KASKAD BAĞLI DEVRELERİN YENİ BİR YÖNTEMLE DUYARLILIK ANALİZİ:BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Filiz GÜNEŞ[1] **Serhat ALTUNÇ**[2]

[1,2]Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi,80750,Beşiktaş,İstanbul

[1]e-posta:gunes@yildiz.edu.tr [2] e-posta: saltunc@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler:Duyarlılık,Gradyant,Kazanç, Uydurma Devreleri,KarakteristikEmpedans

ABSTRACT

A simplified method for the gain sensitivities of a cascaded two-port circuit is presented .This method is applied to the gain sensitivities of a single-stage amplifier with respect to the distributed parameters of the front- and back-end matching circuits.Thus analytical formulas are derived to calculate first- and second- order sensitivities directly rather than using a computer-time intensive perturbation method. Numerical results for a single-stage amplifier with T-type configured matching circuits are given to illustrate the advantages of the proposed technique.

1. DUYARLILIK VE ÖNEMİ

Bir elektrik devresi tasarımının önemli bir problemi elektrik ve gürültü performansının optimize edilmesidir.Verimli gradyant-temelli optimizasyon metodları,devre duyarlılıklarının hesaplanmasını talep ederler. Ayrıca,kullanılan sentez yönteminden sonuçlanan nominal değerlerle yapılmış bir devre tasarımı idealize edilmiş belirli bir durumdur.Oysa bir mikrodalga devresinin realistik bir biçimde tasarımında , devre parametrelerinin imalat (toleranslar),yaşlanma yada çevresel faktörler (örneğin sıcaklık) gibi nedenlerle değişebileceği hesaba katılmalıdır.

Tolerans analizi, idealleştirilmiş bir devre modelinin “ürün imal etme” sürecine dönüştürülme ihtiyacı ile geliştirilmiştir ve amaç, imal edilen devrelerin kalitesini kestirebilmektir.Tolerans analizi , gerek deterministik ve gerekse istatistiksel temeller üzerine yapılsın,her iki halde de,”duyarlılık” kavramına gereksinim duyulur.

Duyarlılık temel olarak ,türetilebilir bir f fonksiyonunun bir p parametresine göre türevidir:

$$D_p(f)=\frac{\partial f}{\partial p} \tag{1}$$

Genel bir çerçeve içinde “duyarlılık” problemini ele alırsak , n reel değişkenin (Devre Parametresi) ve m devre fonksiyonunun F_i (Devre Fonsiyonu) oluşturduğu iki vektör kümesini ele almalıyız:

$$\mathbf{F}(\mathbf{p}) = [F_1(\mathbf{p}), F_2(\mathbf{p}), \ldots\ldots\ldots .F_m(\mathbf{p})]^T \tag{2}$$

$$\mathbf{p} = [p_1, p_2, \ldots\ldots\ldots, p_n]^T \tag{3}$$

Ayrıca,devrenin fiziksel tasarım parametre vektörü $\mathbf{P}^0$ ‘nominal parametre’ vektörü diye adlandırılacaktır:

$$\mathbf{p}^0 = [p_1^{\,0}, p_2^{\,0} \ldots\ldots\ldots\ldots p_n^{\,0}]^T \tag{4}$$

Buna göre $\mathbf{p}$ devre parametre vektörü ,

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}^0 + \Delta\mathbf{p} \tag{5}$$

olarak bileşenlerine ayrılabilir; burada $\Delta\mathbf{p}$,devre parametreleri diferansiyel değişim vektörüdür:

$$\Delta\mathbf{p} = [\Delta p_1, \Delta p_2 \ldots\ldots\ldots\ldots \Delta p_n]^T \tag{6}$$

Bir devre fonksiyonu F in , bir $\mathbf{p} = \mathbf{p}^0 + \Delta\mathbf{p}$ devre parametre vektörü için değeri ,Taylor seri açılımının ilk iki terimi yaklaşıklığı alınarak $F(\mathbf{p}^0)$ cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$F(\mathbf{p}) \approx F(\mathbf{p}^0) + \nabla^T F(\mathbf{p}^0)\Delta\mathbf{p} + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{p}^T H(\mathbf{p}^0)\Delta\mathbf{p} \tag{7}$$

burada $\nabla F(\mathbf{p}^0)$, F devre fonsiyonunun gradyantının $\mathbf{p} = \mathbf{p}^0$ daki değeridir

$$\nabla F(\mathbf{p}^0) \stackrel{\Delta}{=} \left[\frac{\partial F(\mathbf{p}^0)}{\partial p_1}, \frac{\partial F(\mathbf{p}^0)}{\partial p_2}, \ldots\ldots, \frac{\partial F(\mathbf{p}^0)}{\partial p_n} \right]^T \quad (8)$$

$\mathbf{H}(\mathbf{p}^0)$, bir Hessian matrisidir :

$$\mathbf{H}(\mathbf{p}^0) \stackrel{\Delta}{=} \left[\frac{\partial^2 F(\mathbf{p}^0)}{\partial p_i \partial p_j} \right], \quad i,j=1,2,..n \quad (9)$$

Buna göre istatistiksel ortalama ve varyans gibi tolerans analizinin temel istatistiksel kavramları ,"Duyarlılık" kullanarak ifade edilebilir

$$E\left[F(\mathbf{p}^0) \right] \stackrel{\Delta}{=} F(\mathbf{p}^0) = F(\mathbf{p}^0) = F^0 \quad (10)$$

Çünkü $E(\mathbf{p}^0) = \mathbf{p}^0, E\left[\nabla^T F.\Delta\mathbf{p}\right] = 0$ dır

$$\upsilon ar\left[F(\mathbf{p})\right] \stackrel{\Delta}{=} E\left[F(\mathbf{p}) - F^0\right]^2 \approx \nabla^T F \mathbf{K}^p \nabla F \quad (11.1)$$

Burada $\mathbf{K}^p \stackrel{\Delta}{=} \left[Co\upsilon(p_i p_j)\right] = \left[K_{ij}{}^p\right]$ kovaryans matrisidir. $\upsilon ar\left[F(\mathbf{p})\right]$ daha açık bir şekilde aşağıdaki gibi yazılabillir:

$$\upsilon ar\left[F(\mathbf{p})\right] \approx \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial p_i}\bigg|_{p=\mathbf{p}^0} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial p_j}\bigg|_{p=\mathbf{p}^0} K_{ij}{}^p \quad (11.2)$$

Burada bir F devre fonksiyonu için ,devre parametre vektörünün $\mathbf{p}^0$ nominal değeri civarında $\Delta\mathbf{p}$ kadar değişiminden dolayı yapılan yeni değer ve sonuçlarının analizi, m tane F devre fonsiyonundan oluşan $\mathbf{F}$ matrisine de kolaylıkla genişletilebilir. Dolayısı ile, görüldüğü gibi bir devrenin istatistiksel yada deterministik bazdaki tolerans analizi tamamen 'duyarlılık' fonksiyonlarını kullanarak yapılmaktadır. Literatürde mikrodalga devrelerinin "Duyarlılık Analizi" genellikle, "dalga" yaklaşımına dayandırılmıştır.Buna karşın son on yılda ,"Gürültü" duyarlılığı analizi "Düğüm" yaklaşımı ile yapılmıştır[1],[2],[3].Bu çalışmada duyarlılık analizi "kara kutu" yaklaşımına dayandırılmış,bilgisayar ile doğrudan hesaplanmak üzere analitik formüller elde edilmiştir . [4] teki çalışmada gürültü , giriş VSWR ve çıkış VSWR performanslarının , problem iki-kapılının belirli empedanslarla sonlandırıldığı haldeki kazancı cinsinden ifade edilebileceği gösterilmiştir; buna göre kazanç temel büyüklük alınarak bu çalışmada kazanç duyarlılıkları elde edilecektir.

.

Bu duyarlılık fonsiyonları ,devrede aktif yada pasif herhangi bir eleman parametresine göre türevleri içerebilmektedir .Düşük gürültülü , yüksek kazançlı ve düşük giriş VSWR lı aktif devrelerin bilgisayar ile tasarımında da , performans fonksiyonlarının duyarlılıklarının analitik ifadeleri ,bu fonksiyonların bilgisayar ile perturbasyon metodu ile hesaplanmasındaki zorlukları ortadan kaldırıp, hızı arttırır.

2. M-KASKAD BAĞLI İKİ - KAPILIDAN OLUŞAN BİR DEVRENİN KAZANÇ DUYARLILIKLARI

M kaskad bağlı iki-kapılı devrenin transdüser kazancı G_T , n. bileşen devrenin $\mathbf{P_n}$ parametrelerine göre duyarlılık fonksiyonlarını elde edebilmek amacıyla a aşağıdaki şekilde faktörize edilebilir :

$$G_T = G_{A(n-1)} . G_{Tn} . G_{p(m-n)} \quad (12)$$

Burada $G_{A(n-1)}$ ve $\mathbf{G}_{\mathbf{p(m-n)}}$ n. iki –kapılı devre parametreleri $\mathbf{P_n}$ den tamamen bağımsız olup,sırası ile ilk (n-1) katın "elde edilebilir " ve son (m-n) katın "çalışma" kazançları çarpımına eşittir:

$$\mathbf{G_A} = \prod_{i=1}^{n-1} G_{A_i} \quad (13.1)$$

$$\mathbf{G_p} = \prod_{i=n+1}^{m} G_{p_i} \quad (13.2)$$

(16) da $G_{T\,n}$, iki- kapılı devrenin transduser kazancı olup ,devre parametre $\mathbf{P_n}$ nin fonksiyonudur :

$$G_{T_n} = G_{T_n}(\mathbf{p_n})$$

$$\mathbf{p_n} = \left[p_{n1} p_{n2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots p_{nk}\right]^T \quad (13.3)$$

Buna göre ,m kaskad bağlı devrenin toplam transdüser güç kazancı G_T nin n. devre parametresi p_{nj} ye göre duyarlılığı:

$$\frac{\partial G_T}{\partial p_{nj}} = G_{A(n-1)} \cdot \frac{\partial G_{Tn}}{\partial p_{nj}} G_{p(m-n)} \quad \text{dır} \qquad (14)$$

Buna göre G_T nın duyarlılık matrisi , kxm boyutunda bir matristir:

$$\mathbf{DG_T} = \left[\nabla \mathbf{G_T(p_1)}, ... \nabla \mathbf{G_T(p_n)} .. \nabla \mathbf{G_T(p_m)}\right]^T \quad (15)$$

Burada

$$\nabla \mathbf{G_T(p_n)} = \left[\frac{\partial G_T}{\partial p_{n1}}, \frac{\partial G_T}{\partial p_{n2}}, .., \frac{\partial G_T}{\partial p_{nj}}, \frac{\partial G_T}{\partial p_{nk}}\right]^T \quad (16)$$

dır ve $\frac{\partial G_T}{\partial p_{nj}}$ (14) ile verildiği biçimde elde edilebilir.

3.UYGULAMA:BİR KUVVETLENDİRİCİNİN DAĞILMIŞ PARAMETRELİ UYDURMA DEVRELERİNE GÖRE DUYARLILIĞI

Şekil 1 deki ,seri ve sonu kısa devre edilmiş yan hat ,dağılmış parametreli elemanlarının T-ya da π - konfigürasyonlarının oluşturdukları giriş ve çıkış uydurma devreleri ile bir mikrodalga kuvvetlendiricisini ele alıp , toplam G_T kazancının hat fiziksel uzunlukları ℓ_i ile ve karakteristik empedansı Z_{oi} , i=1,...,6 ya göre duyarlılık fonksiyonları elde edelim.Buna göre bir devrenin **p** parametre vektörü ve ∇ gradyant operatörü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\mathbf{P} = [\ell_1, \ell_2, ..., \ell_6, Z_{o1}, Z_{o2} ...... Z_{o6}]^T \qquad (17)$$

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial \ell_1}, ..., \frac{\partial}{\partial \ell_6}, \frac{\partial}{\partial Z_{01}}, ..., \frac{\partial}{\partial Z_{06}}\right]^T \qquad (18)$$

herbir dağılmış parametreli elemanı ,bir iki-kapılı ile karakterize edip ve (14) ilişkisini kullanarak ,n. iki kapılı devresinin p_{nj} parametresine göre $D_{p_{nj}}(G_T)$ duyarlılık fonksiyonu elde edilebilir.Buna göre ,aşağıda seri-ve yan hattın – iki-kapılı ile karekterizasyonu ve $\frac{\partial G_T}{\partial p_{nj}}$ fonksiyonu ele alınacaktır.

3.1 Bir Seri Hattın Kazanç Duyarlılıkları

$$G_T = \frac{4.R_s.R_L}{P} \qquad (19)$$

$$P = \left|AZ_L + B + (CZ_L + D)\right| \qquad (20)$$

R_S=Real Z_S , R_L=ReaL Z_L
A=cosβL , B=JZ_0sinβL , C=jsinβL/Z_o,D=cosβL

ABCD Parametrelerini (19),(20) yerine koyalım:

$$\frac{\partial G_T}{\partial Z_0} = -\frac{4R_S R_L}{P^2}.2(Z_0 - \frac{S_2}{Z_O{}^3})\sin^2 \beta L$$

$$(S_4 + \frac{S_5}{Z_0{}^2})\sin 2\beta L \qquad (21)$$

$$\frac{\partial G_T}{\partial L} = -\frac{4R_S R_L}{P^2}\beta(\frac{S_2}{Z_O{}^2} + Z_0{}^2 - S^3)\sin 2\beta L +$$

$$2(Z_0 S_4 - \frac{S_5}{Z_0})\cos 2\beta L \qquad (22)$$

$$P = S_1 + (S_2/Z_0{}^2 - S_3)\sin^2\beta L + (Z_0 S_4 - S_5 Z_0)\sin 2\beta L \qquad (23)$$

$$S_1 = |Z_L|^2 + |Z_S|^2 + 2(R_S R_L + X_S X_L)$$

$$S_2 = |Z_L|^2 . |Z_S|^2$$

$$S_3 = 4X_S X_L + |Z_L|^2 + |Z_S|^2$$

$$S_4 = X_L + X_S$$

$$S_5 = X_S |Z_L|^2 + X_L |Z_S|^2$$

3.2 Bir Kısa - Devre Hattın Kazanç Duyarlılıkları

A=1 , B=0 , C=-J/Z_0tgβL , D =1

ABCD Parametrelerini (19),(20) yerine koyalım:

$$\frac{\partial \mathbf{G_T}}{\partial \mathbf{Z_0}} = \frac{\mathbf{4R_S R_L}}{\mathbf{P^2}} \cdot \frac{\mathbf{2}}{\mathbf{Z_0{}^2 tg\beta\ell}} (\frac{\mathbf{T_2}}{\mathbf{Z_0 tg\beta\ell}} + \mathbf{T_3}) \quad (24)$$

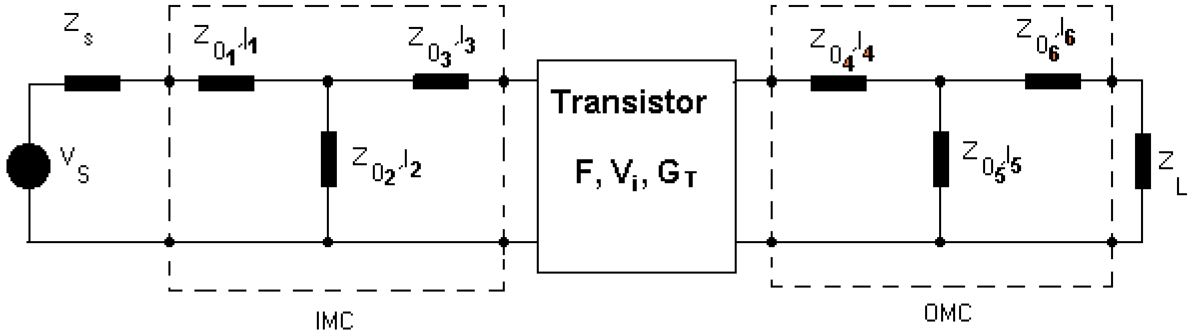
$$\frac{\partial \mathbf{G_T}}{\partial \ell} = \frac{\mathbf{4R_S R_L}}{\mathbf{P^2}} \frac{\mathbf{2\beta}}{\mathbf{Z_0 \sin^2 \beta\ell}} (\frac{\mathbf{T_2}}{\mathbf{Z_0 tg\beta\ell}} + \mathbf{T_3}) \quad (25)$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{T_1} + \cdot \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{Z_0 tg\beta\ell}} (\frac{\mathbf{T_2}}{\mathbf{Z_0 tg\beta\ell}} + \mathbf{2T_3}) \qquad (26)$$

$$\mathbf{T_1} = |\mathbf{Z_L}|^2 + |\mathbf{Z_S}|^2 + \mathbf{2(R_S R_L + X_S X_L)}$$

$$\mathbf{T_2} = |\mathbf{Z_L}|^2 . |\mathbf{Z_S}|^2$$

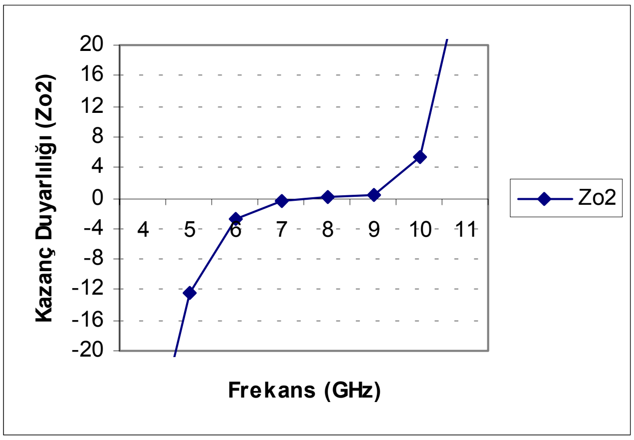
$$\mathbf{T_3} = \mathbf{X_S} |\mathbf{Z_L}|^2 + \mathbf{X_L} |\mathbf{Z_S}|^2$$



Şekil-1 T-Uydurma Devreleri ile Temel Mikrodalga Kuvvetlendiricisi

f (GHz)	GTlo5	GTZo2	GTlo2
2	3.2409	-188.827	-0.0716
3	-31.1119	-87.4848	-0.0383
4	0.4773	-37.4431	0.155
5	0.2072	-12.3153	-0.1044
6	0.2387	-2.675	-0.1085
7	0.2906	-0.3192	-0.0896
8	0.3663	0.0219	0.0227
9	0.4108	0.3376	-0.3124
10	0.3278	5.3094	2.5575
11	-0.0277	31.3986	-0.2192
12	-1.2121	117.6922	0.3043
13	2.2714	352.5634	-1.236

Tablo -1 Yan Hat Parametrelerine göre Kazanç Duyarlılıkları



Şekil – 2 Çıkış Yan Hat Karakteristik Empedansına göre Kazanç Duyarlılığının Frekansla Değişimi

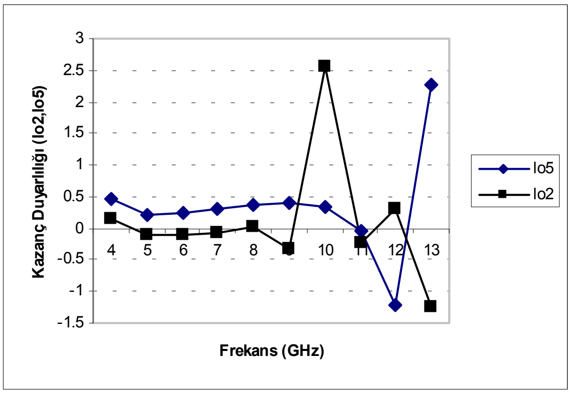
3.3 Bilgisayarla Hesaplanmış Yan Hat Parametrelerine göre Duyarlılıklar

Ayrıca bu çalışmada ,giriş ve çıkış uydurma devrelerindeki sonu kısa devre edilmiş yan-hat uzunluk ve karakteristik empedanslara göre kazanç duyarlılıklarının analitik ifadelerinde F_{req}=0.46 dB Vireq=1,G_{Treq}=12 dB performans karşılığı aşağıdaki uydurma devresi dağılmış parametre değerleri yerine konmuştur :

Zo(1)=36.3101 Ω
Zo(2)=180.885 Ω
Zo(3)=53.0408 Ω
Zo(4)=129.006 Ω
Zo(5)=166.346 Ω
Zo(6)=94.1086 Ω

l(1)=15.8863 cm
l(2)=14.0089 cm
l(3)=13.3775 cm
l(4)=13.7114 cm
l(5)=0.67396 cm
l(6)=0.83214 cm

Sonuçta elde edilen duyarlılık fonksiyonlarının frekans ile değişimleri tablo olarak Tablo-1 de ve grafik olarak Şekil -2 ve 3 te verilmiştir



Şekil -3 Yan Hat Uzunluklarına göre Kazanç Duyarlılığının Frekansla Değişimi

4. SONUÇLAR

Bir mikrodalga kuvvetlendiricisi tasarımı , günümüzde haberleşme mühendisliğinin hala ilgi odaklarından biri olup,"sanat" olarak kabul görmektedir.Bu tasarım,genellikle kazanç (G_T) ,giriş VSWR (V_i) ve gürültü (F) gibi devre performans fonksiyonlarının uydurma devre parametrelerine göre optimizasyonunu gerektirir.Günümüzde optimizasyon yöntemleri "gradyant" temelli ve "sezgisel" olmak üzere iki kategoride toplanabilir.Analitik fonksiyonlar ile beslenen 'Gradyant' yöntemleri,kesin ,hızlı ve tekrarlanabilir yöntemlerdir.Bu çalışmada kazancın basit bir yöntem ile bir pasif devre parametresine göre 'duyarlılığı' teşkil edilerek bilgisayar ile kolaylıkla hesaplanacak analitik ifadeler elde edilmiştir. Bu. fonksiyonlar optimizasyonda hedeflere hızlı yaklaşmayı sağlayarak çözüme ulaşılmasını temin ederler. Ayrıca bu çalışma , giriş VSWR,çıkış VSWR ve gürültü performans bileşenlerini içerecek biçimde genişletiletilebilir.
Duyarlılık fonksiyonları, tolerans analizinin de temel fonksiyonlarıdır.Bilgisayarla , doğruluk derecesinin çok sayıda ondalık basamaklara kadar elde edilebildiği günümüzde , performans ölçü fonksiyonlarının devre parametrelerine göre duyarlılıklarının tesbit edilip frekansa göre değişimlerinin tayin edilmesi çok önemlidir.Böylece bu fonksiyonlar kullanılarak , devre konfigurasyonu ve tasarımı yeniden gözden geçirilip devre üretim kalitesi optimize edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Dobrowski,J.A.,Noise power sensitivities and noise figure minimization of two ports with any internal topology,IEEE Trans. Microwave Theory tech.,39,pp. 136-140,Jan. 1991.

[2] Dobrowski,J.A.,A CAD-oriented method for noise figure computation of two ports with any internal topology,IEEE Trans. Microwave Theory tech.,37,pp. 15-20,Jan. 1989

[3]Güneş F.,Güneş M.,Aliyev I.,An optimisation for the microstrip Amplifiers using the Performance Triplets and Gradients,Progress in electromagnetic Researc Symposium2001(PIERS 2001) July 18-22,Osaka,Japan

[4]Paixao P. O.,Jastrzebski,Analysis and Sensitivities of Noisy Networks using Nodal Approach,IEEE Transac. On Microwave Theory and techniques,Vol.42,July 1994,pp.1254-1260.