

GÜÇ SİSTEMLERİNDE HOPF ÇATALLANMASI İLE İLİŞKİLİ SÖNÜMLENMEYEN DÜŞÜK FREKANSLI SALINIMLAR

İstemihan GENÇ

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

e-posta: genc@elk.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Enterkonnekte Güç Sistemleri, Hopf Çatallanması, Düşük frekanslı salınımlar

ÖZET

Bu bildiriye, elektrik güç sistemlerinde zayıf bağlı bölgeler arası sönümlenmeyen düşük frekanslı salınımlar, Hopf çatallanması (Hopf bifurcation) ile bağlantılı olarak incelenmiştir. Buna göre, sönümlenmeyen salınımlar belirli çalışma noktalarının etrafında oluşan kararlı limit çevrimler (limit cycles) olarak ortaya çıkmaktadır. Seçilen örnek parametre alt-uzaylarında hesaplanan fizibilite bölgeleri (feasibility region) ve sınırları (boundary) yardımıyla bu tür salınımların gerçekleştirilebilirliği tartışılmıştır. Salınımların sönümlendirilmesi için, yerel kontrol yöntemleri yeterli olmamaktadır. Bunun yerine, tüm sistemi göz önüne alan bir kontrol yöntemi gerekmektedir.

1. GİRİŞ

Uzun iletim hatları veya yüksek değerlerde güç iletimi nedeniyle, zayıf bağlı güç sistemlerinde, uzun süreden beri karşılaşılan sorunlardan biri, sisteme ait generatör grupları arasında düşük frekanslı salınımların meydana gelmesidir [1]. Bunun ilk örnekleri, güç sisteminin birbirlerine uzun iletim hatlarıyla bağlanması sonucu ortaya çıkmıştır. Yüksek değerlerde güç iletimi ve özellikle dağıtılmış üretim (distributed generation) ile daha da karmaşık hale gelen durumun oluşturduğu benzer salınımlar sorun olarak güncelliğini korumaktadır. Genel anlamda, salınımların sönümlendirilmesi amacıyla birçok denetim tasarımı çözüm olarak sunulmuştur ve sunulmaktadır. Buna karşılık, sistemde oluşan benzer salınımların tabiatı ve karakteristiği doğrusal olmayan sistem çözümlemesi açısından pek fazla irdelenmemiştir.

Bu bildiriye, zayıf bağlı güç sistemlerinde meydana gelen düşük frekanslı salınımlar, Hopf çatallanması [2] olarak bilinen teori ile açıklanmış ve sisteme ait çeşitli parametre alt-uzaylarında hesaplanan fizibilite bölge ve sınırları ile sistemin belirli koşullarda ortaya koyduğu bu tür salınımlar incelenmiştir.

2. ZAYIF BAĞLI ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMLERİ

Elektrik güç iletim sistemlerinde yarı-durağan (quasi-stationary) dinamik, diferansiyel-cebirsal denklemlerle ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \Sigma: \dot{x} &= f(x, y, p) & f: \mathcal{R}^{n+m+p} &\rightarrow \mathcal{R}^n, \\ 0 &= g(x, y, p) & g: \mathcal{R}^{n+m+p} &\rightarrow \mathcal{R}^m, \end{aligned} \quad (1)$$

$$x \in X \subseteq \mathcal{R}^n, \quad y \in Y \subseteq \mathcal{R}^m, \quad p \in P \subseteq \mathcal{R}^p.$$

Bu denklem sisteminin $X \times Y$ durum uzayında, dinamik ve ani durum değişkenleri birbirinden ayrılmış ve sırasıyla x ve y ile gösterilmiştir. Parametre uzayı P 'de sisteme ait parametre vektörü p ile gösterilmektedir. Tekil olmayan çalışma noktalarında tanımlanabilen Jacobiyen matrisi,

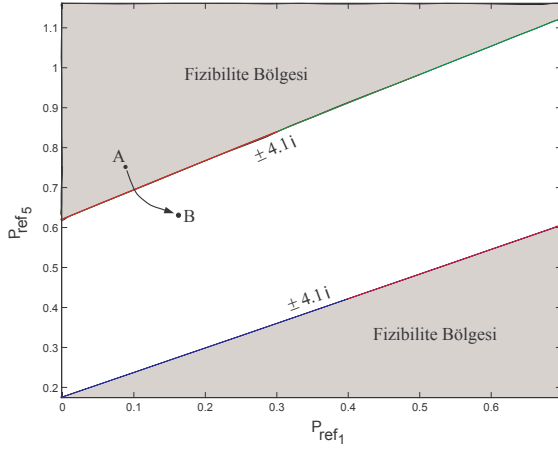
$$A = \frac{\partial f}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial y} \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^{-1} \frac{\partial g}{\partial x}. \quad (2)$$

Zayıf bağlı sistemlerde uygun sıralanmış durum değişkenleriyle Jacobiyen matrisi aşağıdaki gibi blok matrisleri baskın (block diagonally dominant), bir blok köşegen matris olarak ifade edilebilir:

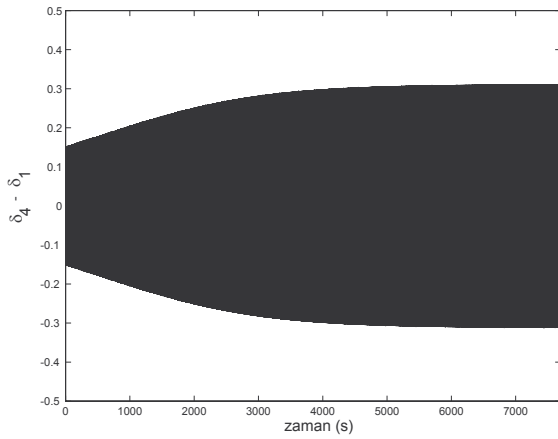
$$A(\varepsilon) = \begin{bmatrix} A_1 & \varepsilon_{1,2} & \cdots & \varepsilon_{1,k} \\ \varepsilon_{2,1} & A_2 & \cdots & \varepsilon_{2,k} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ \varepsilon_{k,1} & \varepsilon_{k,2} & \cdots & A_k \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Burada sistem birbirine zayıf bağlı k bölgeye ayrılmış ve bağlantılar üstten sınırlı $\varepsilon_{i,j}$ matrisleri ile gösterilmiştir. Güç-açı dinamiğini içeren bu şekilde modellenmiş bir güç sisteminde, bölgeler arası baskın olan $(k-1)$ tane düşük frekanslı salınım modu mevcuttur.

bulunan bir yerel kararsız çalışma noktası etrafında oluşan kararlı bir periyodik çözüme karşılık gelmektedir.



Şekil-3. $P_{ref1} \times P_{ref5}$ alt-uzayında fizibilite bölgesi



Şekil-4. Bölgeler arası sönümlenmeyen salınımlar

4. SONUÇ

Bu çalışmada zayıf bağlı güç sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan düşük frekanslı sönümlenmeyen salınımlar, Hopf çatallanması ile bağlantılı olarak açıklanmıştır. Bu tür sistemlerde, bölgelere ait generatör grupları düşük frekanslı salınım moduna göre eşvreli bir biçimde birbirlerine göre salınırlar.

Bildiride, çeşitli parametre alt-uzaylarında örnek olarak verilen fizibilite bölge ve sınırlarının hesaplanmasıyla, bu salınım modlarıyla Hopf çatallanmasının meydana gelebileceği konusu ele alınmıştır. Hopf çatallanmasının tipi sistemin topolojisine ve çalışma noktasına bağlıdır. Superkritik bir çatallanma sonucu sistemde sönümlenmeyen salınımlar meydana gelir. Sistemin çalışma noktasının fizibilite sınırına uzaklığına bağlı olarak bu salınımlar büyük ya da küçük genlikli olabilir. Bu salınımların sönümlendirilmesi için gerekli kontrol tasarımı sistemin tümünü göz önüne alacak şekilde ele alınmalıdır. Herhangi bir çalışma anında hesaplanabilen fizibilite sınırları sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sürdürebilmesi için önemli bir ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Klein M., Rogers G. J., Kundur P., A Fundamental Study of Inter-area Oscillations in Power Systems, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 3, pp. 914-921, 1991.
- [2] Guckenheimer J., Holmes P., Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of vector fields, Springer-Verlag, 1983.
- [3] Venkatasubramanian V., Schättler H., Zaborszky J., Dynamics of Large Constrained Nonlinear Systems – A Taxonomy Theory, Proceedings of the IEEE, Vol. 83, No. 8, pp. 1530-1561, 1995.
- [4] Venkatasubramanian V., Schättler H., Zaborszky J., Local Bifurcations and Feasibility Regions in Differential-algebraic systems, IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 40, No. 12, pp. 1992-2013, 1995.
- [5] Kim K., Schättler H., Venkatasubramanian V., Zaborszky J., Hirsch P., Methods for Calculating Oscillations in Large Power Systems, Vol. 12, No. 4, 1997.
- [6] Özcan İ. A., Schättler H., On the Calculation of the Feasibility Boundary for Differential-algebraic Systems, Proc. 38th IEEE Conference on Decision and Control, Phoenix, AZ, 1999, pp. 2580-2586.