

Využití multiobjektové optimalizace k návrhu vysokofrekvenčních obvodů (úvodní přehled)

Josef Dobeš a Jan Míchal
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky

3. října 2021

Architektura rádiových přijímačů a vysílačů



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 1 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Osnova

- Úvod do multiobjektové optimalizace
- Popis použité (a námi upravené) metody
 - Skalarizace problému
 - Referenční soubor pro asymptoticky rovnoměrné pokrytí Paretovy plochy
- Příklady
 - Dvojdímenzionální úloha: Nízkošumový zesilovač
 - Účelové funkce (cíle návrhu)
 - Dvojdímenzionální Paretova plocha (tedy v tomto případě křivka)
 - Kmitočtové charakteristiky pro vybraných pět bodů Paretovy křivky
 - Trojdímenzionální úloha: Výkonový zesilovač
 - Účelové funkce (cíle návrhu)
 - Trojdímenzionální Paretova plocha (tedy v tomto případě skutečně plocha v geometrickém významu)
 - Časové odezvy pro vybraných pět bodů Paretovy plochy
 - Čtyřdímenzionální úloha: Video zesilovač
 - Účelové funkce (cíle návrhu)
 - Způsob zobrazení čtyřdímenzionální Paretovy plochy (tedy v tomto případě vlastně trojdímenzionálního prostoru)



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 2 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

2. Multiobjektová optimalizace: základní vztahy

Úlohou multiobjektové optimalizace rozumíme minimalizaci k -tice účelových funkcí:

$$\underset{\mathbf{x} \in S}{\text{minimize}} \quad \{ f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x}) \},$$

kde S je množina hodnot účelových funkcí splňujících omezující podmínky (*feasible region*). Optimalizací pak rozumíme hledání *nepodřadných* (*noninferior*) řešení lokalizovaných na *Paretově ploše*.



Osnova

Multiobjektová ...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí ...

2-D opt.: Nízkošumový ...

3-D opt.: Výkonový ...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 3 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

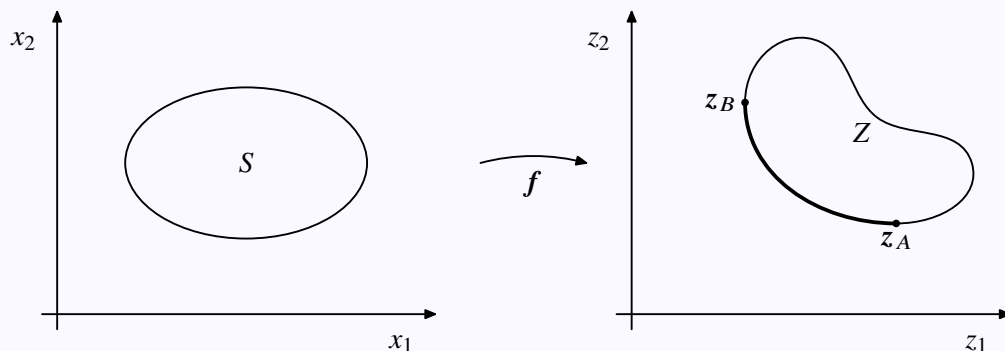
2. Multiobjektová optimalizace: základní vztahy

Úlohou multiobjektové optimalizace rozumíme minimalizaci k -tice účelových funkcí:

$$\underset{\mathbf{x} \in S}{\text{minimize}} \quad \{ f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x}) \},$$

kde S je množina hodnot účelových funkcí splňujících omezující podmínky (*feasible region*). Optimalizací pak rozumíme hledání *nepodřadných* (*noninferior*) řešení lokalizovaných na *Paretově ploše*.

Ilustrace problému pro $k = 2$ (dvojdímenzionální případ):



Osnova

Multiobjektová ...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí ...

2-D opt.: Nízkošumový ...

3-D opt.: Výkonový ...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 3 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

3. Skalarizace problému

Algoritmus je variantou metody GAM¹ (Goal Attainment Method, vztah níže je originální modifikace):

$$\underset{\mathbf{x} \in S}{\text{minimize}} \quad \max_{i=1, \dots, k} \frac{f_i(\mathbf{x}) - \bar{z}_i}{z_i^{\text{nad}} - z_i^*},$$



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 4 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

3. Skalarizace problému

Algoritmus je variantou metody GAM¹ (Goal Attainment Method, vztah níže je originální modifikace):

$$\underset{\mathbf{x} \in S}{\text{minimize}} \quad \max_{i=1, \dots, k} \frac{f_i(\mathbf{x}) - \bar{z}_i}{z_i^{\text{nad}} - z_i^*},$$

kde z_i^* jsou složky *ideálního* vektoru

$$\mathbf{z}^* = \left[\min_{\mathbf{x} \in S} f_1(\mathbf{x}), \min_{\mathbf{x} \in S} f_2(\mathbf{x}), \dots, \min_{\mathbf{x} \in S} f_k(\mathbf{x}) \right],$$

a z_i^{nad} jsou složky *nadir* vektoru (tj. vektoru, který je protipólem optima, jde o vektor nejhorších (nezávisle na sobě zjištěných) hodnot)

$$\mathbf{z}^{\text{nad}} = \left[\max_i (z_i^*)_1, \dots, \max_i (z_i^*)_k \right].$$



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 4 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

3. Skalarizace problému

Algoritmus je variantou metody GAM¹ (Goal Attainment Method, vztah níže je originální modifikace):

$$\underset{\mathbf{x} \in S}{\text{minimize}} \quad \max_{i=1, \dots, k} \frac{f_i(\mathbf{x}) - \bar{z}_i}{z_i^{\text{nad}} - z_i^*},$$

kde z_i^* jsou složky *ideálního* vektoru

$$\mathbf{z}^* = \left[\min_{\mathbf{x} \in S} f_1(\mathbf{x}), \min_{\mathbf{x} \in S} f_2(\mathbf{x}), \dots, \min_{\mathbf{x} \in S} f_k(\mathbf{x}) \right],$$

a z_i^{nad} jsou složky *nadir* vektoru (tj. vektoru, který je protipólem optima, jde o vektor nejhorších (nezávisle na sobě zjištěných) hodnot)

$$\mathbf{z}^{\text{nad}} = \left[\max_i (z_i^*)_1, \dots, \max_i (z_i^*)_k \right].$$

\bar{z}_i jsou složky *referenčního* bodu vybrané z určitého konvexní *referenční* množiny s vrcholy $\mathbf{z}_{0,l}$, kde každý vrchol je příslušný vektor účelové funkce z_l^* získaný nezávislou minimalizací l -té účelové funkce.

Algoritmus GAM je např. standardně implementován v MATLAB, není třeba tedy většinou programovat matematické procedury. (Neposkytuje ovšem asymptoticky rovnoměrné pokrytí Paretovy plochy.)

¹Kaisa Miettinen, Nonlinear Multiobjective Optimization. Kluwer Academic Publishers, Boston, 4th ed., 2004.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 4 z 23

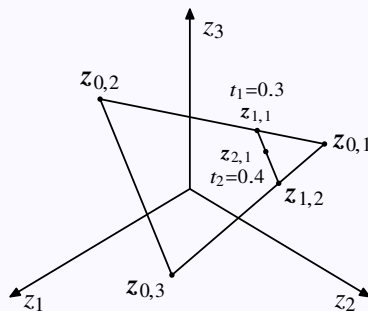
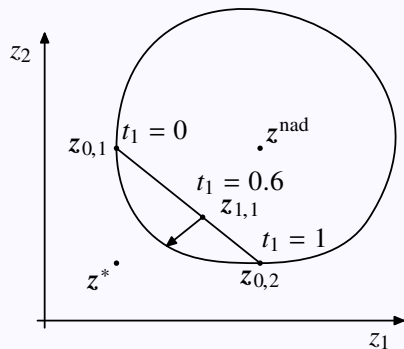
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Ilustrace pro $k = 2$ a $k = 3$:



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 5 z 23

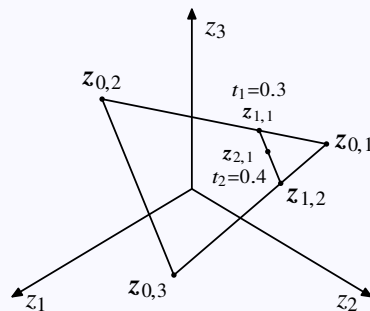
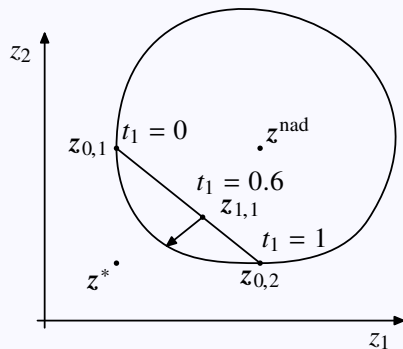
Zpět

Celá obrazovka

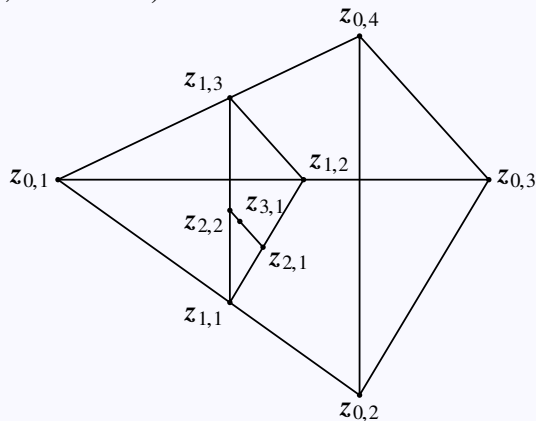
Zavřít

Konec

Ilustrace pro $k = 2$ a $k = 3$:



Ilustrace pro $k = 4$ (čtyřstěn, tetrahedron):



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 5 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

4. Rovnoměrné pokrytí referenčního souboru

Startujeme s k -ticí vrcholů $z_{0,i}$ a $k - 1$ náhodně generovanými koeficienty $r_j \in [0, 1]$.

$$t_1 = \sqrt[k-1]{r_1}$$

$$z_{1,1} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,2}$$

$$z_{1,2} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,3}$$

$$\vdots$$

$$z_{1,k-1} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,k}$$



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 6 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

4. Rovnoměrné pokrytí referenčního souboru

Startujeme s k -ticí vrcholů $z_{0,i}$ a $k - 1$ náhodně generovanými koeficienty $r_j \in [0, 1]$.

$$t_1 = \sqrt[k-1]{r_1}$$

$$z_{1,1} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,2}$$

$$z_{1,2} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,3}$$

$$\vdots$$

$$z_{1,k-1} = (1 - t_1)z_{0,1} + t_1 z_{0,k}$$

$$t_2 = \sqrt[k-2]{r_2}$$

$$z_{2,1} = (1 - t_2)z_{1,1} + t_2 z_{1,2}$$

$$z_{2,2} = (1 - t_2)z_{1,1} + t_2 z_{1,3}$$

$$\vdots$$

$$z_{2,k-2} = (1 - t_2)z_{1,1} + t_2 z_{1,k-1}$$



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 6 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

4. Rovnoměrné pokrytí referenčního souboru

Startujeme s k -ticí vrcholů $z_{0,i}$ a $k - 1$ náhodně generovanými koeficienty $r_j \in [0, 1]$.

$$\begin{aligned} t_1 &= \sqrt[k-1]{r_1} \\ z_{1,1} &= (1 - t_1)z_{0,1} + t_1z_{0,2} \\ z_{1,2} &= (1 - t_1)z_{0,1} + t_1z_{0,3} \\ &\vdots \\ z_{1,k-1} &= (1 - t_1)z_{0,1} + t_1z_{0,k} \\ \hline t_2 &= \sqrt[k-2]{r_2} \\ z_{2,1} &= (1 - t_2)z_{1,1} + t_2z_{1,2} \\ z_{2,2} &= (1 - t_2)z_{1,1} + t_2z_{1,3} \\ &\vdots \\ z_{2,k-2} &= (1 - t_2)z_{1,1} + t_2z_{1,k-1} \\ \hline &\vdots \\ \hline t_{k-1} &= \sqrt[r_{k-1}]{} = r_{k-1} \\ z_{k-1,1} &= (1 - t_{k-1})z_{k-2,1} + t_{k-1}z_{k-2,2} \end{aligned}$$

Tato rekurentní posloupnost v důsledku vede k *asymptoticky rovnoměrnému* pokrytí Paretovy plochy.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 6 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

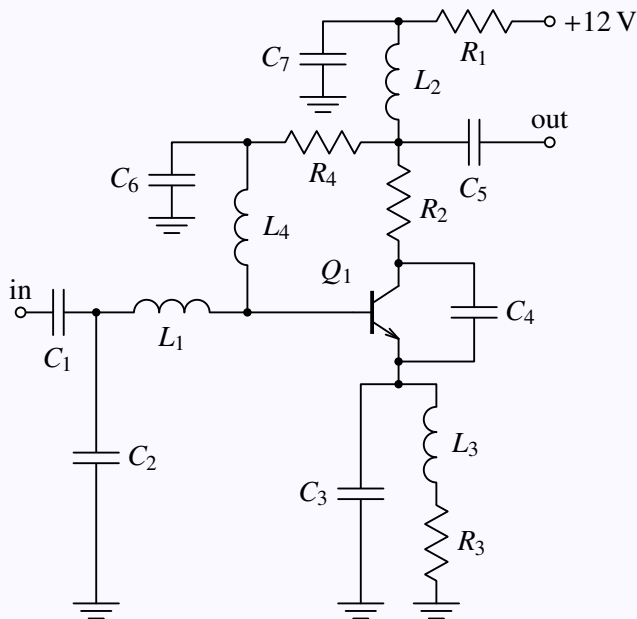
5. 2-D opt.: Nízkošumový zesilovač

Pásmo 50 MHz to 500 MHz, na vstupu i výstupu 75 Ω , bipolární tranzistor BFR90

Účelové funkce: **minimalizovat šumové číslo při současné maximalizaci zesílení**

Omezující podmínky (constraints): maxima povolená tranzistorem, stabilita (např. Rollettovo kritérium)

Proměnné pro návrh: hodnoty pasivních prvků obvodu



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

3-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 7 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Účelové funkce

N ^o	Symbol	Typ	Směr	Optimum/ Limit	Jednotka
1	A_{pt}	obj.	max.	17.5	dB
2	NF	obj.	min.	1.10	dB
3	I_{c}	constr.	\leq	20	mA
4	P_{diss}	constr.	\leq	150	mW
5	k_{Rs}	constr.	\geq	1.1	—
6	Δ	constr.	\leq	0.9	—



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

3-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana **8** z 23

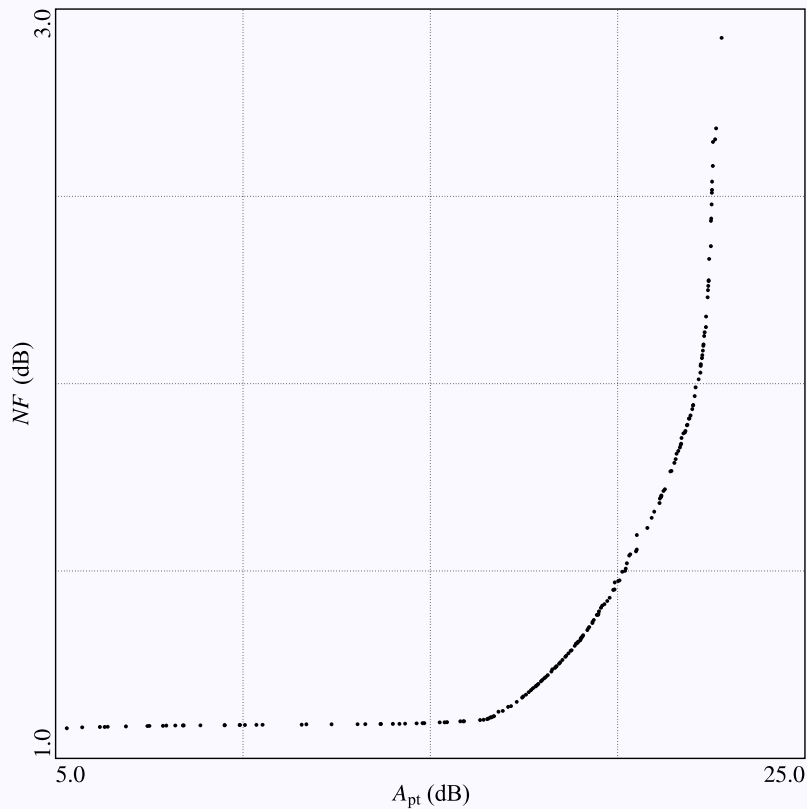
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Prvotní výsledek: (Poměrně) rovnoměrně pokrytá Paretova křivka



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problémů

Rovnoměrné pokrytí...

3-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 9 z 23

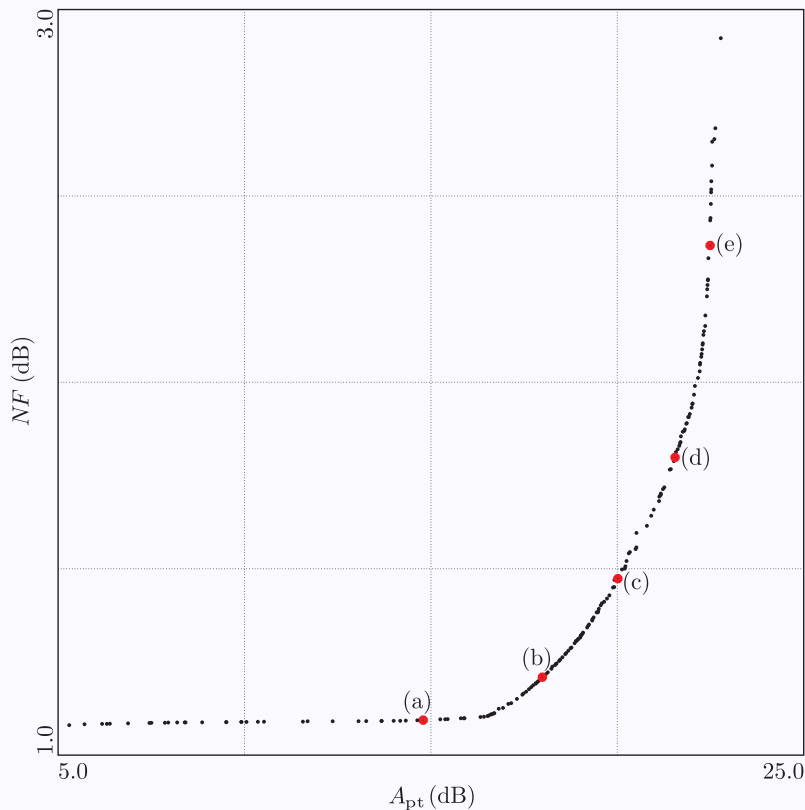
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Další krok: Výběr bodů na Paretově křivce (zde demonstrativní)



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

3-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 10 z 23

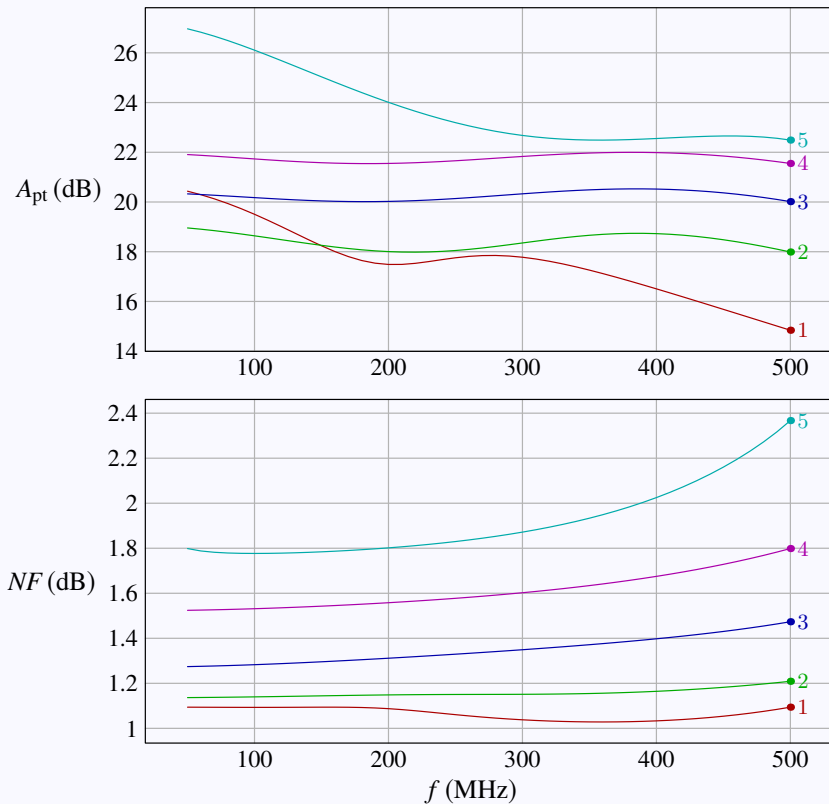
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Vypočtené průběhy zesílení a šumového čísla pro pět vybraných bodů



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

3-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 11 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

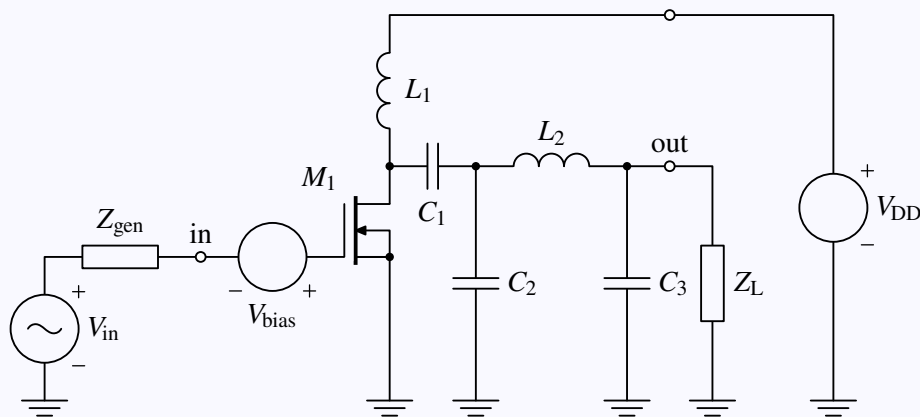
6. 3-D opt.: Výkonový zesilovač

Úzkopásmová modulace na 300 MHz, $50\ \Omega$, 12 V, tranzistor MOS LP821 (Polyfet)

Účelové funkce: maximalizovat výstupní výkon první harmonické a výkonovou efektivnost, minimalizovat harmonické zkreslení

Omezující podmínky (constraints): maximální povolené hodnoty na tranzistoru

Proměnné pro návrh: hodnoty pasivních prvků, vstupní stejnosměrné (DC) předpětí (bias) a amplituda



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 12 z 23

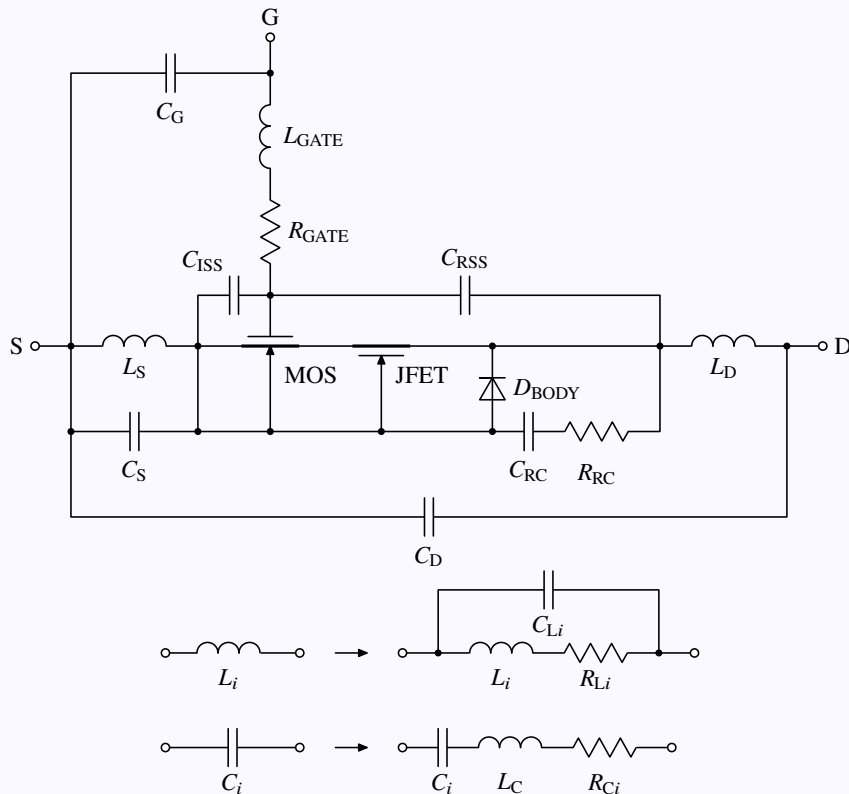
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Použitý model tranzistoru LDMOS (Lateral Diffusion)



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 13 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Účelové funkce

N ^o	Symbol	Typ	Směr	Optimum/ Limit	Jednotka
1	P_{out1}	obj.	max.	31.1	W
2	η	obj.	max.	83.0	%
3	THD	obj.	min.	0.0783	%
4	$I_{\text{d avg}}$	constr.	\leq	5	A
5	P_{diss}	constr.	\leq	50	W



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 14 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Proměnné pro návrh

N ^o	Symbol	Limit		Jednotka	Typ pokrytí
		Dolní	Horní		
1	$V_{gs \max}$	2	20	V	lin.
2	V_{gsACm}	0.4	12	V	lin.
3	L_1	3 n	30 n	H	log.
4	C_1	10 p	300 p	F	log.
5	C_2	3 p	300 p	F	log.
6	L_2	3 n	100 n	H	log.
7	C_3	3 p	100 p	F	log.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 15 z 23

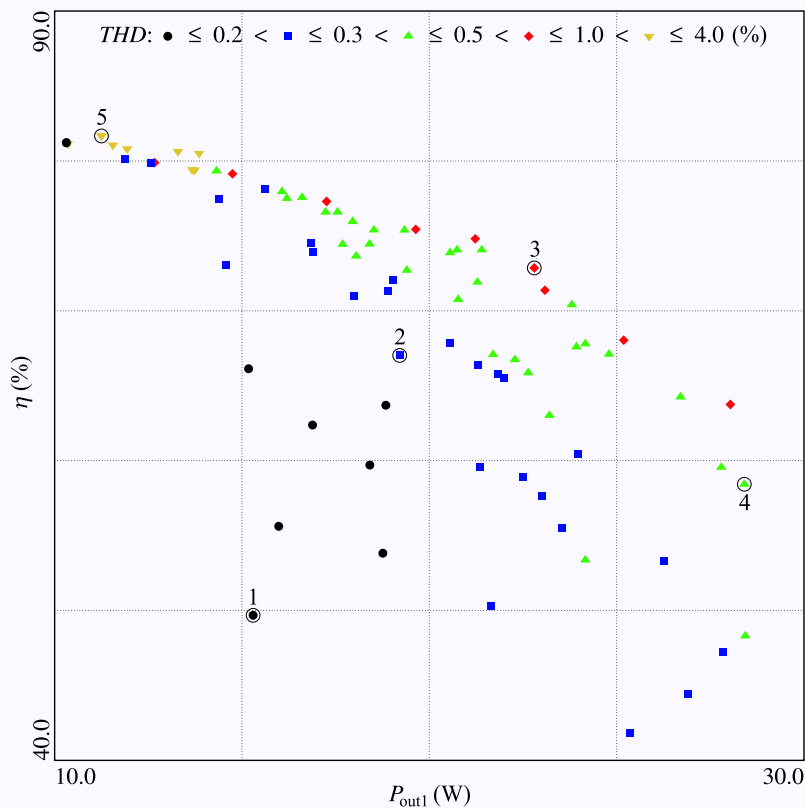
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Výsledky: Trojrozměrná Paretova plocha



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 16 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Výsledky: Parametry pěti vybraných (demonstrativních) řešení

N°	Symbol	Číslo řešení					Jednotka
		1	2	3	4	5	
1	V_{gsmax}	9.97	15.9	20.0	19.2	18.9	V
2	V_{gsACm}	4.03	8.05	10.7	9.24	12.0	V
3	L_1	7.86 n	11.3 n	4.23 n	3.97 n	5.03 n	H
4	C_1	294 p	133 p	299 p	51.6 p	166 p	H
5	C_2	22.6 p	5.09 p	27.0 p	300 p	3.41 p	H
6	L_2	6.84 n	7.00 n	7.97 n	7.32 n	9.89 n	H
7	C_3	20.1 p	2.35 p	18.4 p	22.6 p	17.0 p	H
1	P_{out1}	15.3	18.8	22.8	28.4	11.2	W
2	η	49.7	63.7	72.9	58.4	81.7	%
3	THD	0.163	0.239	0.512	0.394	3.03	%
4	I_{davg}	2.56	2.44	2.59	4.01	1.15	A
5	P_{diss}	13.6	8.42	6.65	16.0	1.84	W



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 17 z 23

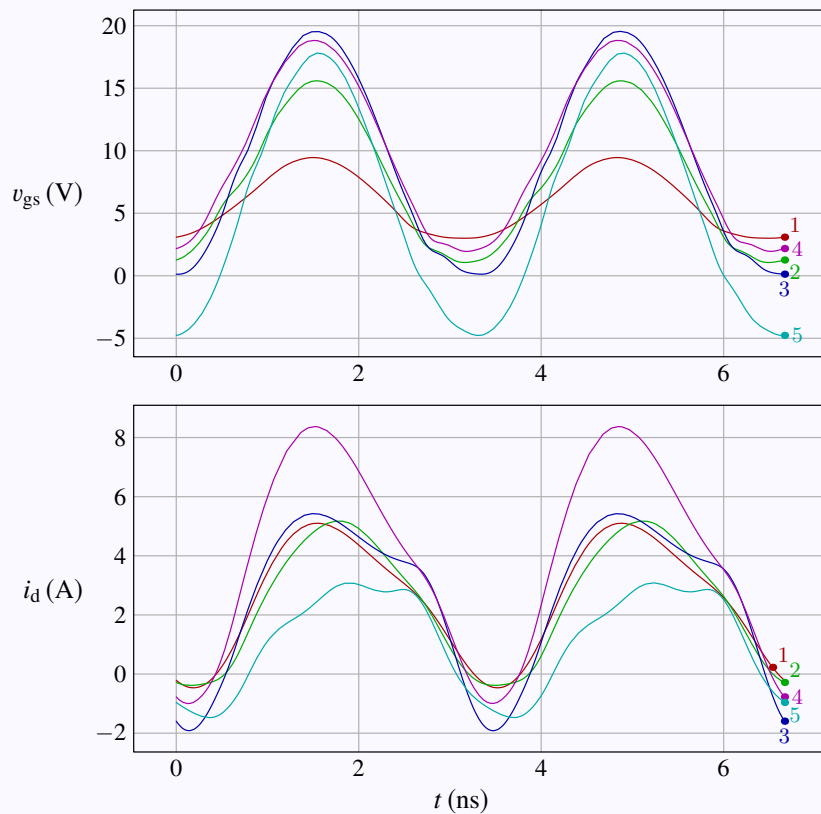
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Výsledky: časové průběhy pro vybraných pět řešení



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 18 z 23

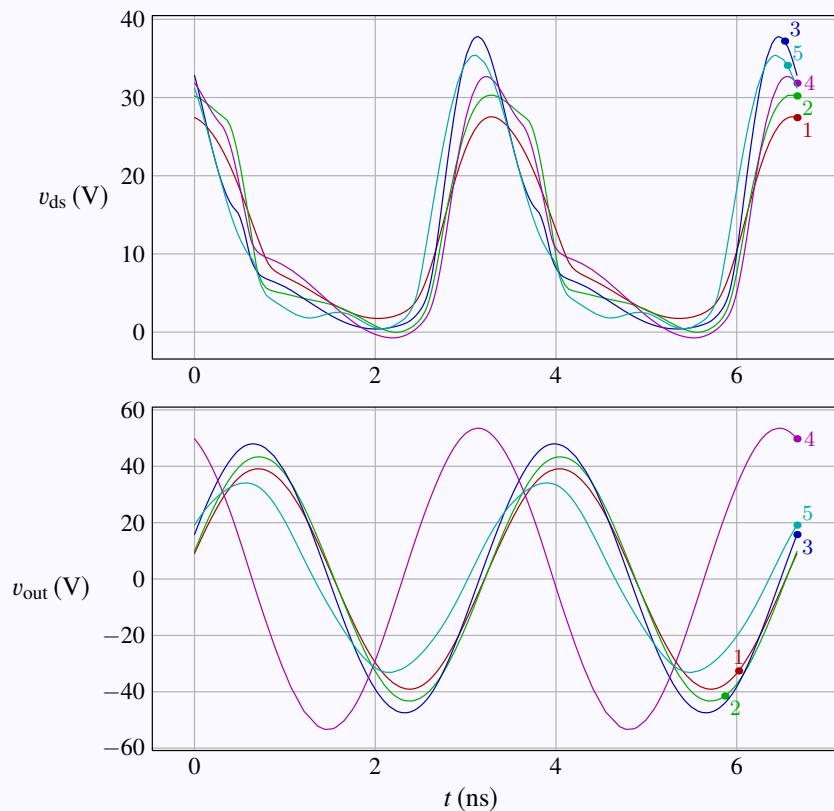
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Výsledky: časové průběhy pro vybraných pět řešení (pokračování)



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 19 z 23

Zpět

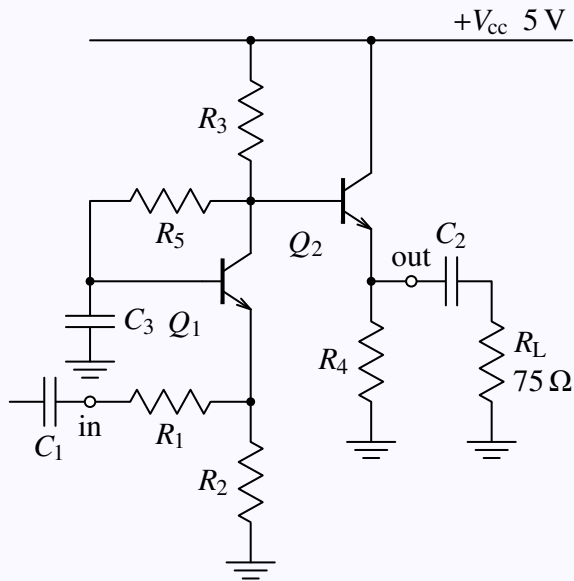
Celá obrazovka

Zavřít

Konec

7. 4-D opt.: Video zesilovač

Video zesilovač se vstupem přizpůsobeným impedanci zdroje $75\ \Omega$ s výstupem do zátěže $75\ \Omega$ a kapacitou výstupu $1\ \text{V}_{\text{pp}}$. Kmitočet f_m pro 3 dB pokles má být co největší, nízkofrekvenční napěťový zisk A_v by měl být kladný a co největší a celkový stejnosměrný napájecí proud I_{cc} by měl být co nejmenší. Jako proměnné pro návrh budou použity rezistory R_1 – R_5 . Má se i minimalizovat SWR (Standing Wave Ratio).



- minimalizovat SWR, I_{cc} ,
- maximalizovat A_v , f_m ,
- vzhledem k podmínce $V_{\text{out}} \leq 3.5\ \text{V}$,
přičemž toto omezení V_{out} zajišťuje požadovanou $1\ \text{V}_{\text{pp}}$ kapacitu.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



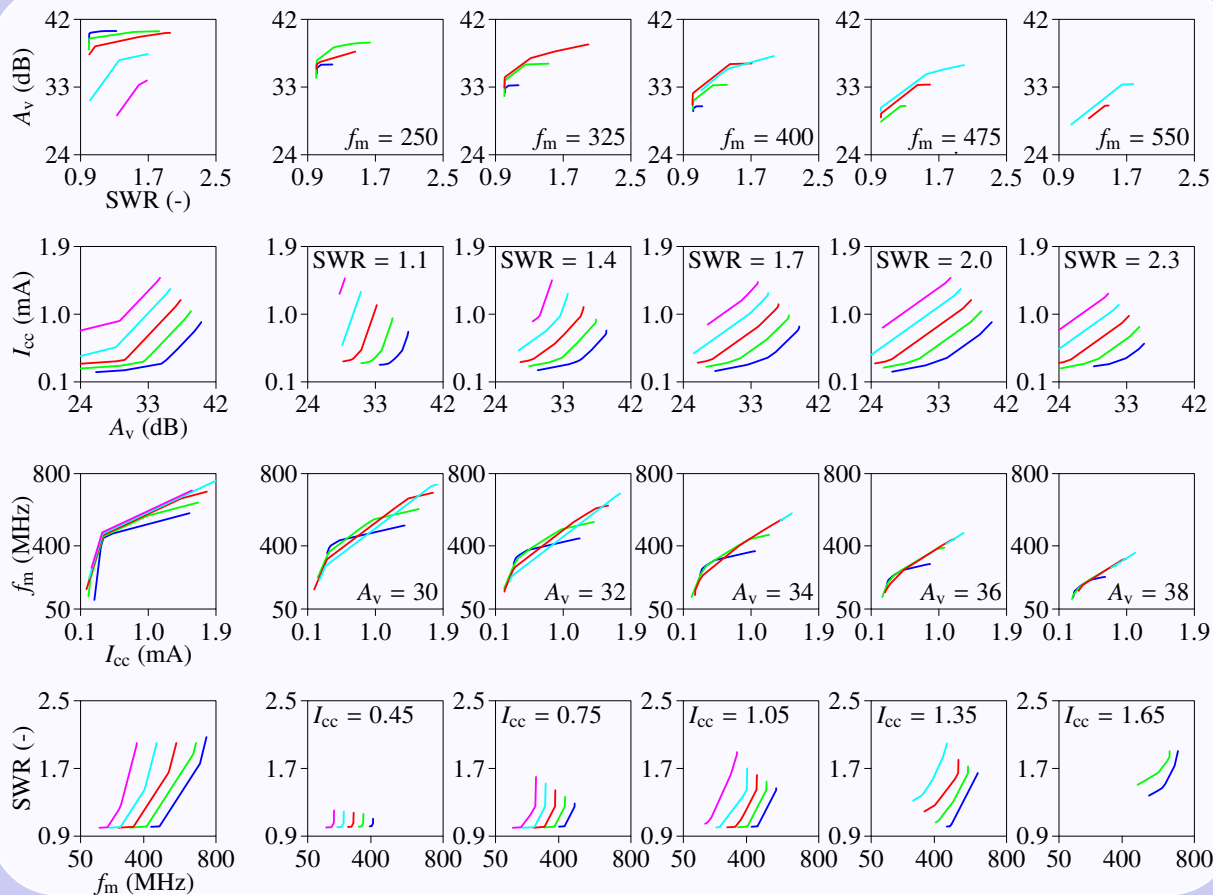
Strana 20 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 21 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Křivky v prvním řádku grafů reprezentují *nepodřadné* body pro proudy

I_{cc} 0.45, 0.75, 1.05, 1.35, a 1.65 mA.

Křivky v druhém řádku grafů reprezentují *nepodřadné* body pro kmitočty

f_m 250, 325, 400, 475 a 550 MHz.

Křivky v třetím řádku grafů reprezentují *nepodřadné* body pro poměr stojatých vln

SWR 1.1, 1.4, 1.7, 2.0 a 2.3.

Křivky v čtvrtém řádku grafů reprezentují *nepodřadné* body pro zesílení

A_v 30, 32, 34, 36 a 38 dB.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 22 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

8. Závěr

- Bylo demonstrováno technicky velmi užitečné použití semiautomatické a posteriori metody založené na asymptoticky rovnoměrném pokrytí referenčního souboru (vede na přibližně rovnoměrné pokrytí Paretovy plochy, což je z uživatelského technického hlediska velmi významné)
- (Formální důkaz rovnoměrnosti pokrytí byl proveden matematickou indukcí v našem článku v Solid-State Electronics².)
- Metoda spolehlivě pracuje v kmitočtové i časové doméně. (Nároky pro výpočty v časové doméně jsou ovšem výrazně větší, úlohy v tomto případě nemohou běžet v reálném čase...)



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 23 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

8. Závěr

- Bylo demonstrováno technicky velmi užitečné použití semiautomatické a posteriori metody založené na asymptoticky rovnoměrném pokrytí referenčního souboru (vede na přibližně rovnoměrné pokrytí Paretovy plochy, což je z uživatelského technického hlediska velmi významné)
- (Formální důkaz rovnoměrnosti pokrytí byl proveden matematickou indukcí v našem článku v Solid-State Electronics².)
- Metoda spolehlivě pracuje v kmitočtové i časové doméně. (Nároky pro výpočty v časové doméně jsou ovšem výrazně větší, úlohy v tomto případě nemohou běžet v reálném čase...)

A to je k úvodu vše, děkuji za pozornost.

²J. Dobeš, J. Míchal, V. Paňko, and L. Pospíšil, “Reliable procedure for electrical characterization of MOS-based devices,” Solid-State Electronics, vol. 54, no. 10, pp. 1173–1184, Oct. 2010.



Osnova

Multiobjektová...

Skalarizace problému

Rovnoměrné pokrytí...

2-D opt.: Nízkošumový...

3-D opt.: Výkonový...

4-D opt.: Video zesilovač

Závěr

Domovská stránka



Strana 23 z 23

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec