Projektovanje elektronskih kola

Prof. dr Predrag Petković,
dr Miljana Milić, docent

Katedra za elektroniku
Elektronski fakultet Niš

Projektovanje elektronskih kola

Sadržaj:

Da se podsetimo

Projektovanje elektronskih kola

Koji su koraci potrebni da bi se projektovala analogna kola?

1. **Naučiti osobine pojedinih analognih kola (pojačavači,...)**
2. **Izabrati pravu topologiju za dati zadatak (strukturno projektovanje).**
3. **Odrediti vrednosti parametara pojedinih komponenata (g_m, otpornost, kapacitivnost,...)**
4. **Proveriti da li smo dobili željeni odziv.**
5. **Ako smo zadovoljni idemo na fizičko projektovanje**

Da se podsetimo

Projektovanje elektronskih kola

Koji su koraci potrebni da bi se projektovala analogna kola?

1. Naučiti osobine pojedinih analognih kola (pojačavači,...)
2. Izabrati pravu topologiju za dati zadatak (strukturno projektovanje).
3. **Odrediti vrednosti parametara pojedinih komponenata (gm, R, C, L...)**
4. **Proveriti da li smo dobili željeni odziv.**
5. **Ako smo zadovoljni idemo na fizičko projektovanje**

Optimizacija elektronskih kola
(2/3)

Da se podsetimo

Cilj:

Odrediti vrednosti parametara kola $\underline{p}=[p_1\ p_2, \dots\ p_n]^T$ koje će garantovati da odziv F(x, p) ima željenu vrednost $F^*(x)$.

Metod:

Traženje minimuma funkcije greške E(x,p); (norma za kvantitativnu procenu odstupanja dobijenog od željenog odziva).

$$E(x,p)= |F(x, \underline{p}) - F^*(x)|$$

E je nelinearna funkcija od $\underline{p}$.

Da se podsetimo

Algoritam optimizacije

1. **Određivanje početnog rešenja**
2. **Izračunavanje funkcije greške**
3. **Provera konvergencije**
4. **Izračunavanje korekcije parametara**
5. **Korekcija vrednosti parametara**

Da se podsetimo

Algoritam optimizacije

1. **Određivanje početnog rešenja: zadavanje početnih vrednosti parametara sa ciljem da se dođe do optimalnog rešenja**
2. **Izračunavanje funkcije greške, E(x,p): to je oblik matematičke norme razlike između željenog odziva, $F^*(x)$, i dobijenog odziva za vrednosti parametara $\underline{p}$, $F(x,\underline{p}^j)$ (npr. srednje kvadratno ostupanje)**

   $E(x, p)=|F^*(x)-F(x,p)|$, generalno je nelinearna funkcija od $\underline{p}$.
3. **Provera konvergencije svodi se na poređenje izračunate greške sa maksimalnom dopuštenom, ali i poređenjem vrednosti koeficejenata osetljivosti, kao i provere maksimalnog dozvoljenog broja iteracija.**

Algoritam optimizacije

4. Izračunavanje korekcije parametara zasnovano je na linearizaciji $E(x, p)$, sa težnjom da u narednoj iteraciji greška bude jednaka nuli:

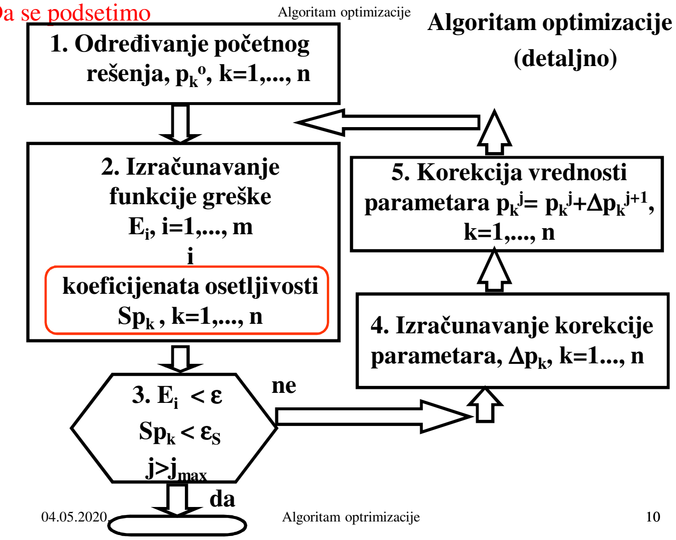
$$E_i = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} (p_k - p_k^j) + \cancel{\frac{1}{2}\left(\sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial^2 E_i}{\partial p_k^2}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot (p_k - p_k^j)\right)^2} + \dots$$

$$E_i^{j+1} = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot (p_k^{j+1} - p_k^j) = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1}$$

$$E_i^{j+1} = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = 0, \qquad i = 1,\dots,m$$

$$\sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = -E_i^j, \qquad i = 1,\dots,m$$

Algoritam optimizacije (detaljno)



Algoritam optimizacije

$$\sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = -E_i^j, \qquad i = 1,\dots,m$$

3. Izračunavanje korekcije parametara

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial E_1}{\partial p_1} & \frac{\partial E_1}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial E_1}{\partial p_n} \\ \frac{\partial E_2}{\partial p_1} & \frac{\partial E_2}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial E_2}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial E_m}{\partial p_1} & \frac{\partial E_m}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial E_m}{\partial p_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta p_1^{j+1} \\ \Delta p_2^{j+1} \\ \vdots \\ \Delta p_n^{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E_1^j \\ -E_2^j \\ \vdots \\ -E_m^j \end{bmatrix}$$

dimenzije sistema (m – jednačina)x(n-promenljivih)
m=broj uslova, n=broj parametara

Algoritam optimizacije

3. Izračunavanje korekcije parametara

$$\sum_{k=1}^{n} \left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = -E_i^j, \qquad i = 1,\dots,m$$

Imajući u vidu da je $E(x, p)=|F^*(x)-F(x,p)|$, a da samo $F(x,p)$ zavisi od p, dok je $F^*(x)$ konstantno, u parcijalnim izvodima javiće se umesto

$$\sum_{k=0}^{n} \frac{\partial E(p)}{\partial p_k} = \sum_{k=0}^{n} \frac{\partial E(p)}{\partial F(p)} \boxed{\frac{\partial F(p)}{\partial p_k}}$$

Recimo za $E(x, p)=F^*(x)-F(x,p)$, $\frac{\partial E(p)}{\partial F(p)}=-1$

$$\sum_{k=0}^{n} \frac{\partial E(p)}{\partial p_k} = -\sum_{k=0}^{n} \boxed{\frac{\partial F(p)}{\partial p_k}}$$

Algoritam optimizacije

3. Izračunavanje korekcije parametara je u tom slučaju:

$$-\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(p)}{\partial p_1} & \cdots & \frac{\partial F_1(p)}{\partial p_k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_m(p)}{\partial p_1} & \cdots & \frac{\partial F_m(p)}{\partial p_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta p_1^j \\ \vdots \\ \Delta p_n^j \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} E_1(p^j) \\ \vdots \\ E_m(p^j) \end{bmatrix}$$

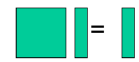
dimenzije sistema (*m* – jednačina)x(*n*-promenljivih)
***m*=broj uslova, *n*=broj parametara**

Algoritam optimizacije

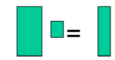
3. Izračunavanje korekcije parametara

Mogući slučajevi

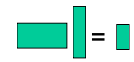
m = n; broj uslova jednak broju parametara



m > n; broj uslova veći od broja parametara
(primer: frekvencijska karakteristika data u velikom broju tačaka, za različito f)



m < n; broj uslova manji od broja parametara
(primer: DC analza dva uslova I_C i V_{CE} a više parametara – R_{b1}, R_{b2}, R_c, R_e)



Tipovi problema optimizacije elektronskih kola

Tipovi problema optimizacije:

- **-Optimizacija u s-ravni**
- **- Optimizacija u frekvencijskom domenu (*m*=*n*)**
- **- Optimizacija u DC domenu (*m*=*n*)**
- **- Optimizacija u frekvencijskom domenu (*m*>*n*) (najmanji *p*-ti stepen, *p*=2)**
- **- Optimizacija u frekvencijskom domenu (Remezov algoritam)**
- **- Optimizacija nelinearnih kola u jednosmernom domenu (*m*<*n*)**
- **- Optimizacija sa ograničenjem**

Tipovi problema optimizacije:

-Optimizacija u s-ravni

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (*m*=*n*)

- Optimizacija u DC domenu (*m*=*n*)

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (*m*>*n*) (najmanji *p*-ti stepen, *p*=2)

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (Remezov algoritam)

- Optimizacija nelinearnih kola u jednosmernom domenu (*m*<*n*)

- Optimizacija sa ograničenjem

Projektovanje u frekvencijskom domenu
broj parametara jednbak broju uslova, *n*=*m*

Primer: Oderditi vrednosti parametara p_1, p_2 i p_3 tako da donja granična frekvencija bude f_d, gornja f_g, a da pojačanje na srednjim frekvencijama $f_n = \sqrt{f_d \cdot f_g}$ bude $a = 20\log|V_o/V_i| = A_n$[dB]

Uslovi: $a_d = 20\log|V_o(f_d)/V_i(f_d)| = 20\log|V_o(f_d)|$; $a_d^* = A_n - 3$[dB]

$a_n = 20\log|V_o(f_n)/V_i(f_n)| = 20\log|V_o(f_n)|$; $a_n^* = A_n$ [dB]

$a_g = 20\log|V_o(f_g)/V_i(f_g)| = 20\log|V_o(f_g)|$; $a_g^* = A_n - 3$[dB]

Projektovanje u frekvencijskom domenu
broj parametara jednbak broju uslova, *n*=*m*

2. Izračunavanje funkcije greške

$E_d = A_n - 3\text{dB} - 20\log|V_o(f_d, p_1, p_2, p_3)|$

$E_n = A_n - 20\log|V_o(f_n, p_1, p_2, p_3)|$

$E_g = A_n - 3\text{dB} - 20\log|V_o(f_g, p_1, p_2, p_3)|$

$E_i = A_i^* - 20\log|V_o(f_i, p_1, p_2, p_3)|, \quad i \in \{d, n, g\}$

$$\sum_{k=1}^{3} \left.\frac{\partial E_i(f_i, \underline{p}^j)}{\partial p_k}\right|_{p_k = p_k^j} \Delta p_k^{j+1} = -E_i(f_i, \underline{p}^j), \quad i \in \{d, n, g\}$$

Projektovanje u frekvencijskom domenu
broj parametara jednbak broju uslova, *n*=*m*

3. Izračunavanje korekcije parametara

$$\sum_{k=1}^{3} -\frac{20}{\ln(10)} \left.\frac{\partial \ln\left|V_o(f_i, \underline{p}^j)\right|}{\partial p_k}\right|_{p_k = p_k^j} \Delta p_k^{j+1} = -A_i^* + 20\log\left|V_o(f_i, \underline{p}^j)\right|,$$

$$\sum_{k=1}^{3} -8.68589\,\mathrm{Re}\left.\left\{\frac{1}{V_o(f_i, \underline{p})} \frac{\partial V_o(f_i, \underline{p}^j)}{\partial p_k}\right\}\right|_{p_k = p_k^j} \Delta p_k^{j+1} =$$

$$= -A_i^* + 20\log\left|V_o(f_i, p^j)\right|, \quad i \in \{d, n, g\}$$

Projektovanje u frekvencijskom domenu
broj parametara jednak broju uslova, *n=m*

3. Izračunavanje korekcije parametara

$$-8.68\mathrm{Re}\left\{\begin{bmatrix} \frac{1}{V_o(f_d,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_d,\underline{p}^j)}{\partial p_1} & \frac{1}{V_o(f_d,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_d,\underline{p}^j)}{\partial p_2} & \frac{1}{V_o(f_d,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_d,\underline{p}^j)}{\partial p_3} \\ \frac{1}{V_o(f_n,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_n,\underline{p}^j)}{\partial p_1} & \frac{1}{V_o(f_n,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_n,\underline{p}^j)}{\partial p_2} & \frac{1}{V_o(f_n,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_n,\underline{p}^j)}{\partial p_3} \\ \frac{1}{V_o(f_g,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_g,\underline{p}^j)}{\partial p_1} & \frac{1}{V_o(f_g,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_g,\underline{p}^j)}{\partial p_2} & \frac{1}{V_o(f_g,\underline{p})}\frac{\partial V_o(f_g,\underline{p}^j)}{\partial p_3} \end{bmatrix}\right\} \begin{bmatrix} \Delta p_1^{j+1} \\ \Delta p_2^{j+1} \\ \Delta p_3^{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_n + 3dB + 20\log\left|V_o(f_d,p^j)\right| \\ -A_n + 20\log\left|V_o(f_n,p^j)\right| \\ -A_n + 3dB + 20\log\left|V_o(f_g,p^j)\right| \end{bmatrix}$$

Projektovanje u frekvencijskom domenu
broj parametara jednbak broju uslova, *n=m*

4. Provera konvergencije

5. Korekcija vrednosti parametara

$$p_k^{j+1} = p_k^j + h_k \Delta p_k^{j+1} \qquad k = 1, 2, 3.$$

$$0 < h_k \le 1$$

Algoritam optimizacije

Tipovi problema:

-Optimizacija u s-ravni

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (*m=n*)

- Optimizacija u DC domenu (*m=n*)

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (m>n) (najmanji p-ti stepen, p=2)

- Optimizacija u frekvencijskom domenu (Remezov algoritam)

- Optimizacija nelinearnih kola u jednosmernom domenu (m<n)

- Optimizacija sa ograničenjem

Oprimizacija u DC domenu; broj parametera jednak broju usova

1. Određivanje početnog rešenja

2. Izračunavanje funkcije greške

3. Provera konvergencije

4. Izračunavanje korekcije parametara

5. Korekcija vrednosti parametara

3. Izračunavanje korekcije parametara

Razvoj funkcije $E_i(\underline{p})$ u red i zadržavanje na linearnom članu:

$$E_i = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \frac{\partial E_i}{\partial p_k}\bigg|_{p_k=p_k^j} (p_k - p_k^j) + \cancel{\frac{1}{2}\left(\sum_{k=1}^{n} \frac{\partial^2 E_i}{\partial p_k^2}\bigg|_{p_k=p_k^j} \cdot (p_k - p_k^j)\right)^2} + \ldots$$

$$E_i^{j+1} = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \frac{\partial E_i}{\partial p_k}\bigg|_{p_k=p_k^j} \cdot (p_k^{j+1} - p_k^j) = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \frac{\partial E_i}{\partial p_k}\bigg|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1}$$

$$E_i^{j+1} = E_i^j + \sum_{k=1}^{n} \frac{\partial E_i}{\partial p_k}\bigg|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = 0, \qquad i = 1,\ldots,m$$

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{\partial E_i}{\partial p_k}\bigg|_{p_k=p_k^j} \cdot \Delta p_k^{j+1} = -E_i^j, \qquad i = 1,\ldots,m$$

Da se podsetimo

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial E_1}{\partial p_1} & \dfrac{\partial E_1}{\partial p_2} & \cdots & \dfrac{\partial E_1}{\partial p_n} \\ \dfrac{\partial E_2}{\partial p_1} & \dfrac{\partial E_2}{\partial p_2} & \cdots & \dfrac{\partial E_2}{\partial p_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dfrac{\partial E_m}{\partial p_1} & \dfrac{\partial E_m}{\partial p_2} & \cdots & \dfrac{\partial E_m}{\partial p_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta p_1^{j+1} \\ \Delta p_2^{j+1} \\ \vdots \\ \Delta p_n^{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E_1^j \\ -E_2^j \\ \vdots \\ -E_m^j \end{bmatrix}$$

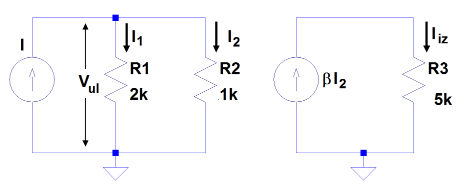
dimenzije sistema (m – jednačina)x(n-promenljivih)
m=broj uslova, n=broj parametara

m=n

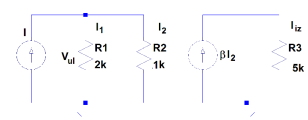
Opisati postupak za optimizaciju vrednosti struje strujnog generatora *I* i parametra β u kolu sa slike, tako da napon V_{ul}^*=10V i I_{iz}^*=200mA. Za početne vrednosti uzeti I^0=30mA i β^0=15.
Izračunati vrednost funkcije greške definisane kao relativno srednjekvadratno odstupanje u nultoj i posle prve iteracije.

V_{ul}^*=10V
I_{iz}^*=200mA.

I^0=30mA
β^0=15.



Rešenje



V_{ul}^*=10V
I_{iz}^*=200mA.

I^0=30mA
β^0=15.

Potrebno je odrediti funkcije greške koje se odnose na dva tražena odziva: V_{ul} i I_{iz} i izraziti ih preko traženih parametara, struje generatora, I, i parametra strujom kontrolisanog strujnog generatora, β.

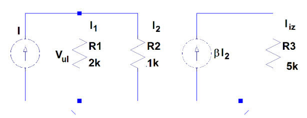
$$\boxed{E_1 = V_{ul}^* - V_{ul}} \qquad V_{ul} = \boxed{I}\ \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\boxed{}$$

$$\boxed{E_2 = I_{iz}^* - I_{iz}} \qquad I_{iz} = \boxed{\beta}\ I_2$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

$$I_{iz} = \beta\ I_2 = \boxed{\beta}\frac{R_1}{R_1 + R_2}\boxed{I}$$

Rešenje



V_{ul}^*=10V
I_{iz}^*=200mA.

I^0=30mA
β^0=15.

Funkcija greške definisana kao srednjekvadratno odstupanje u nultoj iteraciji:

$$E^0=\sqrt{\left(\frac{E_1^0}{V_{ul}^*}\right)^2+\left(\frac{E_2^0}{I_{iz}^*}\right)^2}$$

$$E_1^0 = V_{ul}^* - V_{ul}^0$$

$$E_2^0 = I_{iz}^* - I_{iz}^0$$

$$V_{ul}^0 = V_{ul}(I^0,\beta^0) = I^0\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

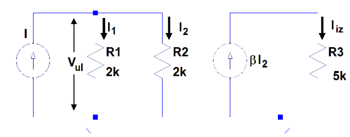
$$= 30mA\cdot\frac{2}{3}k = 20V$$

$$I_{iz}^0 = I_{iz}(I^0,\beta^0) = \beta^0 I_2^0$$

$$I_2^0 = \frac{R_1}{R_1+R_2}I^0 = \frac{2}{3}30mA = 20mA$$

$$I_{iz}^0 = \beta^0 I_2^0 = 15\cdot 20mA = 300mA$$

Rešenje



V_{ul}^*=10V
I_{iz}^*=200mA.

I^0=30mA
β^0=15.

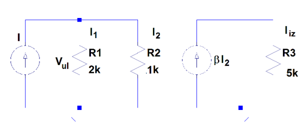
Funkcija greške definisana kao srednjekvadratno odstupanje u nultoj iteraciji:

$E_1^0 = V_{ul}^* - V_{ul}^0$=10V-20V=-10V

$E_2^0 = I_{iz}^* - I_{iz}^0$=200mA-300mA=-100mA

$$E^0=\sqrt{\left(\frac{E_1^0}{V_{ul}^*}\right)^2+\left(\frac{E_2^0}{I_{iz}^*}\right)^2}=\sqrt{\left(\frac{-10}{10}\right)^2+\left(\frac{-100}{200}\right)^2}=\sqrt{(-1)^2+(-0.5)^2}=$$

$$E^0=\sqrt{1{,}25}=1{,}12$$



V_{ul}^*=10V
I_{iz}^*=200mA.

I^0=30mA
β^0=15.

Izračunavanje priraštaja parametara ΔI i Δβ:

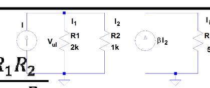
$$\sum_{k=1}^{n}\left.\frac{\partial E_i}{\partial p_k}\right|_{p_k=p_k^j}\cdot\Delta p_k^{j+1} = -E_i^j,\qquad i=1,\dots,m$$

Primenjeno na konkretan slučaj ΔI i Δβ:

$$\left.\frac{\partial E_1}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta I^1+\left.\frac{\partial E_1}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta \beta^1 = -E_1^0 = -(V_{ul}^*-V_{ul}^0)$$

$$\left.\frac{\partial E_2}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta I^1+\left.\frac{\partial E_2}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta \beta^1 = -E_2^0 = -(I_{iz}^*-I_{iz}^0)$$

Rešenje



$$V_{ul} = I\ \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

$$I_{iz} = \beta\ \ I_2\ = \beta\frac{R_1}{R_1+R_2}I$$

$$\boxed{\frac{\partial E_1}{\partial I} = -\frac{\partial V_{ul}}{\partial I} = -\frac{R_1R_2}{R_1+R_2} = -\frac{2}{3}k}$$

$$\boxed{\frac{\partial E_1}{\partial \beta} = -\frac{\partial V_{ul}}{\partial \beta} = 0V}$$

$$\frac{\partial E_2}{\partial I} = -\frac{\partial I_{iz}}{\partial I} = -\frac{R_1}{R_1+R_2}\beta$$

$$\boxed{\left.\frac{\partial E_2}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}} = -\frac{R_1}{R_1+R_2}\beta^0 = -\frac{2}{3}15 = -10}$$

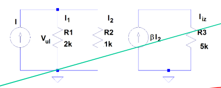
$$\frac{\partial E_2}{\partial \beta} = -\frac{\partial I_{iz}}{\partial \beta} = -\frac{R_1}{R_1+R_2}I$$

$$\boxed{\left.\frac{\partial E_2}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}} = \frac{R_1}{R_1+R_2}I^0 == -\frac{2}{3}30mA = -20mA}$$

Rešenje

Algoritam optimizacije

V_{ul}^{*}=10V
I_{iz}^{*}=200mA.
I^0=30mA
β^0=15.



$$\left.\frac{\partial E_1}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta I^1+\left.\frac{\partial E_1}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta\beta^1=-E_1^0=-(V_{ul}^{*}-V_{ul}^{0})=10\text{V}$$

$$\left.\frac{\partial E_2}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta I^1+\left.\frac{\partial E_2}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}\Delta\beta^1=-E_2^0=-(I_{iz}^{*}-I_{iz}^{0})=100\text{mA}$$

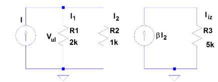
$$\frac{\partial E_1}{\partial I}=-\frac{2}{3}k\Omega \qquad \frac{\partial E_1}{\partial \beta}=0V$$

$$\left.\frac{\partial E_2}{\partial I}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}=-10 \qquad \left.\frac{\partial E_2}{\partial \beta}\right|_{\substack{I=I^0\\ \beta=\beta^0}}=-20mA$$

$$-\frac{2}{3}k\Omega\cdot\Delta I^1+0\cdot\Delta\beta^1=10\text{V}$$
$$-10\cdot\Delta I^1+(-20mA)\Delta\beta^1=100\text{mA}$$

$$\boxed{\Delta I^1=-15mA \quad \Delta\beta^1=2{,}5}$$

Rešenje



V_{ul}^{*}=10V
I_{iz}^{*}=200mA.
I^0=30mA
β^0=15.

Izračunavanje novih vrenosti parametara:

$I^1=I^0+\Delta I^1$=30mA-15mA=15mA

$\beta^1=\Delta\beta^0+\Delta\beta^1$=15+2,5=17,5

Izračunavanje novih vrenosti odziva:

$$V_{ul}^1=V_{ul}(I^1,\beta^1)=I^1\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=15mA\cdot\frac{2}{3}k\Omega=10V$$

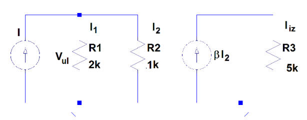
$$I_{iz}^1=I_{iz}(I^1,\beta^1)=\beta^1 I_2^1$$

$$I_2^1=\frac{R_1}{R_1+R_2}I^1=\frac{2}{3}15mA=10mA$$

$$I_{iz}^1=\beta^1 I_2^1=17{,}5\cdot 10mA=175mA$$

Rešenje

Algoritam optimizacije



V_{ul}^{*}=10V
I_{iz}^{*}=200mA.
I^0=30mA
β^0=15.

Funkcija greške definisana kao srednjekvadratno odstupanje posle prve iteracije:

$$E^1=\sqrt{\left(\frac{E_1^1}{V_{ul}^{*}}\right)^2+\left(\frac{E_2^1}{I_{iz}^{*}}\right)^2}$$

$$E_1^1=V_{ul}^{*}-V_{ul}^1=10V-10V=0V$$

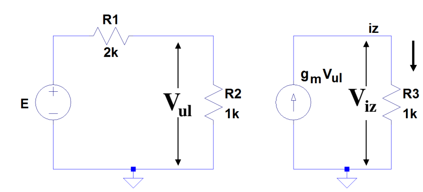
$$E_2^1=I_{iz}^{*}-I_{iz}^1=200mA-175mA=25mA$$

$$E^1=\sqrt{\left(\frac{0}{10}\right)^2+\left(\frac{25mA}{200mA}\right)^2}=\sqrt{(0)^2+(0{,}125)^2}=\boxed{0{,}125<1{,}25=E^0}$$

Algoritam optimizacije

Opisati postupak za optimizaciju vrednosti struje naponskog generatora *E* i parametra g_m u kolu sa slike, tako da napon V_{ul}^{*}=3V i V_{iz}^{*}=10V.
Za početne vrednosti uzeti E^0=12V i g_m^0=40mS.
Izračunati vrednost funkcije greške definisane kao relativno srednjekvadratno odstupanje u nultoj i posle prve iteracije.

V_{ul}^{*}=3V
V_{iz}^{*}=10V.
E^0=12V
g_m^0=5mS.



PRVI student koji pošalje tačno rešenje ovog zadatka na
predrag.petkovic@elfak.ni.ac.rs
Dobiće ocenu 10 iz oblasti optimizacija i oslobađa se obaveze da radi seminarski/kolokvijum iz ove oblasti

Optimizacija sa ograničenjem vrednosti parametara

Cilj: Vrednosti parametara, p, da budu pozitivne $p > 0$

Metod: p se transformiše preko funkcije od q, $p = \mathrm{f}(q)$, koja ima pozitivnu vrednost za bilo koje q:

$p = \mathrm{f}(q) = e^q$,

$p = \mathrm{f}(q) = q^2$

Optimizacija se obavlja po q *(može biti i pozitivno i negativno)*, a onda se izračuna p, i dobije se $p > 0$.

Neophodno je da se nađe koeficijent osetljivosti odziva F na q. On se izračunava po pravilu određivanja izvoda složene funkcije:

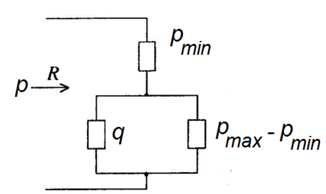
$$S_q = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial q} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{p}}\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial q} = S_p \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial q} = \begin{cases} S_p e^q \\ 2S_p q \end{cases}$$

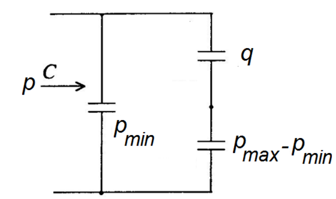
Optimizacija sa ograničenjem vrednosti parametara

Cilj: Vrednosti parametara u opsegu: $p_{min} < p < p_{max}$

Metod: Uvođenje transformacija $p(q)$ koja ima takvu osobinu; analogija sa ekvivalentnim otpornim ili kapacitivnim kolom:

$$p = p_{min} + \frac{q(p_{max} - p_{min})}{q + (p_{max} - p_{min})}$$

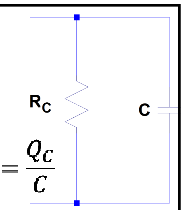




Optimizacija sa ograničenjem vrednosti parametara

Ograni-čenja $C(p_i)$	Transformacije $\varphi(q_i)$
$p_i \geq 0$	$p_i = q_i^2$ $p_i = \exp(q_i)$ $p_i = \lvert q_i \rvert$
$0 \leq p_i \leq u_i$	$p_i = u_i \sin^2(q_i)$ $p_i = u_i \cdot \exp(q_i)/[\exp(q_i)+1]$
$p_i \geq l_i$	$p_i = l_i + q_i^2$ $p_i = l_i + \exp(q_i)$ $p_i = l_i + \lvert q_i \rvert$
$l_i \leq p_i \leq u_i$	$p_i = l_i + (u_i - l_i)\sin^2(q_i)$ $p_i = l_i + (u_i - l_i) \cdot \exp(q_i)/[\exp(q_i)+1]$ $p_i = \{l_i + u_i + (u_i - l_i) \cdot \sin(q_i)\}/2$

Optimizacija sa ograničenjem – Postoji korelacija vrednosti dva parametra



Gubici kondenzatora izraženi kroz paralelnu otpornost zavise od kvaliteta kondenzatora Q_C i C. $R_C = \frac{Q_C}{C}$

Priraštaj ΔR_C ne može da se traži nezavisno od C, već se uzima u obzir korelacija i izražava ΔR_C preko ΔC.

$$\frac{\partial F}{\partial R_C}\Delta R_C = \frac{\partial F}{\partial R_C}\frac{\partial R_C}{\partial C}\Delta C = \frac{\partial F}{\partial R_C}\left(-\frac{Q_C}{C^2}\right)\Delta C$$

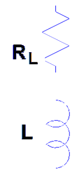
U ukupnoj sumi javiće se doprinosi uz ΔC od kapacitivnosti i od otpornosti R_C:

$$\frac{\partial F}{\partial C}\Delta C + \frac{\partial F}{\partial R_C}\Delta R_C = \frac{\partial F}{\partial C}\Delta C + \frac{\partial F}{\partial R_C}\left(-\frac{Q_C}{C^2}\right)\Delta C = \left(\frac{\partial F}{\partial C} + \frac{\partial F}{\partial R_C}\left(-\frac{Q_C}{C^2}\right)\right)\Delta C$$

Optimizacija sa ograničenjem –
Postoji korelacija vrednosti dva parametra

Gubici kalema izraženi kroz rednu otpornost zavise od kvaliteta kalema Q_L i induktivnosti.

$$R_L = \frac{Q_L}{L}$$



Priraštaj ΔR_L ne može da se traži nezavisno od L, već se uzima u obzir korelacija i izražava ΔR_L preko ΔL.

$$\frac{\partial F}{\partial R_L}\Delta R_L = \frac{\partial F}{\partial R_L}\frac{\partial R_L}{\partial L}\Delta L = \frac{\partial F}{\partial R_L}\left(-\frac{Q_L}{L^2}\right)\Delta L$$

U ukupnoj sumi javiće se doprinosi uz ΔL od induktivnosti i od otpornosti R_L:

$$\frac{\partial F}{\partial L}\Delta L + \frac{\partial F}{\partial R_L}\Delta R_L = \frac{\partial F}{\partial L}\Delta L + \frac{\partial F}{\partial R_L}\left(-\frac{Q_L}{L^2}\right)\Delta L = \left(\frac{\partial F}{\partial L} + \frac{\partial F}{\partial R_L}\left(-\frac{Q_L}{L^2}\right)\right)\Delta L$$

Osim opisanog algoritma, postoji mnogo naprednih agoritama za optimizaciju zasnovanih na kopiranju prirodnih procesa koji dovode do boljih rešenja:

- Simulirano očvršćavanje, *Simulated annealing*

Simulira se proces prelaska metala iz tečnog u čvrsto stanje (kompaktni raspored atoma) tokom hlađenja.

- Simulirana evolucija, odabir vrsta, *Genetic algorithms, Simulated evolution,…*

Suština je da se ne bira samo najbolje rešenje posle svake iteracije, već se izabere više rešenja:

Npr. Iz jedna populacije odredi se koliko će “preživeti” (po određenim kriterijumima). Njima se dozvoli da generišu novu populaciju, koja preuzima osobine (gene) roditelja, uz dozvoljenu genetsku modifikaciju…

Simulirano očvršćavanje

Introductory Overview of Simulated Annealing
https://www.youtube.com/watch?v=tdsTfZMqAxw
Simulated Annealing - (An Artificial Intelligence Optimization Algorithm)
https://www.youtube.com/watch?v=S9vs05eAGN0
Primer:
https://www.youtube.com/watch?v=iaq_Fpr4KZc

Simulirana evolucija:
Simulated Evolution of a Simple Car Using a Genetic Algorithm
https://www.youtube.com/watch?v=Xe_euHneE0I
Genetic Algorithm: Continuous Evolutionary System - The Nature of Code
https://www.youtube.com/watch?v=Sx_l2GxBC5w

- Za dalje istraživanje o oblate optimizacije možete pretražiti internet:

- Ivan Zelinka,Vaclav Snasel, Ajith Abraham: Handbook of Optimization, https://core.ac.uk/download/pdf/153409843.pdf
- A. Astolf, OPTIMIZATION An introduction http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/7288263.PDF

Više detalja o optimizaciji biće u okviru kursa, Simulacija i optimizacija elektronskih kola,

3MEM1A12, na master studijama.

Algoritam optimizacije

Šta treba da znamo?

Elementarno (za potpis)

Cilj optimizacije?

Osnovna (za 6)

1. **Koraci u algoritmu optimizacije?**
2. **Kako se definiše koeficijent osetljivosti odziva na promenu parametra kola?**

Algoritam optimizacije

Šta treba da znamo?

Ispitna pitanja

a) **Postupak optimizacije u frekvencijskom domenu broj parametara = broju uslova.**

b) **Postupak optimizacije u DC domenu broj parametara = broju uslova.**

c) **Optimizacija sa ograničenjem vrednosti parametara**

d) **Optimizacija sa korelisanim parametrima.**