



SIMULINK kullanarak güç sistem geçici hal kararlılık analizi

Serdar Ekinci*

19.02.2015 Geliş/Received, 04.05.2015 Kabul/Accepted

ÖZ

SIMULINK, dinamik sistemlerin modellenmesi, analizi ve simülasyonu için akademi ve endüstride çok yaygın kullanılan bilgisayar yazılım programlarından biridir. SIMULINK kullanarak, simülasyon modeli kolay alt modellerden başlayarak sistematik olarak kurulabilir. Bu çalışma, eğitim ve araştırma amaçları için çok makine bir güç sisteminin SIMULINK yardımıyla modellenmesi, simülasyonu ve geçici hal kararlılık analizini içerir. Güç sistem geçici hal kararlılık simülasyonu için detaylı model geliştirildi ve SIMULINK'te bunun uygulanması özetlendi. Bu eğitim modeli, güç sistem geçici hal olgularını öğretmek için öğrenciler ve mühendisler tarafından kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: MATLAB, SIMULINK, geçici hal kararlılığı, dinamik simülasyon, güç sistem modellenmesi

Power system transient stability analysis using SIMULINK

ABSTRACT

SIMULINK is one of the most widely used software in academia and industry for modelling, analysis and simulating dynamical systems. Using SIMULINK, the simulation model can be established systematically beginning from easy sub-models. This paper covers modelling, simulation and transient stability analysis of a multi-machine power system using SIMULINK for educational and research purposes. The detailed model is developed for power system transient stability simulation and its implementation in SIMULINK is outlined. This educational model can be used by students and engineers for teaching power system transient phenomena.

Keywords: MATLAB, SIMULINK, transient stability, dynamic simulation, power system modelling

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, İstanbul - ekinciser@yahoo.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kararlılık her zaman güç sistemlerinin en önemli ilgi alanlarından biri olmuştur. Güç sisteminin elektromekanik dinamik davranışı üzerindeki arızaların etkisini değerlendiren kararlılık çalışmaları geçici hal ve sürekli hal kararlılık olmak üzere ikiye ayrılır. Geçici hal kararlılık, büyük arızaya maruz kalan güç sisteminin senkronizasyonda kalma yeteneğidir. İletim sistemindeki arızalar, ani yük değişiklikleri, üretim birimlerinin kaybı, önemli iletim hatlarının devre dışı kalması ve hat anahtarlamaları büyük arıza örneklerinden sayılmaktadır. Bu tür arızalarda sistem cevabı, generatör rotor açıları, yük akışları, bara gerilimleri ve diğer sistem değişkenlerinin büyük sapmalarına yol açar. Sürekli hal kararlılığı yalnızca başlangıç çalışma koşullarının bir fonksiyonu olmasına rağmen geçici hal kararlılık ise başlangıç çalışma koşulları ve bozucu etkilerin bir fonksiyonudur. Bununla birlikte, geçici hal kararlılık çalışmaları büyük hataları içerir ve sistem denklemlerini lineer hale getirmesine izin vermez. Bu özelliklerinden dolayı, geçici hal kararlılık analizi önemli ölçüde karmaşıktır. Düşünülen farklı bozucu etkiler (büyük arıza) için tekrarlı analizlerin yapılması gereklidir. Geçici hal kararlılık analizi çalışmalarında, sıklıkla düşünülen bozucu etkiler çeşitli kısa devrelerdir. Bunların dışında, bağlı makinenin maksimum hızlanmasına sebep olduğu için generatör barasındaki üç fazlı kısa devre en ciddi arıza türüdür [1].

Son on yılda, MATLAB, MATHEMATICA ve MODELICA gibi çeşitli yüksek seviyeli programlar araştırma ve eğitim amaçları için çok popüler oldular. Bu programlardan her biri güç sistem analizi alanlarında iyi sonuçlar verebilir. Bu programlardan MATLAB en iyi kullanıcı seçeneğini olduğunu kanıtlamıştır. MATLAB program dilinin en önemli özellikleri; matris odaklı programlanması, üstün çizim kapasitelerine sahip olması ve kontrol şeması tasarımını son derece basitleştiren bir grafik ortamı olan SIMULINK programını içermesidir [2].

MATLAB ile birlikte bütünleşik olarak çalışan bir simülasyon programı olan SIMULINK, dinamik sistemleri modelleme, tasarlama ve simülasyon yapma olanağı verir. SIMULINK ile sürekli zamanlı, ayrık zamanlı ve her ikisini de içeren hibrit sistemleri desteklemektedir. SIMULINK, blok diyagram modellerini oluşturmak için “sürükle-bırak” işlemi kullanılarak bir grafiksel kullanıcı ara birimi sağlar. Zengin bir blok kütüphanesi yardımıyla bir sistem kolaylıkla inşa edilebilir ve simülasyon sonuçları hızlı şekilde gösterilebilir. İdeal bir araştırma aracı olan SIMULINK özellikle lineer olmayan bir sistemin davranışlarını incelemek için kullanılması yararlıdır. SIMULINK programının kullanımı, birçok araştırma

çalışmasında ve aynı zamanda güç sistemleri alanlarında çok hızlı şekilde büyümektedir [3,4].

Güç sistemlerinde Power System Simulator (**Simpow**) ve **DigSilent** gibi hesaplama yönünden çok etkili ve yeterince kullanıcı dostu olan ticari programlar ile MATLAB tabanlı ücretsiz bir yazılım olan Power System Toolbox (**PST**) ve ticari bir yazılım olan SimPowerSystems (**SPS**) gibi çeşitli programlar mevcuttur. Bu programların çoğunda bileşen modellerini incelemek ve değişiklik yapmak zordur veya olanaksızdır. Ayrıca bu programların öğrenilmesi genellikle önemli eğitimler gerektirmektedir ve bu sebeplerden ötürü normal derslik kullanımlarına uygun değildir. Akademik ve eğitim kullanıcıları için bileşen modellerinin şeffaf ve esnek olması ve öğrencilerin simülasyonlarını kolaylıkla yapabilmesi daha önemlidir.

Bu çalışmada örnek bir güç sisteminin dinamik modellenmesinde SIMULINK kullanıldı. Detaylı model oluşturulurken alt modeller mümkün olduğunca basit ve anlaşılır şekilde matematiksel temeller esas alınarak tasarım yapıldı. Detaylı model, güç sistem geçici hal kararlılık analizini öğrenmek isteyen lisans ve lisansüstü öğrenciler tarafından kullanılmak üzere tasarlandı. Ayrıca geliştirilen modelde, araştırmacılar ve eğitimciler tarafından değişiklikler ve eklemeler kolaylıkla yapılabilmektedir. Geliştirilen detaylı model yardımıyla büyük arıza altındaki güç sisteminin geçici hal kararlılık analizi yapıldı ve simülasyon sonuçları geliştirilen modelin elektrik güç sistem kararlılık çalışmaları için güçlü ve gelecek vaat eden bir araç olduğunu gösterdi.

2. MATEMATİKSEL MODELLEME (MATHEMATICAL MODELING)

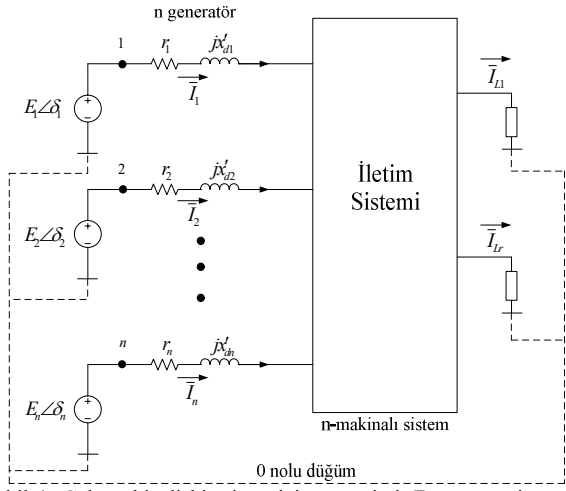
2.1. Güç Sisteminin Modellenmesi (Modeling of Power System)

Bu çalışmada, çok makineli güç sisteminde klasik makine modeli kullanıldı. n makineli güç sisteminin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 1’de verilmiştir. Bu şekildeki düğümler $1, 2, \dots, n$ ile numaralandırılmış olup, bunlar makinalardaki endüklenen gerilim baralarını göstermektedir. Bu güç sistemi için admitans matrisi cinsinden $\bar{\mathbf{I}} = \bar{\mathbf{Y}}\bar{\mathbf{E}}$ olup, $\bar{\mathbf{Y}}$ matrisinin \bar{Y}_{ii} köşegen ve \bar{Y}_{ij} köşegen olmayan elemanları

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{ii} &= Y_{ii} \angle \theta_{ii} = G_{ii} + jB_{ii} \\ \bar{Y}_{ik} &= Y_{ik} \angle \theta_{ik} = G_{ik} + jB_{ik}\end{aligned}\quad (1)$$

şeklindeki elemanlardan meydana gelir. i . generatörün elektriksel çıkış gücü ifadesi $P_{ei} = \text{Re}(\bar{E}_i \bar{I}_i^*)$ (2) denklemindeki gibi verilebilir.

$$P_{ei} = E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_i E_k Y_{ik} \cos(\theta_{ik} - \delta_i + \delta_k) \quad (2)$$



Şekil 1. Çok makineli bir sistemin gösterimi (Representation of a multimachine system)

Klasik modelin salınım denklemleri ise

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_s \quad (3)$$

$$\frac{2H_i}{\omega_s} \frac{d\omega_i}{dt} = P_{Mi} - P_{ei} - D_i(\omega_i - \omega_s) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

Bozucu etki öncesi ($t = 0^-$) $P_{mi0} = P_{ei0}$ olup ifadesi

$$P_{mi0} = E_i^2 G_{ii0} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^m E_i E_k Y_{ik0} \cos(\theta_{ik0} - \delta_{i0} + \delta_{k0}) \quad (5)$$

Bu denklemdeki θ alt indisi başlangıç veya arıza öncesi çalışma durumlarını gösterir. (3) ve (4) denklemleri birbiri ile bağlantılı ikinci dereceden lineer olmayan denklemlerden oluşur. Bu denklemler $\mathbf{x} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0, t)$ şeklinde olup $(2n \times 1)$ boyutlu vektörel bir büyüklüktür.

$$\mathbf{x}^T = [\omega_1 \quad \delta_1 \quad \omega_2 \quad \delta_2 \quad \dots \quad \omega_n \quad \delta_n] \quad (6)$$

2.2. Klasik Model İçin Ön Hesaplamalar (Preliminary Calculations For Classical Model)

Geçici hal kararlılık çalışması için gerekli ön hesaplar:

(a) Sisteme ilişkin veriler ortak bir temel değer birimine indirgenir ve genellikle 100 MVA temel değer olarak alınır. Yükler eşdeğer empedans veya admitanslara dönüştürülür. Bu adımdaki gerekli veriler yük akış çalışmasından elde edilir. Göz önüne alınan baradaki eşdeğer şönt admitans (7) eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$\bar{Y}_{Li} = (P_{Li} - jQ_{Li}) / V_i^2 \quad (7)$$

(b) Yük akış analizinden $\bar{I}_i = I_{Di} + jI_{Qi} = (P_{Gi} - jQ_{Gi}) / V_i e^{-j\theta_i}$ akımı bulunur.

$E_i \angle \delta_i = V_i e^{j\theta_i} + jx'_{di} (I_{Di} + jI_{Qi})$ eşitliğini kullanarak E_i ve δ_i hesaplanır.

(c) Bozucu etki öncesi, esnası ve sonrası için \bar{Y} admitans matrisi hesaplanır. Son olarak, iç generatör düğümleri haricindeki tüm düğümler yok edilir ve indirgenmiş şebeke için \bar{Y} matrisi elde edilir. n makineli bir güç sisteminde düğüm denklemleri aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_n \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{nn} & \mathbf{Y}_{nr} \\ \mathbf{Y}_{rn} & \mathbf{Y}_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_n \\ \mathbf{V}_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

Bu matris denkleminde n generatör düğümlerini ve r ise geri kalan düğümleri temsil etmektedir. (8) denkleminde

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_n &= \mathbf{Y}_{nn} \mathbf{V}_n + \mathbf{Y}_{nr} \mathbf{V}_r \\ \mathbf{0} &= \mathbf{Y}_{rn} \mathbf{V}_n + \mathbf{Y}_{rr} \mathbf{V}_r \end{aligned} \quad (9)$$

(9) denkleminde \mathbf{V}_r yok edilirse;

$$\mathbf{I}_n = (\mathbf{Y}_{nn} - \mathbf{Y}_{nr} \mathbf{Y}_{rr}^{-1} \mathbf{Y}_{rn}) \mathbf{V}_n \quad (10)$$

elde edilir. $(\mathbf{Y}_{nn} - \mathbf{Y}_{nr} \mathbf{Y}_{rr}^{-1} \mathbf{Y}_{rn})$ matrisi indirgenmiş $(n \times n)$ boyutlu \mathbf{Y} matrisidir. Burada n generatör sayısını göstermektedir.

3. GEÇİCİ HAL KARARLILIK ÇALIŞMASI İÇİN SIMULINK MODELLERİ (SIMULINK MODELS FOR TRANSIENT STABILITY STUDY)

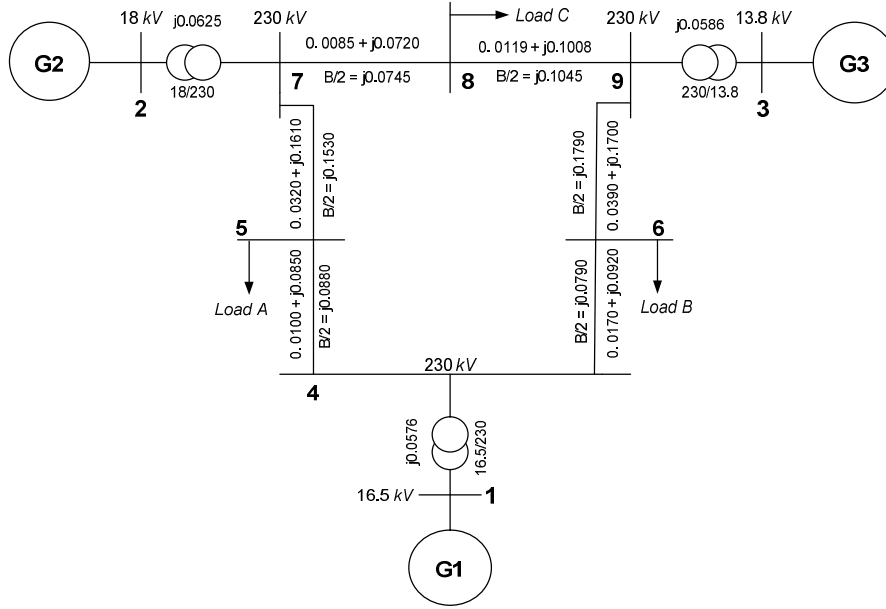
3.1. Dokuz-Baralılı Sistemin Klasik Kararlılık Çalışması (Classical Stability of a Nine-bus System)

Literatürde çok kullanılan 3 makineli 9 baralılı güç sisteminin [5-6] empedans diyagramı Şekil 2'de ve bu sistemin yük akış sonuçları ise Tablo 1'de verilmiştir. Bu sistem 3 transformatör, 3 yük ve 6 hatttan oluşmaktadır. 100 MVA temel değer seçilmiş olup frekansı 60 Hz ve

G_1 referans generatördür. $M_i = \frac{2H_i}{\omega_s}$ olarak

tanımlanmak üzere, örnek güç sistemi için $\frac{D_1}{M_1} = 0.1$,

$$\frac{D_2}{M_2} = 0.2 \quad \text{ve} \quad \frac{D_3}{M_3} = 0.3 \quad \text{alındı [6].}$$



Şekil 2. 9-baralı sistemin empedans diyagramı (9-bus system impedance diagram)

Tablo 1. 3-makinelili 9-baralı sistemin yük akış sonuçları (Load flow result of the 3-machine, 9-bus system)

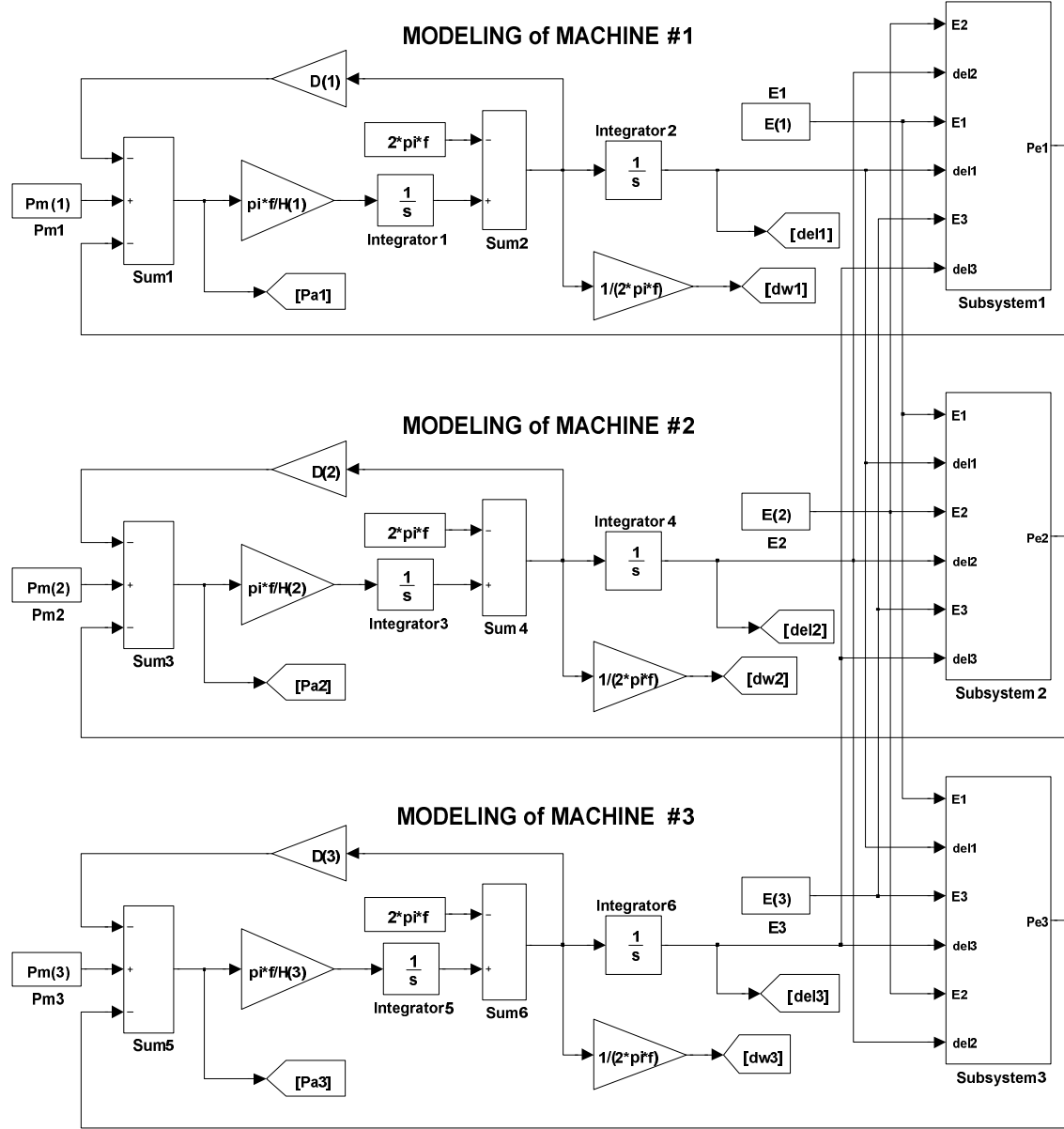
Bara No	Gerilim (pu)	Açı (derece)	Yük		Generatör	
			P	Q	P	Q
1	1.040	0.000	0.000	0.000	71.641	27.046
2	1.025	9.280	0.000	0.000	163.000	6.654
3	1.025	4.665	0.000	0.000	85.000	-10.860
4	1.026	-2.217	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.996	-3.989	125.000	50.000	0.000	0.000
6	1.013	-3.687	90.000	30.000	0.000	0.000
7	1.026	3.720	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.016	0.728	100.000	35.000	0.000	0.000
9	1.032	1.967	0.000	0.000	0.000	0.000

3.2. Klasik Sistem Modeli (Classical System Model)

(1)-(10) nolu denklemler yardımıyla, geçici hal kararlılık analizi çalışmaları için örnek güç sistemi klasik makine modeli kullanılarak MATLAB/ SIMULINK ortamında modellendi. Simülasyonlarda kullanılan sistemin tüm modeli Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi üç makinenin salınım denklemleri değişik alt bloklar kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3'teki *Subsystem 1*, 2 ve 3 tüm makinalara ilişkin elektriksel güç çıkış değerlerini hesaplar. Örnek olarak, farklı arıza durumları (arıza önce, esnası ve sonrası) için 1 numaralı generatörün elektriksel güç ifadesi Şekil 4'te verilmiştir.

Subsystem 1, 2 ve 3 alt sistemleri 6 giriş işareti ve 1 çıkış işaretinden oluşur.

Bununla birlikte bu model; simülasyon süresi, lineer olmayan sistem çözüm teknikleri, entegrasyon adım büyüklüğü, tolerans ve çıkış seçenekleri gibi değişik simülasyon parametrelerini seçmemizi kolaylaştırır. Bu model MATLAB komut satırından veya MATLAB *m-file* programından direk olarak çalıştırılabilir. Bu çalışmada; yük akışını, değişkenlerin başlangıç değerlerini, arıza yeri ve türünü seçmek, arıza temizleme süresini ve farklı arıza durumlarında indirgenmiş *Y* matris değerlerini bulmak için MATLAB *m-file* geliştirildi.



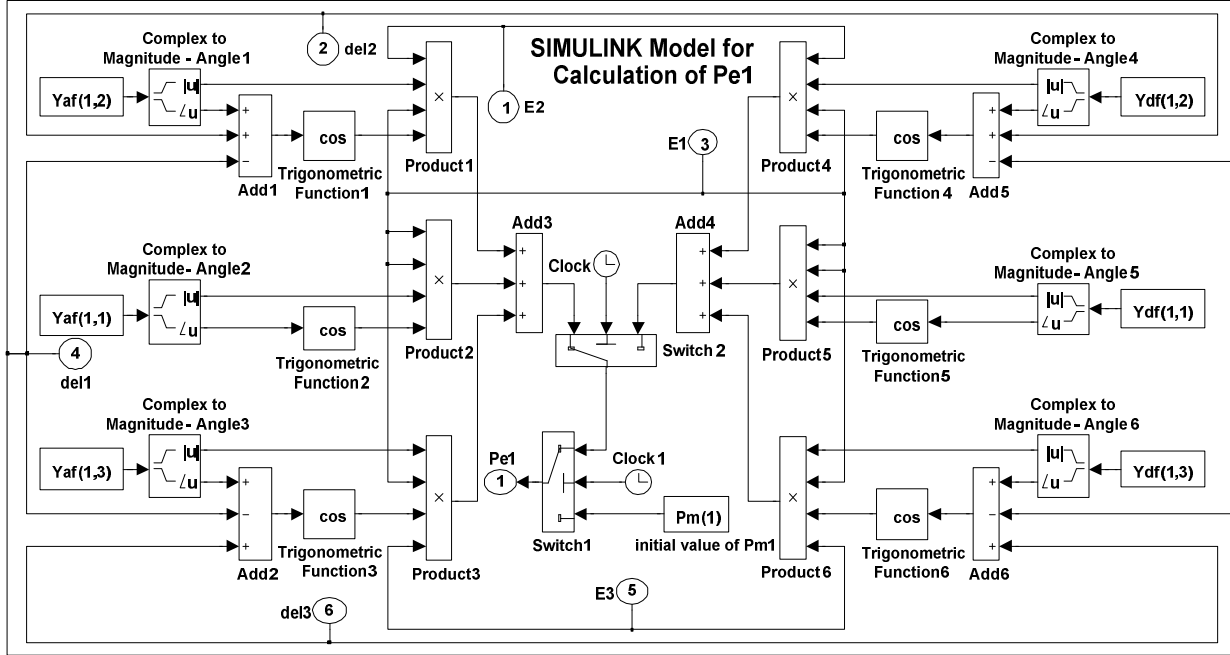
Şekil 3. Geçici hal kararlılık çalışması için klasik sistem modelinin tümü (Complete classical system model for transient stability study)

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

MATLAB/SIMULINK ortamında örnek güç sisteminin zaman domeni simülasyonlarında, diferansiyel denklemlerin nümerik entegrasyonu için Runge-Kutta 4 metodu kullanıldı ve entegrasyon adımı $\Delta t = 0.005$ saniye seçildi. Klasik modelde lineer olmayan zaman domeni simülasyonlarında, $t = 1$ saniye sonra 4 nolu baraya yakın 4-5 hattında meydana gelen arıza durumlarının simülasyon çalışması yapıldı.

Tablo 2. Arıza öncesi şebeke için \bar{I} , E ve δ_0 değerleri (Values of \bar{I} , E and δ_0 for pre-fault network)

Gen. No	Akım	Gerilim Büyüklük leri	Gerilim Açılırları
1	$0.6888 - j0.2601$	1.0566	2.2716
2	$1.5799 + j0.1924$	1.0502	19.7316
3	$0.8179 + j0.1730$	1.0170	13.1665



Şekil 4. Alt Sistem 1: 1 nolu generatörün elektriksel güç çıkışının hesaplanması (Subsystem 1: Computation of electrical power output of generator 1)

Tablo 3. İndirgenmiş Y matrisler (Reduced Y matrices)

	Düğüm	1	2	3
Arıza Öncesi	1	0,8455 - j2,9883	0,2871 + j1,5129	0,2096 + j1,2256
	2	0,2871 + j1,5129	0,4200 - j2,7239	0,2133 + j1,0879
	3	0,2096 + j1,2256	0,2133 + j1,0879	0,2770 - j2,3681
Arıza Esnası	1	-j8,4459	0	0
	2	0	0,3257 - j3,1428	0,1433 + j0,7484
	3	0	0,1433 + j0,7484	0,2255 - j2,6433
Arıza Sonrası	1	0,5883 - j1,8422	0,1435 + j0,7093	0,1106 + j1,1238
	2	0,1435 + j0,7093	0,7282 - j2,2475	0,3041 + j1,1266
	3	0,1106 + j1,1238	0,3041 + j1,1266	0,2938 - j2,3714

4.1. Ön Hesaplamalar (Preliminary Calculations)

(a) A (bara 5), B (bara 6) ve C (bara 8) yükleri için eşdeğer şönt admitans değerleri (7) denkleminde göre sırasıyla

$$\bar{y}_{L5} = 1,2611 - j0,5044$$

$$\bar{y}_{L6} = 0,8776 - j0,2925$$

$$\bar{y}_{L8} = 0,9689 - j0,3391 \text{ olarak bulunur.}$$

(b) Bozucu etki öncesi generatörlerin elektriksel akımları (\bar{I}), endüklenen gerilim büyüklükleri (E) ve gerilimlerin açıları (δ_0 , derece olarak) Tablo 2'de verilmiştir.

(c) Büyük bozucu etkiye maruz kalan güç sisteminin, kritik temizleme süresi (*critical clearing time*) tekrarlı zaman domeni simülasyonları yapılarak $t_{cr} = 0.327$

saniye olarak bulundu ve \bar{Y} indirgenmiş matrisleri hesaplandı. Bozucu etki öncesi, esnası ve sonrası durumları için indirgenmiş \bar{Y} matrisleri Tablo 3'te verildi.

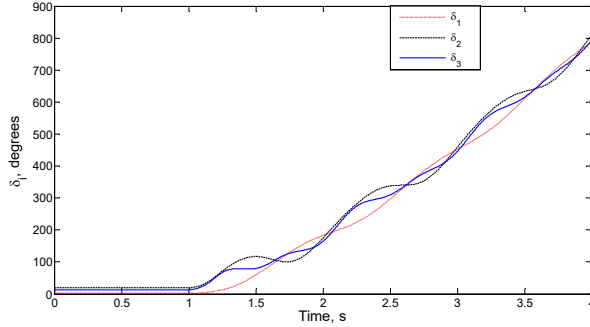
4.2. Durum Çalışmaları (Case Studies)

Klasik modelde iki farklı durum incelenmiştir, bunlar;

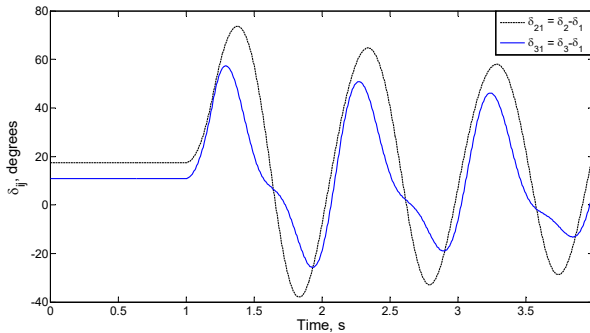
- Durum 1: Arıza süresinin (t_{fault}) kritik temizleme süresinden küçük olma durumu
- Durum 2: Arıza süresinin (t_{fault}) kritik temizleme süresinden büyük olma durumu

Durum 1: 4 nolu baraya yakın 4-5 hattında üç fazlı bir arıza olduğu ve arızanın $t_{fault} = 0.2$ saniye (12 devir) sonra 4-5 hattı açılarak kaldırıldığı düşünüldü. Bozucu etki sonrası sistemin kararlılık davranışını incelemek için

generatörlerin rotor açılarının zaman çözümlerini elde etmemiz gerekmektedir. Bu büyük bozucu etki altında sistem cevapları Şekil 5-6'da verildi. 3 makineye ait rotor açıları Şekil 5'te ve 2 ve 3 nolu makinaların 1 nolu makineye göre rotor açı farkları Şekil 6'da gösterildi. Şekil 6'dan açıkça görüleceği gibi rotor açı farkları zamanla azaldığı için sistem kararlıdır.



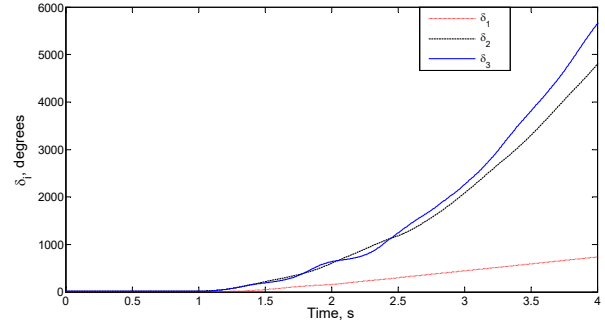
Şekil 5. Durum 1 için δ_1 , δ_2 ve δ_3 'ün zamana göre çizimi (Plot of δ_1 , δ_2 and δ_3 versus time for case 1)



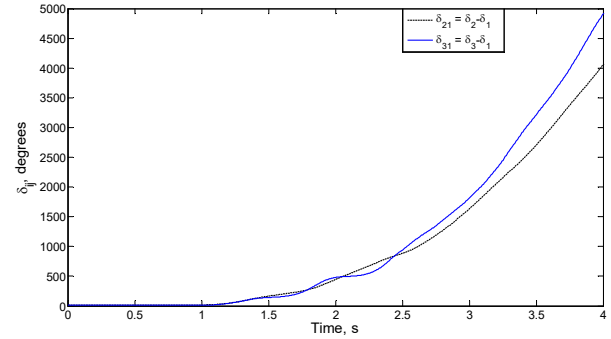
Şekil 6. Durum 1 için δ farklarının zamana göre çizimi (Plot of δ differences versus time for case1)

Durum 2: Aynı yerde ve arızanın $t_{fault} = 0.35$ saniye (21 devir) sonra arıza olan hat açılarak kaldırıldığı düşünüldü. Şekil 7-8'de sırasıyla üç makineye ait rotor açıları ve makine 2 ve 3'ün makine 1'e göre rotor açı farkları gösterildi. Şekil 8'den açıkça görüleceği gibi rotor açı farkları zamanla arttığından dolayı, bu durum için sistem kararsız olmaktadır.

Geçici hal kararlılık analizlerinde sistemin kararlı olup olmadığını anlamak için zaman domeni simülasyonlarının yapılması gereklidir. Eğer rotor açı farkları zamanla azalıyor ise sistem kararlıdır denir. Eğer rotor açı farklarından herhangi biri zamanla artarsa sistem kararsız olmaktadır, çünkü en azından bir makine senkronizasyonunu kaybetmektedir. Bununla birlikte, simülasyon sonuçlarından görüleceği gibi kritik temizleme süresinin sistem kararlılığı üzerinde çok önemli etkileri olduğu görüldü.



Şekil 7. Durum 2 için δ_1 , δ_2 ve δ_3 'ün zamana göre çizimi (Plot of δ_1 , δ_2 and δ_3 versus time for case 2)



Şekil 8. Durum 2 için δ farklarının zamana göre çizimi (Plot of δ differences versus time for case 2)

Bu çalışmada, bir güç sisteminin geçici hal kararlılık analizini gerçekleştirmek için, geliştirilen SIMULINK tabanlı basit fakat etkin model kullanılması uygun görülmüştür. Geliştirilen modelin en önemli avantajları esnek, basit, anlaşılır ve değiştirilebilir yapılarla tasarlanması ve geliştirilen model yapılarının kullanıcılara açık olmasıdır. Ayrıca geliştirilen modelin bu özelliklerinden dolayı, aynı modele uyarımlar, türbinler ve hız regülatörü gibi diğer yapılar eklenip genişletilebilir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Dinamik ve lineer olmayan sistem çalışmaları için, SIMULINK güçlü bir program paketidir. Bu çalışmada, çok makineli bir güç sisteminin simülasyonu SIMULINK ortamında seçilen uygun alt bloklar kullanarak kullanıcı dostu dinamik bir model oluşturuldu. SIMULINK tabanlı bu model sayesinde, çok makineli bir güç sisteminde geçici hal kararlılık analizi yapıldı. Geçici hal kararlılık çalışması için geliştirilen model, lineer olmayan güç sisteminin denklemlerini hızlı ve hassas bir şekilde çözülmesini kolaylaştırır. SIMULINK programındaki uygun menü yardımıyla kullanıcı; çözüm teknikleri, entegrasyon adımı, toleranslar, simülasyon süresi ve çıkış işaret seçenekleri gibi çok sayıda özellikleri kolaylıkla seçebilir ve değiştirebilir.

Bu çalışmadan anlaşılacağı üzere, SIMULINK güç sistem çalışmaları için etkin bir araç olduğu kanısına varıldı. SIMULINK programının, güç sistemlerinde eğitim ve araştırma amaçları için vazgeçilmez bir araç olacağına inanıyoruz. Bu çalışmada geliştirilen SIMULINK tabanlı model tüm öğrenci ve araştırmacılara açık olup ekinciser@yahoo.com e-mail adresinden istenebilir ve bu model hakkında detaylı bilgiler de alınabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [2] F. Milano, "An Open Source Power System Analysis Toolbox," *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199-1206, 2005.
- [3] A. Demiroren ve H.L. Zeynelgil, "Modelling and simulation of synchronous machine transient analysis using SIMULINK," *International Journal of Electrical Engineering Education*, 39(4), 337-346, 2002.
- [4] S. Ekinci, "Çok makineli güç sistemlerinde PSO algoritması yardımıyla geçici kararlılığın düzeltilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [5] P. M. Anderson ve A. A. Fouad, "Power System Control and Stability", Ames, IA: Iowa State Univ. Press, 1977.
- [6] P.W. Sauer ve M.A. Pai, "Power system Dynamics and Stability", Prentice Hall, 1998.