

Erişim Kurallı Kayma Kipli Güç Sistemi Stabilizatörünün Tasarımı

Design of Reaching Law Based Sliding Mode Power System Stabilizer

Mustafa NALBANTOĞLU¹, Ahmet ORHAN², M.İlyas BAYINDIR²

¹Diyarbakır Meslek Yüksekokulu
Dicle Üniversitesi
nalbant@dicle.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Tek. Bilimler Meslek Yüksekokulu
Fırat Üniversitesi
aorhan@firat.edu.tr, mbayindir@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışma, sonsuz baraya bağlı bir senkron generatör için dayanıklı bir uyarma kontrolörü sunmaktadır. Klasik otomatik gerilim düzenleyicileri (AVR) senkron generatörün senkronlama momentini zayıflatan ve salınımları artıran bir etki sergilemektedir. Güç sistem stabilizatörü (GSS), salınımların bastırılması ve geçici durum kararlılığının artırılması için uyarma kontrolüne ikincil bir kontrol işaretini sağlar. GSS arıza sonrasında hem salınımları bastırabilmeli hem de terminal gerilimini arıza öncesi değere ayarlayabilmelidir. Önerilen Erişim Kurallı Kayma Kipli GSS (EKKKGSS) çalışma şartlarının değişimine ve parametre sapmalarının bozucu etkilerine karşı dayanıklıdır. Simülasyon sonuçlarının klasik güç sistem stabilizatörü ile karşılaştırılması, önerilen EKKKGSS' nün senkron makinenin kararlılığını fark edilir şekilde iyileştirdiğini göstermektedir.

Abstract

This paper presents robust excitation controller for synchronous machine connected to an infinite bus. The classical automatic voltage controllers expose an effect losing synchronization torque and increasing oscillations of synchronous machine. Power System Stabilizers (PSS) supply a supplementary control signal to excitation control system for improving transient stability and damping oscillation. it has to both damp the oscillation and regulate terminal voltage to post-fault value. The proposed Reaching Law Sliding Mode PSS (RLSMPSS) is robust against the perturbation effect of deviation of the parameters and change of operating condition. Comparing the results of simulation with Classical PSS shows that RLSMPSS improves the stability of the synchronous machine significantly.

1. Giriş

Güç sistem kararlılığı konusu ilk çıktığı günden beri artan bir ilgi görmektedir. Güç sistemlerinin doğası gereği, sonsuz

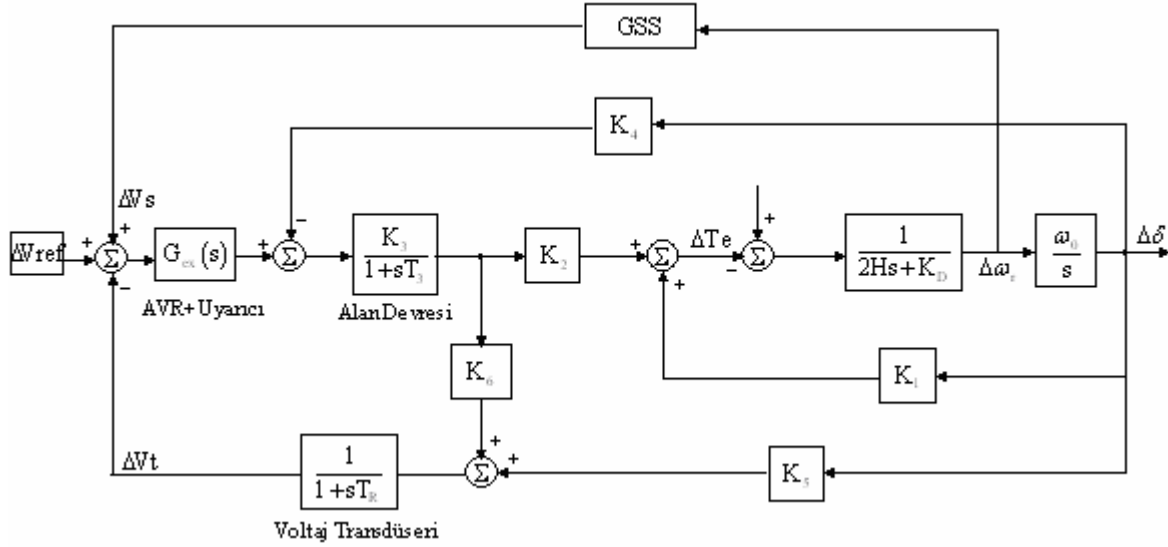
baraya bağlı senkron generatörler çok değişken bir yük karakteristiğine sahiptir. Yük değişimi çalışma gerilimini etkilediğinden sabit uyarma yerine AVR ler kullanılmaya başlanmıştır. Bir iletim hattının açması, büyük bir yükün devreden çıkması veya ani bir yükün devreye girmesi gibi durumlarda senkron generatörün kutup gerilimi, aktarılan güç miktarı ve güç açısı çalışma noktasından sapmaktadır. Sistem böyle bir bozucu ile karşılaştığında, AVR senkronlama momenti üzerinde olumsuz bir etki meydana getirir. Senkronlama momentinin zayıflaması sistemdeki salınımların genliğinin ve frekansının büyümesine yol açmaktadır. AVR nin bu olumsuz davranışını gidermek için uyarma kontrolüne ikincil bir kontrol işareti sağlayan GSS'ler AVR ile birlikte kullanılmaya başlandı [1–2].

AVR+GSS bileşiminin iki görevi yerine getirmesi gerekir; birincisi terminal gerilimini olması gereken çalışma noktasına döndürmek için iyi bir gerilim kontrolü yapmak ve ikincisi meydana gelen salınımları en kısa sürede bastırmak için sönümleme momenti yoluyla senkron generatörü senkronizmada tutmaktır [3].

Sabit yapıli klasik GSS'lere ait uygun parametreleri bulmak için belirli bir çalışma noktası etrafında doğusallaştırılmış model kullanılır. Güç sistemleri yüksek mertebeli ve doğrusal olmayan sistemler oldukları için, geleneksel sabit parametrelili güç sistemi stabilizatörleri çalışma noktasındaki büyük değişimler ile baş edemezler. Nominal şartlardaki parametrelere sahip bu kontrolörler çalışma noktasında anlamlı bir değişim olduğu zaman tatminkâr bir cevap veremezler [4].

Belirsizliklere ve bozululara karşı iyi bir kontrol performansı sağlayan başlıca iki ana yöntem vardır: Dayanıklılı ve adaptif kontrol yöntemleri. Değişken yapıli kontrolün özel bir durumu olan Kayma Kipli Kontrol (KKK), bir dayanıklılı kontrol yöntemi olarak basitliği ve başarılı uygulamaları ile öne çıkarılan bir yöntemdir. Bu yöntemle, yüksek doğruluk, bozululara ve sistem parametrelerindeki belirsizliklere karşı dayanıklılılık elde edilir. Ayrıca, temel kayma kipli kontrol kuralının kontrol değişkenleri alt ve üst limitler arasında

hızlıca anahtarlama yapar ki bu durum senkron generatörlerin anahtarlama güç çeviricilerinin doğrudan çalıştırılması için idealdir [4-7].



Şekil 1. Sonsuz barayı besleyen bir senkron generatörün blok diyagramı

2. Küçük İşaret Kararlılığı Çalışmaları İçin Tek Makineli Güç Sistem Modeli

Şekil 1'de harici bir empedans üzerinden bir sonsuz barayı besleyen ve gerilim regülatörlü uyarma sisteminin etkilerini içeren bir senkron generatörün blok diyagramı gösterilmektedir [3]. Bu sistemin ölçülebilir durum değişkenleri üzerine kurulan durum uzayı modeli aşağıdaki denklemlerle tanımlanır [8,9].

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$x = [\Delta V_t \quad \Delta w \quad \Delta P_e \quad \Delta E_{FD}] \quad (1)$$

Bu modeldeki değişkenler ve katsayılar aşağıdaki şekilde açıklanır:

ΔV_t gerilim saptması değeri (p.u.)

Δw hız saptması değeri (p.u.)

ΔP_e Güç saptması değeri (p.u.)

ΔE_{FD} uyarma gerilimi saptması (p.u.)

$u = \Delta V_s$ ve $w_0 = 2 \cdot \pi \cdot f$

$$\mu_1 = \frac{K_1 - K_2 K_3 K_4}{K_3 T_{do} (K_5 K_2 - K_1 K_6)}$$

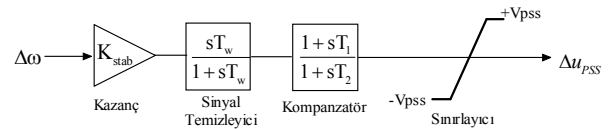
$$\mu_2 = \frac{K_3 K_4 K_6 - K_5}{K_3 T_{do} (K_5 K_2 - K_1 K_6)} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} \mu_1 K_6 & w_0 K_5 & \mu_2 K_6 & \frac{K_6}{T_{do}} \\ 0 & 0 & \frac{-1}{2H} & 0 \\ \mu_1 K_2 & w_0 K_1 & \mu_2 K_2 & \frac{K_2}{T_{do}} \\ \frac{-K_E}{T_E} & 0 & 0 & \frac{-1}{T_E} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{K_E}{T_E} \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

3. Klasik GSS

Bir GSS'nin görevi, 0,2-3 Hz frekans aralığındaki sistem salınımlarını arzu edilen şekilde sönmölemek için frekans karakteristiğinin ve kazancının ayarlamasını yapmaktır. Bu çalışmada kullanılan GSS Şekil 2'de görölmektedir.



Şekil 2. Klasik GSS modeli

Yukarıdaki diyagramda K_{stab} stabilizatör kazancı, T_w washout devre zaman sabiti, T_1 , T_2 kompanzator zaman sabitleridir [10].

4. Önerilen Erişim Kuralı Kayma Kipli Kontrolör Tasarımı

Parametre değişimleri, modellenmemiş dinamikler ve bozucu etkenler gibi belirsizliklerle baş etmek için dayanıklı kontrolörler çok başarılı olmaktadır. Dayanıklı bir kontrolör kayma yüzeyi ile belirlenen bir performansı korumak üzere belirsizliklere duyarlı bir sistem davranışı sağlar. Kayma kipli kontrol sistemleri tasarlanırken öncelikle bir kayma yüzeyi belirlenir, sonra sistem yörüngesinin bu yüzeye erişip referans değerine ulaşmasını sağlayacak bir kontrol kuralı elde edilir[6]. Kontrol kuralını bulurken erişim kuralı kullanımı klasik Lyapunov yöntemine oranla daha yeni ve üstün bir yaklaşımdır. Erişim kuralı altında kontrolörün tasarımı yapılırken sistemin hem erişim hem kayma kipinin dinamikleri hakkında karar verilir [11].

Durum uzay modeli, bir dönüşüm matrisi (T) kullanılarak kontrol edilebilir kanonik forma dönüştürülür[12,13].

$$\begin{aligned}\tilde{x} &= T^{-1}x \\ \tilde{A} &= T^{-1}AT \\ \tilde{B} &= T^{-1}B\end{aligned}\quad (4)$$

Kontrol edilebilir kanonik formdaki sistem için anahtarlama denklemini aşağıdaki gibi yazılır.

$$s = \tilde{C} \tilde{x} \quad (5)$$

Burada kayma yüzeyini gösteren katsayı matrisi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\tilde{C} = [\tilde{C}_3 \quad \tilde{C}_2 \quad \tilde{C}_1 \quad 1] \quad (6)$$

Anahtarlama denkleminde kontrol edilebilir formdan geri dönüşüm yapılırsa,

$$\begin{aligned}s &= \tilde{C} \tilde{x} = \tilde{C}T^{-1}x \\ C &= \tilde{C}T^{-1} \\ s &= Cx \\ C &= [C_4 \quad C_3 \quad C_2 \quad C_1]\end{aligned}\quad (7)$$

ifadeleri elde edilir. Bu dönüşümler sonucunda orijinal durum uzayına ait kayma yüzeyi katsayı matrisi C bulunur. Kayma kipli kontrolörün kontrol işaretini bulmak için anahtarlama fonksiyonunun dinamiğini (8)

$$\dot{s} = C \dot{x} = C(Ax + Bu) \quad (8)$$

sistem yörüngesinin kararlı şekilde yakınsamasını sağlayacak bir erişim kuralına (9)

$$\dot{s} = -qs - \eta \operatorname{sgn}(s) \quad (9)$$

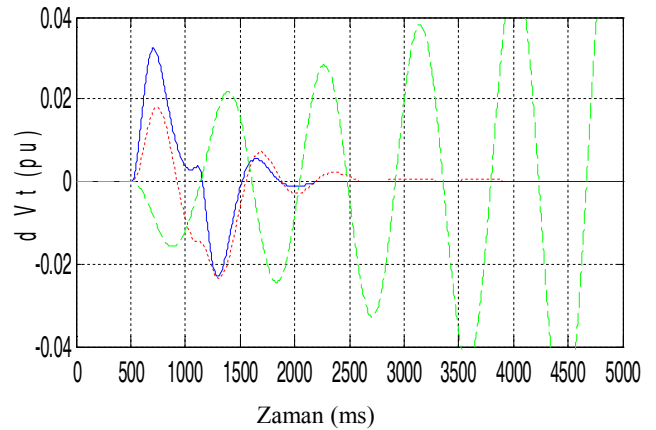
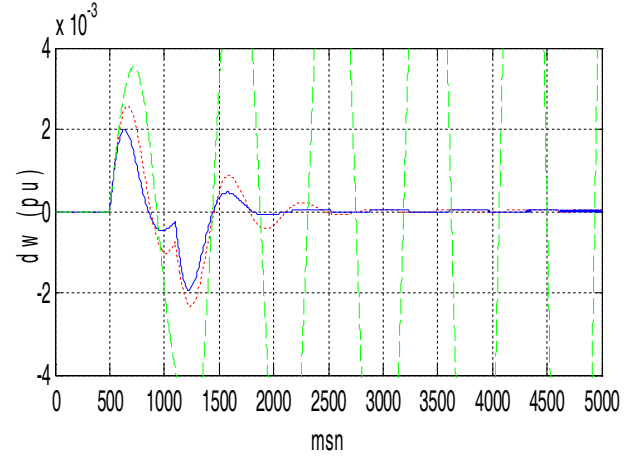
eşitlenerek kontrol işareti u buradan çekilir ise,

$$u = -(CB)^{-1}[CAx + qs + \eta \operatorname{sgn}(s)] \quad (10)$$

şeklinde bulunur [8].

4. Benzetim Sonuçları

Benzetim için esas alınan sistem modelindeki K1-K6 değerleri ve klasik GSS'nin K_{stab} stabilizatör kazancı, T_w washout devre zaman sabiti, T_1 , T_2 kompanzator zaman sabitleri parametreleri [11] nolu referans yayınından alınmıştır. Yapılan benzetimlerde kontrolör parametreleri aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

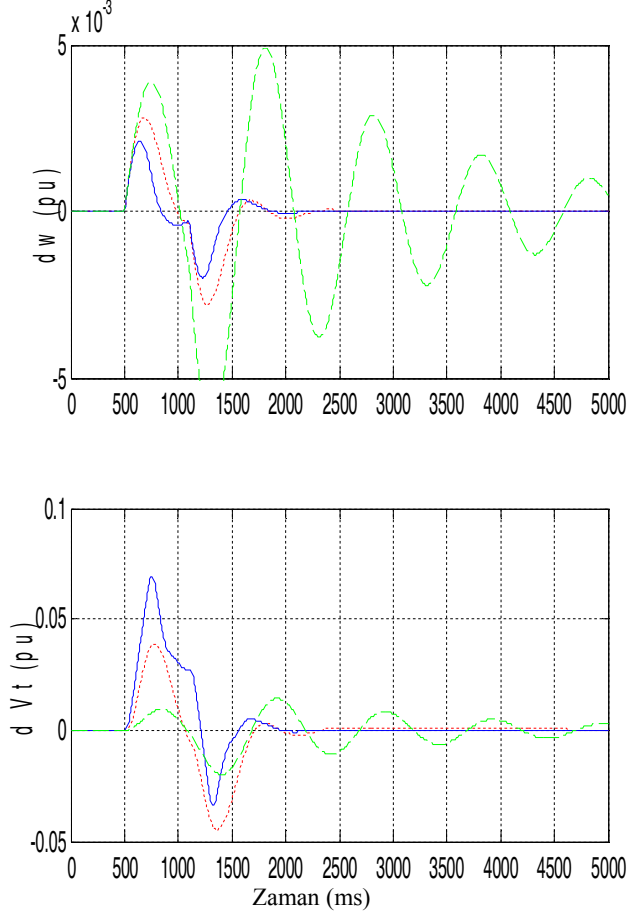


Şekil 3. $P = 1.0$ pu, $Q = 0.1535$ ve x_e normal değerinden %50 büyük olduğu durum hız ve gerilim değişim değerleri, “—” önerilen EKKKGSS, “- - -” Klasik GSS, “- . - .” GSS’siz

$$\begin{aligned}\tilde{C}_1 &= 20 \\ \tilde{C}_2 &= 200 \\ \tilde{C}_3 &= 1500 \\ q &= 80 \\ \eta &= 0,05\end{aligned}$$

Bu parametre değerleri ile yapılan üç farklı çalışma noktası için benzetim sonuçları Şekil 3, Şekil 4, ve Şekil 5’de verilmiştir. Sonuçlarda sistemde 0.5. saniyede ortaya çıkan ve 1. saniyede ortadan kalkan bozucuya karşı sistemin GSS olmadığı durum, klasik GSS olduğu durum ve önerilen EKKKGSS olduğu durumdaki hız sapması ve gerilim sapması cevapları aynı grafikte gösterilmiştir.

Şekil 3, senkron generatörün $P = 1.0$ pu, $Q = 0.1535$ pu ve dış devre empedansı x_e 'nin %50 artmış duruma ilişkin hız ve gerilimin bozucu etki ile değişimlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Şekil 1.'de görüldüğü gibi AVR'ye ek bir kontrol işareti sağlayan GSS olmadığı durumda senkron generatörün rotorundaki salınımlar artarak devam etmekte ve senkron generatör senkronizmadan ayrılmaktadır. Klasik GSS bulunduğu durumda ise rotorda meydana gelen salınımlar klasik GSS aracılığı ile sönümlendirilebilmektedir.

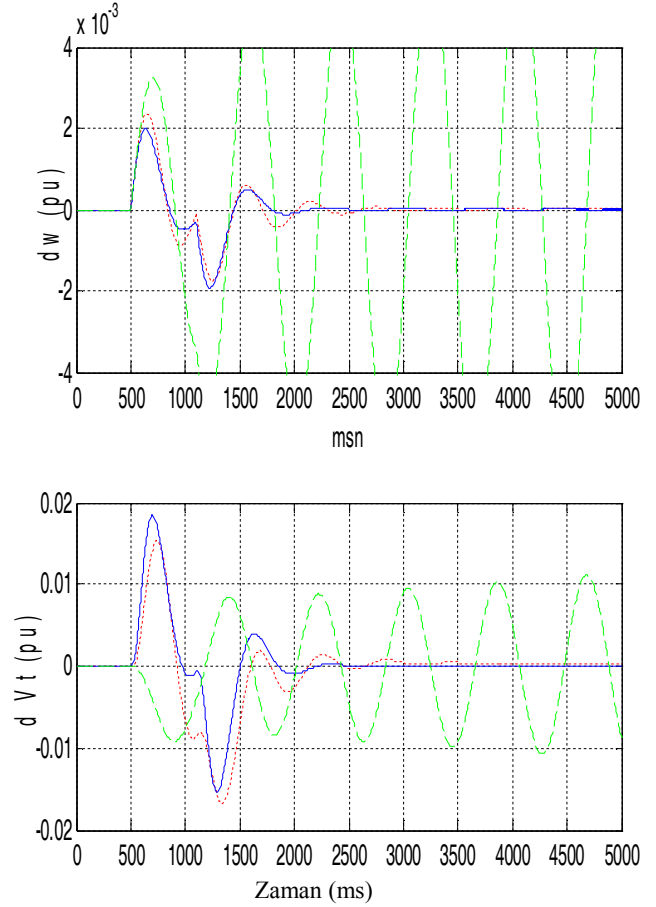


Şekil 4. $P = 0.75$ pu, $Q = 0.0566$ ve x_e normal değerinde olduğu durumda hız ve gerilim değişim değerleri, “—” önerilen EKKKGSS, “- - -” Klasik GSS, “- - -” GSS’siz

Ancak önerilen EKKKGSS sistemde bulunduğu durumda meydana gelen salınımların daha kısa sürede sönümlendirildiği görülebilmektedir. Rotorda meydana gelen salınımların sönümlenmesinde olduğu gibi senkron generatörün kutup geriliminde ortaya çıkan salınımlarda EKKKGSS kullanıldığında daha kısa sürede sönümlenme gerçekleşmektedir.

Şekil 4. ve Şekil 5.'de dış devre empedansının normal değerinde olduğu iki durumda bozucuya karşı gösterilen yukarıdaki aynı elemanların performansını göstermektedir. Üç şekilden EKKKGSS klasik GSS ile karşılaştırıldığında

çalışma şartlarının değişimine ve bozucu etkilere karşı daha iyi bir performans sağlamaktadır.



Şekil 5. $P = 1.0$ pu, $Q = 0.1010$ ve x_e normal değerinde olduğu durumda hız ve gerilim değişim değerleri, “—” önerilen EKKKGSS, “- - -” Klasik GSS, “- - -” GSS’siz

5. Sonuç

Bu çalışmada yeni bir yöntem olan EKKKGSS önerildi ve sonsuz baraya bağlı bir senkron makineye uygulandı. Çalışma noktası değişimi, bozucu etkiler ve parametre değişimi bulunması durumları için; GSS içermeyen bir sistemin, klasik GSS içeren sistemin ve EKKKGSS içeren AVR sisteminin performansları karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonucunda GSS bulunmayan uyarma sistemine sahip güç sisteminin bozucu etkilere karşı çok dayanıksız olduğu, klasik GSS içeren uyarma sistemine sahip güç sisteminin kararlılığının iyileştiği ancak EKKKGSS içeren güç sisteminin performansını daha iyi olduğu açık bir şekilde görüldü.

6. Kaynaklar

- [1] P. Kundur, “Power System Stability and Control”, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [2] P.M. Anderson and A.A. Fouad, “Power System Control and Stability”, IEEE Press, 1994.

- [3] F. P. de Mello and C. Concordia, "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-88, pp. 316–329, Apr. 1969.
- [4] Loukianov, A.G.; Canedo, J.M.; Utkin, V.I. "Cabrera-Vazquez, J., Discontinuous controller for power systems: sliding-mode block control approach, " Industrial Electronics, IEEE Tran., Volume 51, Issue 2, April 2004 Page(s):340 – 353
- [5] Hung, J.Y. Gao, W.B. and Hung, J.C., "Variable structure control: A survey", IEEE Trans Ind Electronics 40(1), 1993, p.2-22.
- [6] Utkin, V.I. J. Guldner, J. S., "Sliding Mode Control in Electromechanical Systems", 1999, Taylor&Francis.
- [7] Spurgeon, S.K. Edwards, C. "Sliding Mode Control Theory and Applications", 1998, Taylor&Francis.
- [8] El-Khazali, R. Heydt, G. and DeCarlo, R. "Output Feedback Variable Structure Control using Dynamic Compensation for Linear Systems" ACC, 981-985, San Francisco, CA 1993. 1992,
- [9] Chan, W. C. and Hsu, Y. Y. , "An Optimal Variable structure Stabilizer for Power System Stabilization", IEEE trans. Power Appar. and Systems, Vol. PAS-102, No. 6, PP 1738-1746, June 1983.
- [10] Gupta, R., Bandyopadhyay, B., and Kulkarni A.M., (2003), "Design of pss for single machine system using robust fast output sampling feedback technique", Elsevier, Electric Power Systems Research 65, 247_/257
- [11] Gao WB, Hung JC. "Variable structure control of nonlinear systems : A new approach." IEEE Trans Ind Electron 1993 40(1): 45-55.
- [12] Ogata, K. Modern Control Engineering, Prentice Hall, USA, 1998.
- [13] Samarasinghe V., Pahalawaththa NC. "Generation, Transmission and Distribution", IEE Proceedings-, 1997