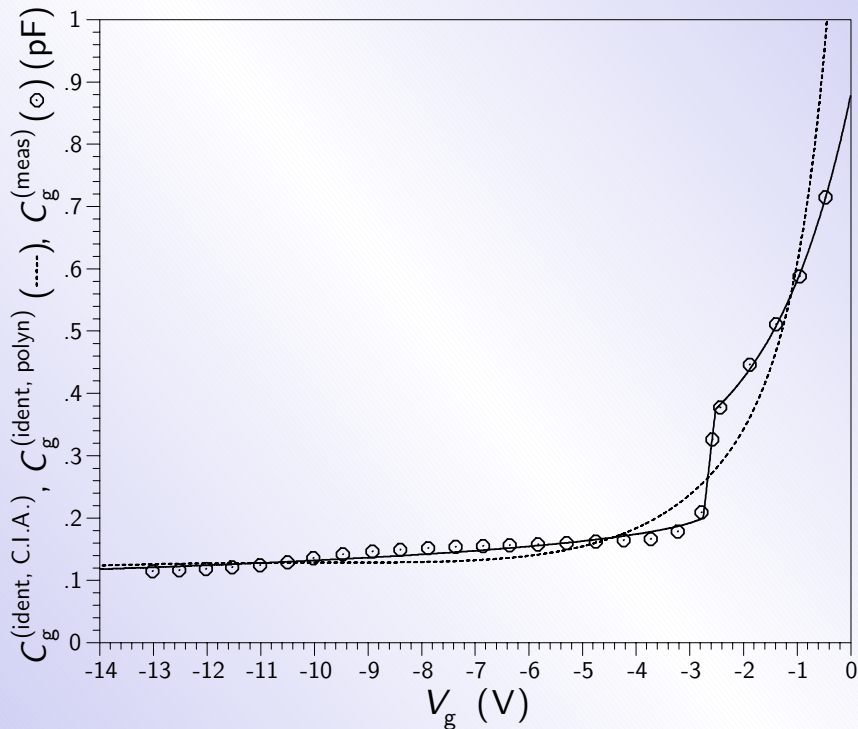
Konec

Příklad identifikace varaktoru TI EG8132 (Chang, 1991) přidruženého *gate* (rms = 4.52 %, $\delta_{\max} = 13.7$ %; polyn – polynomiální aproximace):





Příklad identifikace varaktoru TI EG8132 (Chang, 1991) přidruženého *source*
(rms = 4 %, $\delta_{\max} = 6.87$ %):



Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 10 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



5. Přesný model zpoždění

Pro modelování zpoždění mikrovlnných součástek nepostačuje definice všech kapacitorů a induktorů – do modelu je nezbytné totiž zahrnout i **aproximaci** nějakého prvku s rozprostřenými parametry.

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 11 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



5. Přesný model zpoždění

Pro modelování zpoždění mikrovlnných součástek nepostačuje definice všech kapacitorů a induktorů – do modelu je nezbytné totiž zahrnout i **aproximaci** nějakého prvku s rozprostřenými parametry.

V modelu MESFET se k modelování zpoždění hradla používá Besselova funkce druhého řádu. Dodatečný řízený napěťový zdroj modelu (**viz náhradní obvod**) je definován diferenciální rovnicí druhého řádu

$$\frac{1}{3\omega_0^2} \frac{d^2 V_G}{dt^2} + \frac{1}{\omega_0} \frac{dV_G}{dt} + V_G = V'_G$$

s přirozenými počátečními podmínkami

$$V_G(0) = V'_G(0), \quad \frac{dV_G}{dt}(0) = 0.$$

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 11 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



5. Přesný model zpoždění

Pro modelování zpoždění mikrovlnných součástek nepostačuje definice všech kapacitorů a induktorů – do modelu je nezbytné totiž zahrnout i **aproximaci** nějakého prvku s rozprostřenými parametry.

V modelu MESFET se k modelování zpoždění hradla používá Besselova funkce druhého řádu. Dodatečný řízený napěťový zdroj modelu (**viz náhradní obvod**) je definován diferenciální rovnicí druhého řádu

$$\frac{1}{3\omega_0^2} \frac{d^2 V_G}{dt^2} + \frac{1}{\omega_0} \frac{dV_G}{dt} + V_G = V'_G$$

s přirozenými počátečními podmínkami

$$V_G(0) = V'_G(0), \quad \frac{dV_G}{dt}(0) = 0.$$

Dodatečný řízený zdroj proudu zrcadlí proud hradla (Madjar, 1988) (**viz náhradní obvod**)

$$I'_G = I_G.$$

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 11 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



5. Přesný model zpoždění

Pro modelování zpoždění mikrovlnných součástek nepostačuje definice všech kapacitorů a induktorů – do modelu je nezbytné totiž zahrnout i **aproximaci** nějakého prvku s rozprostřenými parametry.

V modelu MESFET se k modelování zpoždění hradla používá Besselova funkce druhého řádu. Dodatečný řízený napěťový zdroj modelu (**viz náhradní obvod**) je definován diferenciální rovnicí druhého řádu

$$\frac{1}{3\omega_0^2} \frac{d^2 V_G}{dt^2} + \frac{1}{\omega_0} \frac{dV_G}{dt} + V_G = V'_G$$

s přirozenými počátečními podmínkami

$$V_G(0) = V'_G(0), \quad \frac{dV_G}{dt}(0) = 0.$$

Dodatečný řízený zdroj proudu zrcadlí proud hradla (Madjar, 1988) (**viz náhradní obvod**)

$$I'_G = I_G.$$

Výše uvedený model zpoždění může být použit i k preciznímu charakterizování přenosového vedení.²

²J. Dobeš, European Conference on Circuit Theory and Design, 2003.

Osnova

Náhradní obvod...

Rovnice statické...

Rovnice dynamické...

Přesný model zpoždění

Domovská stránka



Strana 11 z 11

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec