

YÜKSEK GERİLİM GÜÇ HATLARININ MATLAB SİMULİNK İLE MODELLENMESİ: KISA DEVRE ve HATA ANALİZİ

Turan ÇAKIL, H. Feza CARLAK, Şükrü ÖZEN

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
{sukruozen, fezacarlak}@akdeniz.edu.tr

ÖZET

*Dünyadaki ekonomik ve sosyal kalkınmanın en temel verilerinden birisi enerjidir. Hızlı bir sanayileşme ve şehirleşme ortamının olması, nüfusun hızla artması, enerji tüketiminin vazgeçilmez bir şekilde büyümesi, teknolojinin yaygınlaşmasını ve mevcut enerji kaynaklarının ekonomik ve güvenli bir şekilde kullanılmasını gerektirir. Bu durum, enerjinin güvenli ve kontrollü olarak kullanılması ve güç sistemlerinin sağlıklı işletilebilmesine bağlıdır. Enerji sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenerek simule edilmesi yaygınlaşmakta, gelişmekte olan akıllı şebekeler sürecinin alt yapısını oluşturmaktadır. Bu amaçla son zamanlarda ileri teknoloji yazılımı olan **Matlab** bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli hidroelektrik santrali olan Keban Barajından Elazığ İline gelen ve enterkonnekte sisteme dahil olan hatların modellenmesi ve analizi **Matlab™/Simulink** ortamında yapılmıştır. Seçilen güç hattının modellenmesi ve analizi yapılarak güç akışı analizi, çeşitli baralardaki akım ve gerilim değerleri, kısa devre akım değerleri ve nötr akım değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara dayanılarak, mevcut sistemin yük taşıma kapasitesi, röle koordinasyonu, gerilim yalıtım seviyelerinin kontrolü ve muhtemel akım kaçaklarına yönelik sonuçlara ulaşılmıştır.*

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım ve tüketim safhalarından geçerek kullanılmaktadır. Termik, doğalgaz ve hidrolik santrallerde üretilen elektrik enerjisi 380 kV ve 154 kV enerji iletim hatları ile enterkonnekte sisteme bağlanır. Belirli noktalardaki oto trafolarla 154 kV gerilim seviyesinden tüketim noktalarına daha yakın trafo merkezlerine nakledilir. Trafo merkezlerinde 34.5 kV, 31.5 kV ve 15 kV gerilim seviyelerine düşürülür ve dağıtım hatları ile tüketim noktalarına ulaştırılır. Buralarda 34.5/0.4 kV' luk dağıtım trafoları yardımı ile gerilim seviyeleri tekrar düşürülerek fabrika, işyeri, ticarethane ve evlerde kullanılır. Bu çalışmada, Elazığ iline ait Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'ne (TEİAŞ) bağlı 380/154 kV iletim şebekesini oluşturan bir tane hes ünitesi, dört büyük TM'nin (trafo merkezi) yük durumları örnekleme zamanı 50µs olarak seçilmiş ve şebeke için 0.2s ye kadar ki olaylar incelenmiş olup, Matlab yazılımına ait Simulink uygulaması kullanılarak güç akışı neticesinde gözlenen

akım-gerilim değişimleri, kısa devre akımları, nötr akım tespitleri ve rölelerdeki koordinasyon sonuçları analiz edilmiştir. Bu analizlerde TEİAŞ'tan alınan gerçek veri ve parametreler kullanılmış olup, veri ve parametresi bulunmayan elemanlar için ise gerçeğe en yakın değerler seçilmiştir.

2. ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ ve MATLAB™/SİMULİNK İLE MODELLENMESİ

2.1. Enterkonnekte Sistemin Yapısı

Enerji nakil hatları, enerjinin ihtiyaç duyulan tüm bölgelere ulaştırılabilmesini sağlayacak şekilde tertip ve tesis edilirler. Bir ülkenin tamamının veya belli bölgelerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılayacak üretim ve tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini temine yarayan enerji nakil hatlarının teşkil ettiği sisteme enterkonnekte (bağlaşımlı) sistem denir. Enterkonnekte sistemi besleyen santraller, muhtelif tip ve kapasitede termik, taşkömürü, doğalgaz, petrol, rüzgâr, jeotermal ve hidroelektrik santraller

olabilirler. Bu santrallerdeki alternatörlerin çıkış gerilimleri ise 6.3, 6.9, 10.5, 10.8, 13.8 ve 14.4 kV olabilmektedir. Keban Barajı'nın enterkonnekteye bağlı jeneratörleri 14.4 kV'lık gerilim sağlayan elemanlardır. Bu nedenle alternatör çıkış gerilimleri, yükseltici trafolar yardımı ile yükseltilerek (308kV) enterkonnekte sisteme bağlanmaktadır.

Enterkonnekte sistemin üretim ve tüketim yönünden emniyetli, kaliteli ve ekonomik olarak işletilmesine devamlı olarak nezaret eden, işletme manevralarının koordinasyon ve kumandasını yapan işletme merkezine, yük tevzi merkezi adı verilir. Böylece bölge santrallerinin gücü, kendi bölgelerini beslemeye yeterli gelmediği zaman, bağlı bulunduğu enterkonnekte sistemden istenilen kadar enerji çekebilmesi ekonomik olarak sağlanmaktadır. Bu çalışmada iki adet yük tevzi üniteleri oluşturulmuştur. Burada program sadece gerilim ve akım değerlerini göstermek amacıyla oluşturulmuştur. Enterkonnekte sistem sayesinde yük atma ya da yükü devreye alma gibi işlemlerde yapılmaktadır. Türkiye'nin enterkonnekte sisteminin yönetimi Ankara Gölbaşı'nda bulunan Milli Yük Tevzi Genel Müdürlüğü'dür.

2.2. Enerji İletim Sistemlerinin Güç Akışı

Güç akışı ile sistemin sürekli hal koşulları belirlenmektedir. Genel olarak güç akışına bara gerilimleri ve hata akımları önemli parametrelerdir. Güç akışının hesabı, güç sistem analizi ve dizaynında özel öneme sahiptir. Güç akışının temel amacı bara gerilimleri, hat, transformatör ve iletkenlerin empedanslarını ve yüklerini hesaplayarak gereken enerji üretimini belirlemek ve enerji arzını sağlamaktır. Sürekli hal koşulu altında, dengeli ve üç fazlı sistemlerde kullanılan güç akışı algoritmasında kullanılan kabuller şunlardır;

- i. Jeneratörler sisteme bağlı tüm yük taleplerini ve iletim hatlarındaki toplam güç kaybını karşılar.

- ii. Tüm bara gerilim genlikleri nominal gerilim sınırları arasındadır.
- iii. Jeneratörler sahip oldukları aktif ve reaktif güç değerlerini aşmazlar.
- iv. İletim hatları ve transformatörlere aşırı yüklenme yapılmaz.

Bu aşamalar tamamlandıktan sonra sistemin güç kayıpları, hangi bölgelere akışın fazla olduğu, enerji nakil hatlarındaki kayıplar hesaplanarak sistemin güç akışı analizi tamamlanmış olur.

2.3. Güç Sistemlerinde Kısa Devre Hesapları

Enerji sisteminde yıldırım düşmesi, açma kapama olayları, mekanik hatalar, buz yükü, toprak kayması, deprem, kuş, haşarat, nem, kir ve benzer sebepler ile meydana gelen aşırı gerilimler, üzerinde gerilim bulunan sistem parçalarını elektriksel olarak zorlar. Zorlama, gerilim yalıtım seviyesini aşarsa kısa devre oluşur. Kısa devre akımının değeri, hata noktasından sistemi besleyen kaynağa doğru bakıldığında görülen Thevenin eşdeğer devresi tarafından belirlenerek, hesaplanır.

Kısa devre olayları dengeli ve dengesiz kısa devre olarak iki şekilde incelenir. Hata öncesi hat akımları birbirine eşit olan bir sistemde, hatadan sonra da hat akımları genlik olarak birbirlerine eşit değer alıyorsa, oluşan hata türü dengeli kısa devre olarak isimlendirilir. Eğer hata sonrası hat akımları ve genlik değerleri kendi aralarında birbirlerinden farklı değerler alıyorsa, hata türü dengesiz kısa devre olarak adlandırılır. Dengesiz kısa devreye ilişkin akım ve gerilim hesaplamaları dengeli sisteme göre daha uzun ve zordur. Fazların yapısı birbirlerine göre simetrik olan güç sistemlerinde kısa devre akım hesaplamaları, simetrik hatalar ve simetrik olmayan hatalar olarak iki ayrı bölümde incelenmektedir. Üç fazlı kısa devre simetrik bir hatadır. Bir faz-toprak kısa devresi, iki fazlı toprak temassız kısa devre ve iki fazlı toprak temaslı kısa devre hataları ise simetrik olmayan hatalardır. Hata esnasında sistemde dolaşan akımların

fazlara göre genliklerinin değişmemesi nedeniyle hata simetrik olarak isimlendirilirken, hata akımlarının genliklerinin fazlara göre değişenleri ise simetrik olmayan olarak adlandırılmaktadır. Hatlarda, kısa devrelerin sonuçlarına göre röle koordinasyonları yapılmaktadır. Röle koordinasyonları ile yapılan korumalarda radyal, yönlü, zone (alan) koruma koordinasyonları kullanılmaktadır. *MatlabTM/Simulink* ile model analizi yapılan sistemde kesicilerin aktif olduğu, kesiciler üzerinde belirli saniyelerde yedekleriyle koordineli şekilde açılıp kapanarak sistemde süreklilik sağlanmıştır.

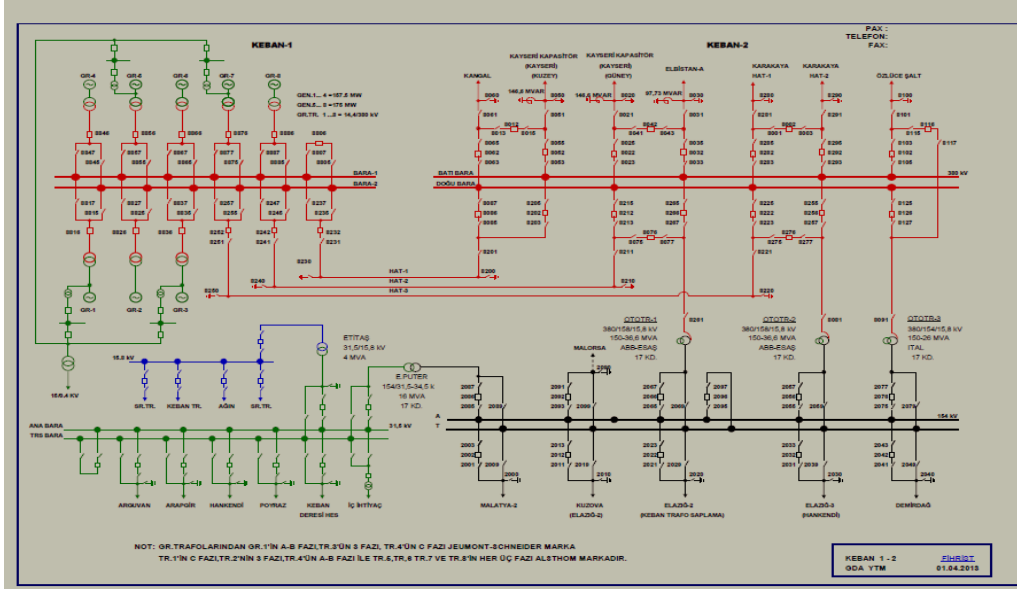
2.4. Güç Sistemlerinin Modellenerek *MatlabTM/Simulink* ile Analizi ve Enterkonnekte Sisteme Entegre Edilmesi

İncelenen sisteme ait veriler aşağıda sunulmuştur.

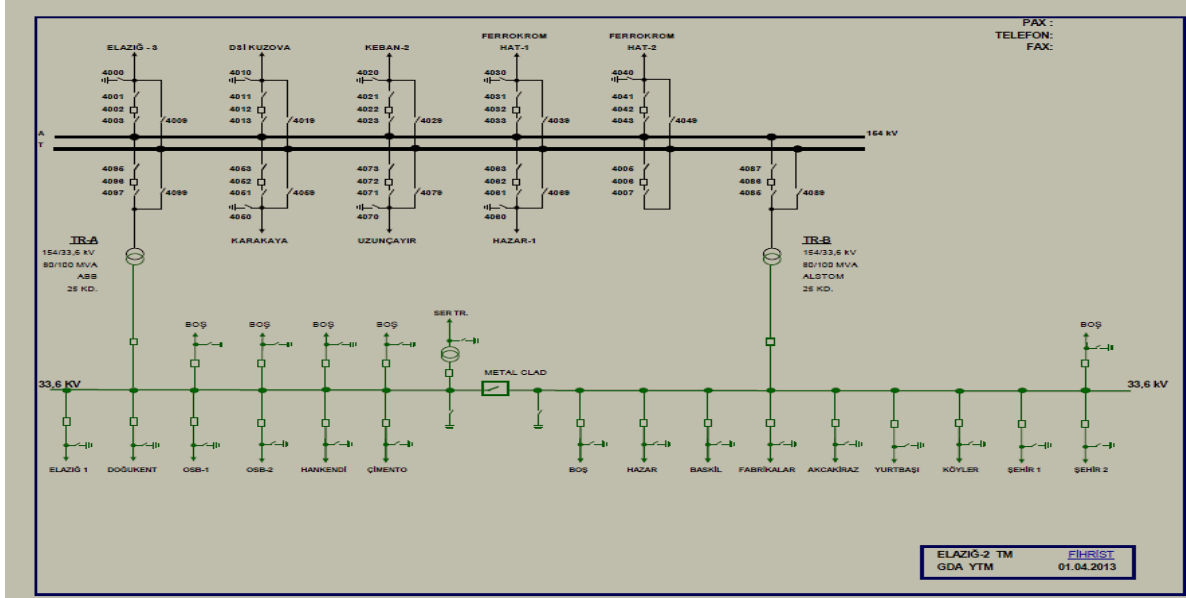
- i. Modellenen şebekede kurulu güç toplam 1.083,6 MVA' dır.
- ii. Modellenen şebekede puant yükü toplam olarak 215 KW'tır.
- iii. Modellenen şebekede yıllık aktif tüketim toplam 1 milyar 883 milyon 400 bin kwh, reaktif tüketim de toplam 188 milyon 340 bin kvarh dır.
- iv. Modellenen şebekede 154 kV 1243.566 km, 380 kV 657.314 km olmak üzere toplam 1900,880 km hat uzunluğundan oluşmaktadır.
- v. Modellenen bu şebekede Trafo Merkezlerini enterkonnekte sisteme

bağlayan 154 kV E.İ.Hattının uzunluğu 1243,566 km' dır.

MatlabTM/Simulink ile modellenen enerji nakil sisteminin, örnekleme zamanı olarak başlangıç değeri 50µs alınmış olup, bitiş değeri 0.2 sn olarak belirlenmiştir. *MatlabTM* sayesinde sistemin anlık saliselerde davranışının incelenmesi, hata analizi yapılması sağlanmaktadır. Enerji Nakil Sisteminde kullanılan jeneratörler, trafolar, enerji nakil hatlarının elektrifikasyon özellikleri, manevra şemaları TEİAŞ'tan alınmıştır. Bilinmeyen parametreler ise gerçeğe uygun alınmıştır. Modellenen Enerji Nakil Sistemi 0.2 sn ye kadar çekilen aktif güçler ile kompanzasyon değerinin 0.95-0.99 arasında alınarak reaktif güçler belirlenmiştir. Bazı trafoların ise nötr açıklıkları programa dahil edilerek trafoların YY noktaları topraklama yönetmeliğine uygun olarak 20 ohm luk direnç üzerinden topraklanmıştır. Çalışmada görüntü işleme yapılarak daha gerçekçi bir yaklaşımla trafo merkezleri, HES ünitesi, yük tevzi blokları, baralar görselleştirilmiştir. Modellenen şebekeye bağlı 3 büyük trafo merkezi incelenmiştir. Ferrokrom, Hazar-1, Hazar-2 ve Maden TM merkezlerinden Ferrokrom TM kesicilerle izole edilmiş ve hattan çıkarılmıştır. Hazar-1, Hazar-2, Maden TM 'leri (şehrin doğu tarafındaki trafo merkezleri) modellenmemiştir. Geriye kalan trafo merkezlerinin *Simulink* ile modellenmesi yapılmıştır.



Şekil 1. Modellemede Kullanılan Keban Şalt ve HES YG Şebekesinin Tek Hat Diyagramı

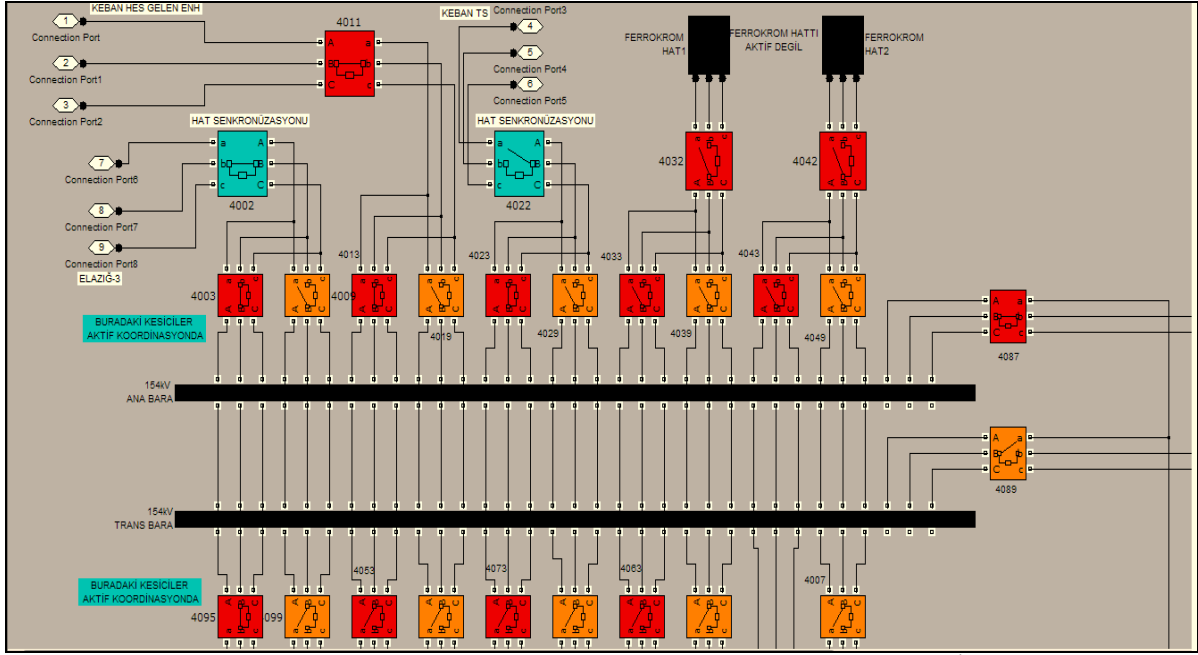


Şekil 2. Modellemede Kullanılan Elazığ-2 TM YG Şebekesinin Tek Hat Diyagramı

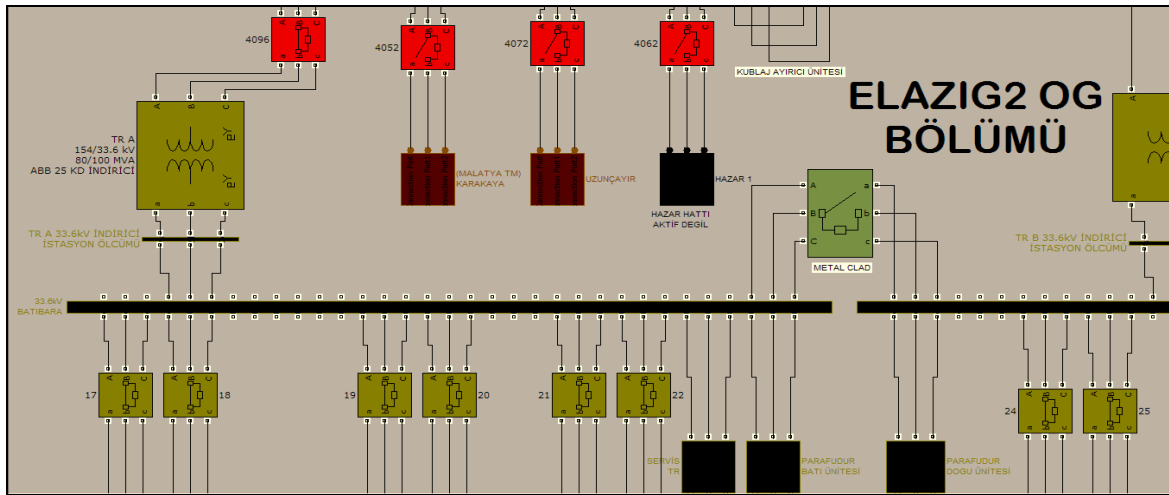
2.4.1. Trafo Merkezlerinin Matlab™/Simulink ile Modellenmesi

Trafo merkezlerinin modellenmesinde kullanılan Simulink yapısı "Subsystem" kullanılarak karmaşık yapıda olan büyük sistemlerin çok basit bir hale dönüştürebiliriz. Trafo merkezlerinin tek

hat şemalarına bakıldığında karmaşık yapıda oldukları görülür. Çalışmada çok fazla trafo merkezleri modellenmesi yapıldığı için bu yapıların bir çalışma sayfası üzerinde yapılması karmaşık ve zordur. Bu nedenle bu blok yapıları kullanılmıştır.



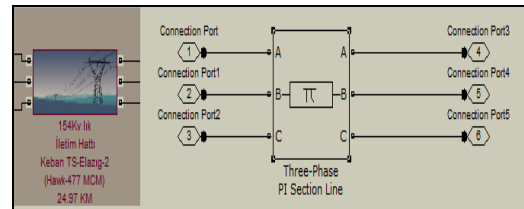
Şekil 3. Elazığ-2 YG Bölümüne ait Modellemesi yapılan Trafo Merkezinin İç Yapısı



Şekil 4. Elazığ-2 OG Bölümüne ait Modellemesi yapılan Trafo Merkezinin İç Yapısı

2.4.2. Enerji İletim Hatlarının Matlab™/Simulink ile Modellemesi

Enerji iletim hatlarında π -eşdeğer devre kullanılmaktadır. Çalışmada Keban TM-Elazığ-2 arasında 24.97 km uzunluğunda 477 MCM (Hawk) iletkenli hat kullanılmıştır. π -eşdeğer devresine ilişkin blok diyagramında frekans, direnç, endüktans ve kapasitans bileşenleri ile hattın uzunluğu gibi parametreler bulunmaktadır. Enerji iletim hattına ait parametre değerleri, ilgili alanda birimleri ile birlikte girilmiştir. Enerji iletim hattının uzunluğu, iletken kesiti değerleri TEİAŞ ve literatürden alınmıştır [6].

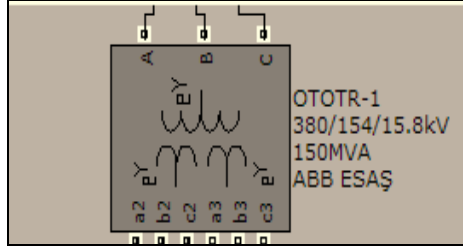


Şekil 5. π eşdeğer devresinin blok diyagramı

2.4.3. Transformatörlerin Matlab™/Simulink ile Modellemesi

Enerji iletim sistemlerinde güç transformatörlerinin primer ve sekonder bölümleri Y-Y, Y- Δ , Δ -Y, Δ - Δ olmak üzere bağlanabilirler. Çalışmamızda

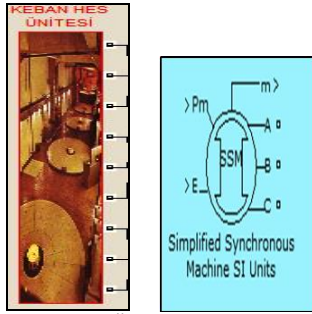
bağlantı şekilleri TEİAŞ verilerinden alınmıştır.



Şekil 6. Simulink Programı ile Transformatorlerin Modellenmesi

2.4.4. Jeneratörlerin Matlab™/ Simulink ile Modellenmesi

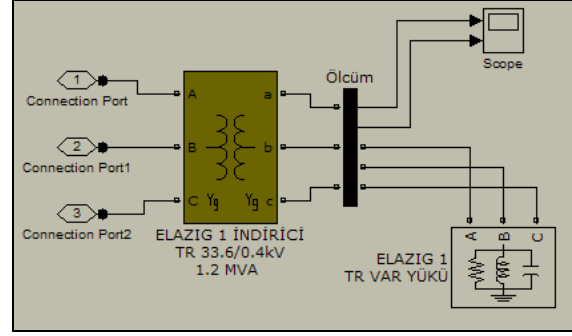
Keban hidroelektrik santralinde 8 adet senkron motordan oluşan jeneratörler ve cebri borularla bunları besleyen 8 adet tribün dikkate alınarak; Keban HES Simulink programında HES ünitesi olarak modellenmiştir.



Şekil 7. Keban HES Ünitesinin Simulink Programı ile Modellenmesi

2.4.5. Yük Bileşenlerinin Matlab™/ Simulink ile Modellenmesi

İletim sistemleri üç fazlı sistemler olduğu için, üç fazlı paralel RLC yükü kullanılarak modellenmiştir. Matlab/Simulink kullanılan üç fazlı paralel RLC yükü tanımlanmıştır. Blok diyagram parametrelerinde yükün gerilim, aktif, endüktif reaktif ve kapasitif reaktif yük bileşenleri bulunmaktadır. $\cos\phi$ değeri 0.95-0.99 arasında değerler alınarak reaktif güçler bulunmuştur.



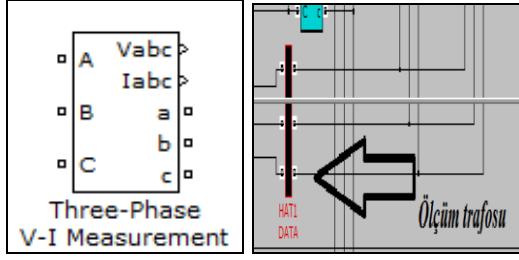
Şekil 8. Yük Bileşenlerinin Simulink Programı ile Modellenmesi

2.4.6. Kesicilerin Matlab™/ Simulink ile Modellenmesi

Enerji iletim hatlarında ve trafolarla zaman zaman çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Arızalanan elektrik teçhizatının en kısa zamanda gerilimsiz hale getirilmesi gerekir. Elektrik şebekesindeki arızalar röleler vasıtasıyla tespit edilerek, kesicilere açma kumandası verilir. Bunun için sistemde kesicilerin önemi büyüktür. Simulink programındaki kesiciler belirli bölgelerde aktif koordinasyon görevi yapmaktadır. Aktif olan kesicilerin 0.08-0.1 arasında açılması istenmiştir. Ayrıca hataların oluştuğu sürelerde 0.08-0.1 arasında olması istenmiştir. Bu nedenle röle koordinasyonu önemli bir paradokstur.

2.4.7. Ölçü Trafolarının Matlab™/ Simulink ile Modellenmesi

Enerji İletim Sistemlerinde kullanılan ve hatlardaki gerilim ve akım değerlerini hesaplayan ölçüm trafoları önemli elemanlardır. İki önemli ölçü trafosu bulunur. Bunlardan birincisi Gerilim Trafosu, ikincisi Akım Trafosu'dur. **Simulink** programında ise 3 fazlı ölçü sistemi bulunur. Bu blok içerisinde akımlar ve gerilimler beraber hesaplanır. Ayrıca pu (per-unit) olarak da hesaplayabilir. Çalışmamızda ise hesaplanan değerler Yük Tevzi Data İstasyonuna veya HES Ünitesi data istasyonu bloklarının içerisine göndermektedir.



Şekil 9. Ölçü Trafosunun Simulink Programı ile Modellenmesi

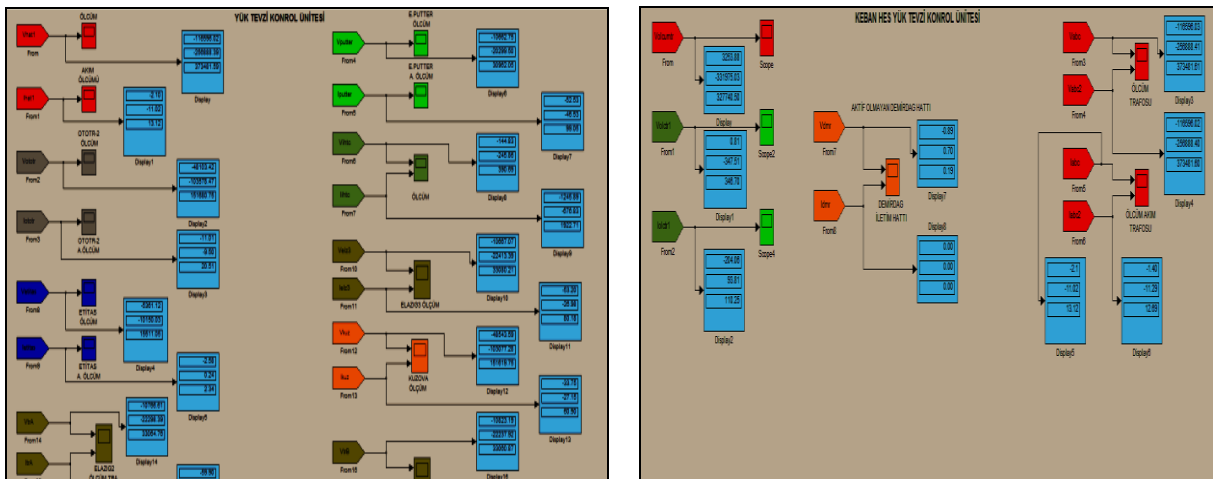
2.4.8. Matlab™/Simulink ile Modellemede Power Gui Bloğunun Kullanımı

Simulink programında güç sistem menüsünün kullanılması için gereklidir. Bir başka ifadeyle güç simülasyonu içeren her Simulink çalışmasında gereklidir. Maksimum performans için powergui bloğunu çalışma sayfasının üst tarafına yerleştirmek gerekir. Fakat alt sistemlerde uygun olan istenilen yere yerleştirilmesi çalışmasını etkilemez. Her model için en fazla bir blok kullanılabilir. Çalışmamızda kullanılan powergui bloğu örnekleme zamanı 'TS' olarak yani, 0.00005sn başlayarak tanımladığımız bitiş zamanı olarak 0.2 sn değeri girilmiştir. Powergui bloğu ayrıca sistemdeki güç akışını, hatlardan geçen akım değerlerini, sistemdeki gerilim seviyelerini de

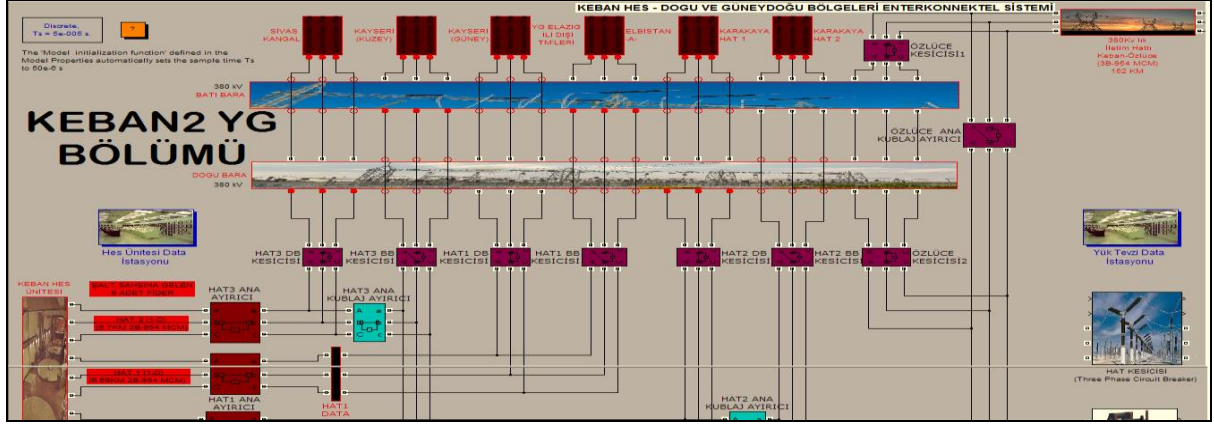
ölçmektedir. Kullanılan trafo sayısını kullanılan yük sayısını ve kullanılan bus sayılarını da kullanıcılara göstermektedir. Bu nedenle sistem analizinin en önemli bloklarından birisidir.

2.4.9. Arızanın (Hata) Matlab™ / Simulink ile Modellenmesi

Trafolar ve enerji nakil hatlarında çeşitli arızalar oluşmaktadır. Bu arızalar sonucunda şebekede kısa devre, açma ve enerji kayıpları meydana gelmektedir. Mevcut enerji şebekelerinde oluşan arızalar hata olarak adlandırılmaktadır. Hata(Arıza) bloğunun program ara yüzü Simulink'de üç faz hata bloğu bulunmaktadır. Bu bloğun özelliği hata oluşturma süreleri açılma ve kapanma zamanları dış Simulink sinyali ya da iç kontrol zamanlayıcısı olan üç faz devre anahtarı ile yürütülür. Üç faz hata bloğunun oluşturduğu kısa devre tipleri 3 faz, faz-faz, 2 faz-toprak, faz-toprak hatalarının oluşmasına imkân sağlamaktadır. Çalışmada hatanın başlangıç zamanı yine 0.08sn-0.1sn arasında oluşması istenmiştir. Hata bloğunun kullanılması ile oluşacak kısa devre akımlarına göre uygun röle seçimi, uygun kesici seçimi ve uygun röle koordinasyonunu oluşturmamıza imkân sağlamaktadır.



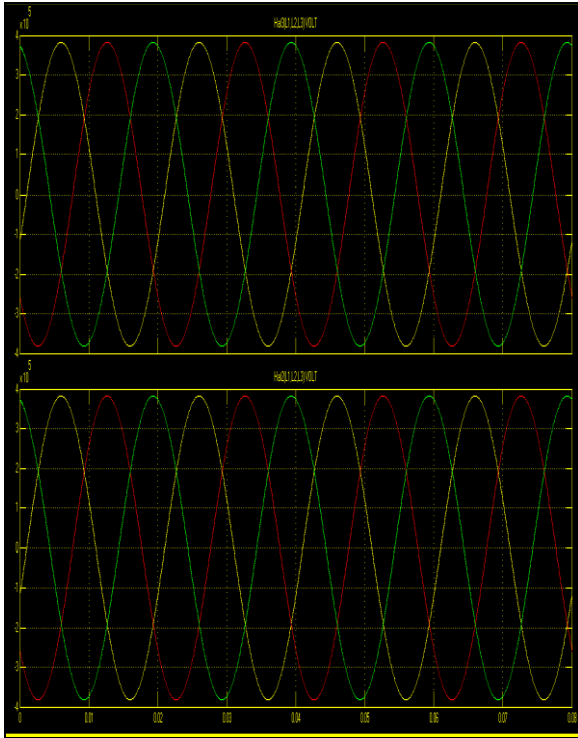
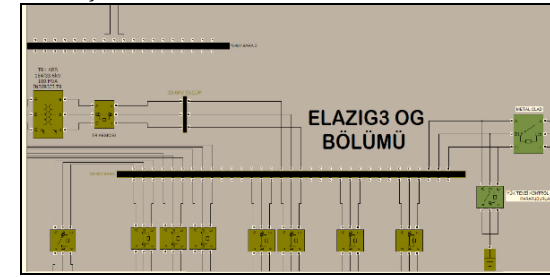
Şekil 10. Şebekedeki Yük Tevzi Data İstasyonlarının Matlab™ / Simulink ile Modellenmesi



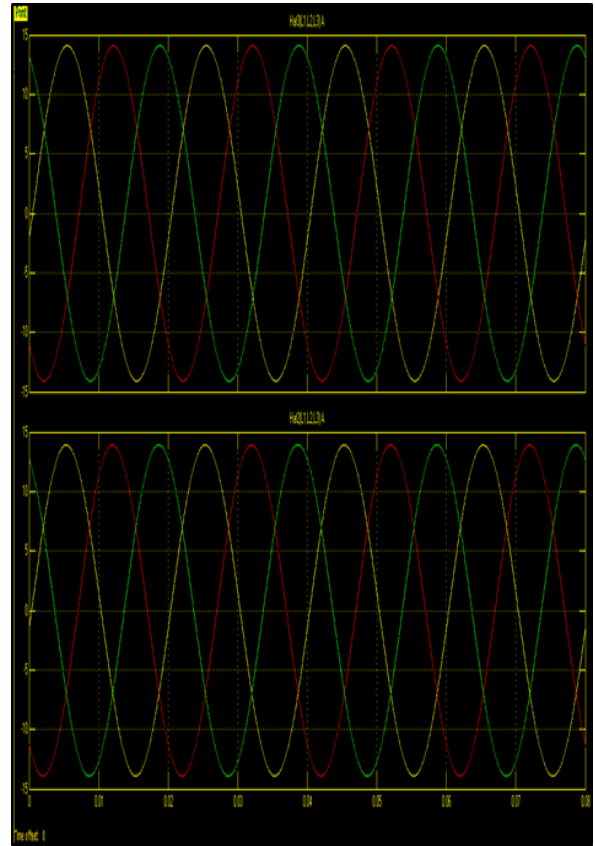
Şekil 11. Keban Şalt Trafo Merkezi ile Enterkonnekte Sistemin Matlab™/ Simulink ile Modellenmesi

3. SONUÇLAR

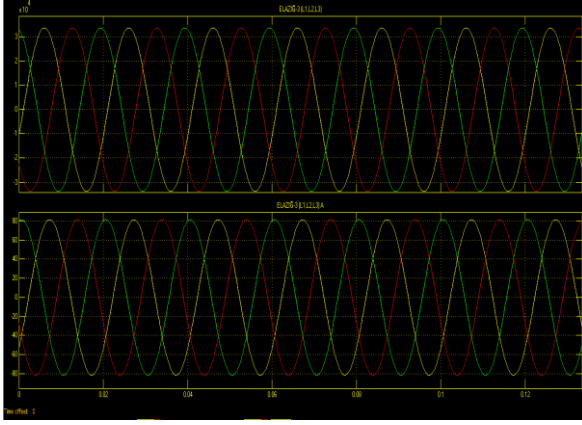
Sonuçlar, Matlab™/Simulink ile yapılan modellerin gerçekleştirilmesi ile elde edilmiştir.



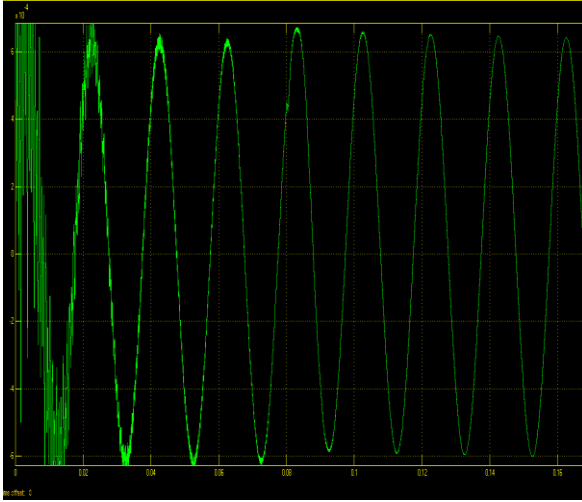
Şekil 12. Hat 3 ve Hat 2 Şebekelerinde 380 kV Dokuz adet fiderden Güç Akışı Grafiği



Şekil 13. Hat 3 ve Hat 2 Şebekelerinde 9 adet fiderden 0.2 s.'de Geçen Akım Değerleri

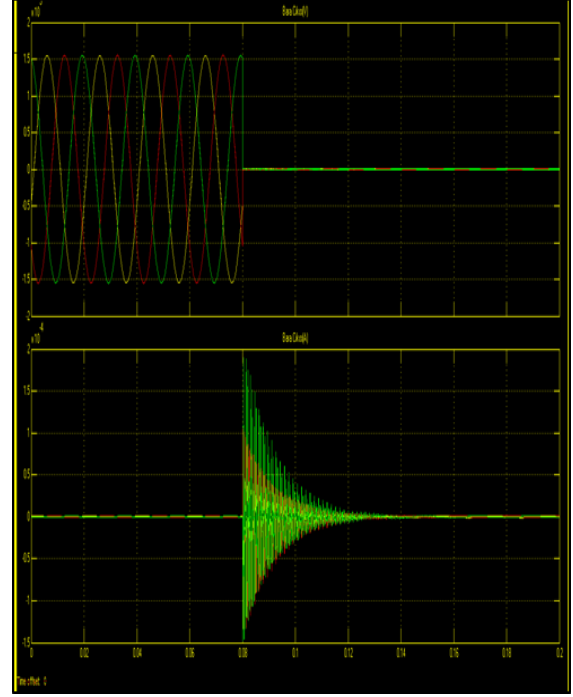


Şekil 14. Elazığ-3 TM Simulink Modeli ve 33.6 kV Trafosunun Sekonder tarafındaki Gerilim Seviyesindeki Güç Artışı

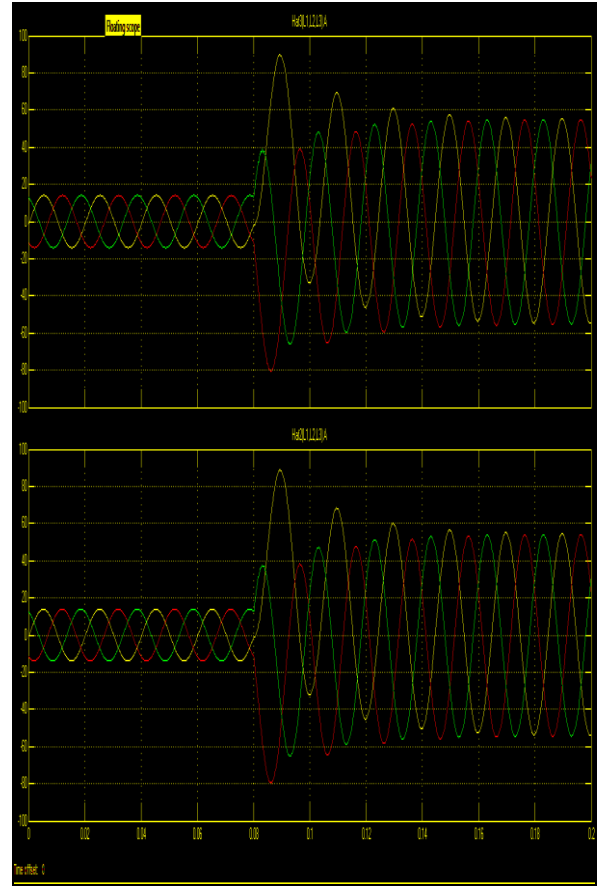


Şekil 15. Keban Şalt Merkezi E. Putter Trafosundan Nötr Bileşen Akım Modeli ve Analizi

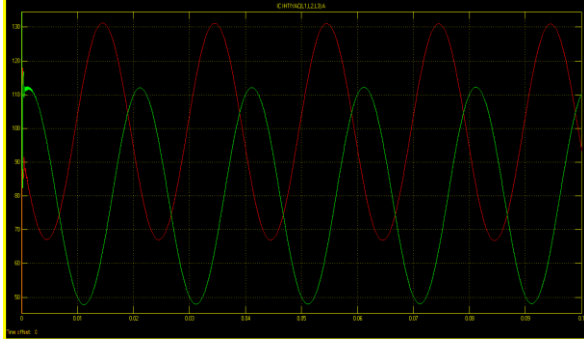
Kısa devre oluştuğu anda kesicinin davranışı; akımın sönümlenip, gerilimin kesilmesi Şekil 16.'da görülmektedir.



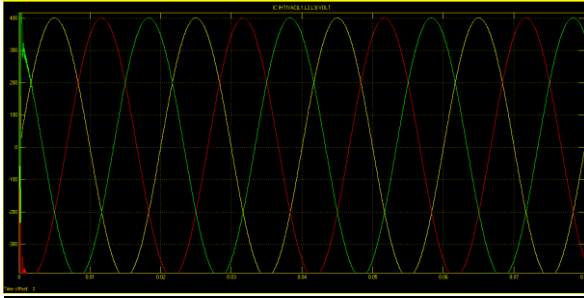
Şekil 16. Keban TM 154 kV'luk Baranın Olduğu Kısım ile Elazığ-2 TM'ye Giden Hat Üzerinde Oluşan 3 Faz Kısa Devre Analizi



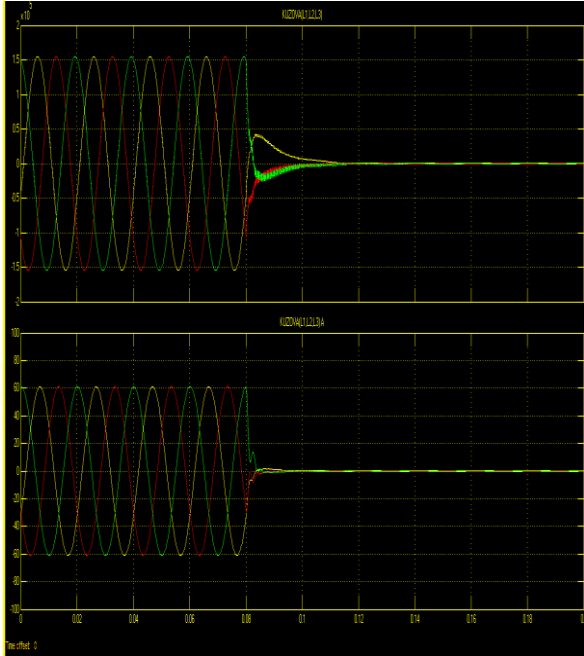
Şekil 17. Rölelerin Algılamadığı Durumda Keban Şalt Merkezinden Kısa Devrenin Görüntüsü



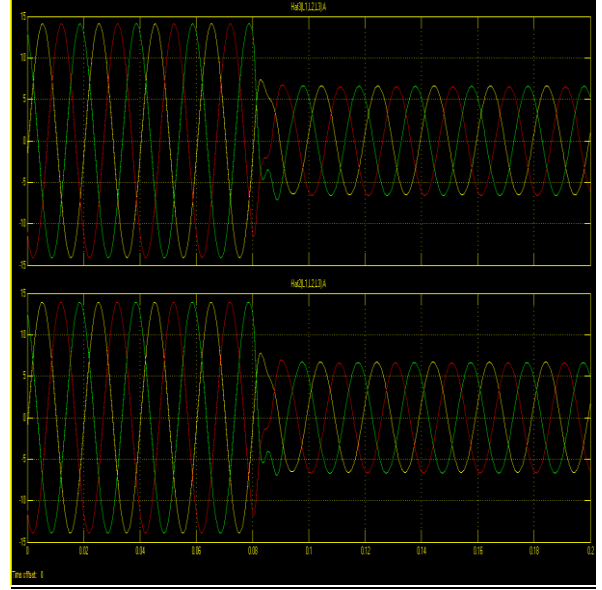
Şekil 18. 1. Keban Hidroelektrik Santral Ünitesi İç İhtiyaç Trafosundaki Jeneratör Kaynaklı Transient Hata Analizi



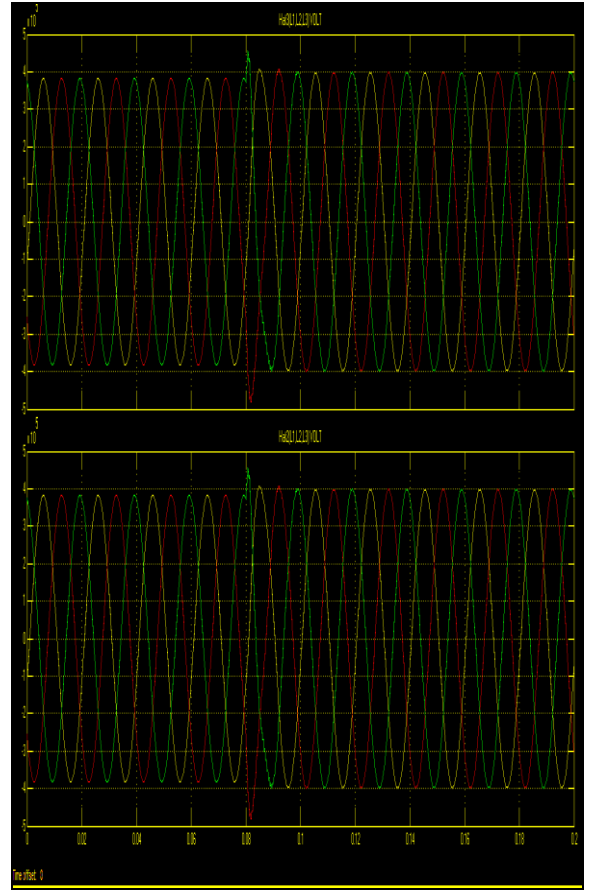
Şekil 18. 2. Keban HES Ünitesi İç İhtiyaç Trafosundaki Jeneratör Kaynaklı Transient Hata Analizi. (Gerilim Seviyesi İstenilen Değerdedir.)



Şekil 19. 1. Keban Trafo Şalt Merkezi 2012 Numaralı Kesicinin Koordinasyon Bozukluğu Durumunda Sistemin Davranışı



Şekil 19. 2. Keban Trafo Şalt Merkezi 2012 Numaralı Kesicinin Koordinasyon Bozukluğu Durumunda Sistemin Davranışı- İstenmeyen Yük Atma Durumu (Sorunu).



Şekil 20. Keban Trafo Şalt Merkezindeki 2012 Numaralı Kesicinin Koordinasyon Bozukluğunda Fiderlerde Görülen Gerilim Salımları

MatlabTM/Simulink ile gerçekleştirilen modelleme çalışması sonucunda elde edilen hata analizinde (Bakınız Şekil 18. 2.) Şekil 18. 1. ile gösterilen çalışmanın aksine, gerilimin istenilen seviyede olduğu görülmektedir. Kuzova Hattı Şekil 19. 2. figüründe modellemesi simülasyon çalışması ile gerçekleştirilen sorun nedeniyle enerjisiz kalmıştır.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada *MatlabTM* yazılım programının **Simulink** araç kutusu kullanılarak modellenen enerji iletim şebekesinin güç akışı ve kısa devre olayları bilgisayar ortamında incelenmiştir. Güç akışı sonucunda söz konusu iletim şebekesinde bulunan trafo, enerji nakil hatları ve yüklerde, akım, gerilim, aktif ve reaktif güç değişimleri elde edilmiştir. Trafo merkezlerinde trafoların aktif ve reaktif yükleri incelenerek ilave edilecek olan güç miktarı tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda enerji alanında ilgili bölgeye yapılacak yatırım planlamasının önceden yapılması hedeflenmiştir. Güç akışı sonucunda ana bara gerilim değerleri karşılaştırılarak, enerji iletim hatlarında oluşan gerilim düşümü ve hat kayıpları tespit edilebilmektedir. Modellenen enerji iletim şebekesinin bilgisayar ortamında simülasyonu, uygulanan kısa devre analizi sonucunda sistemdeki trafo merkezlerinin giriş ve çıkış akım seviyelerinin normal çalışma durumlarına göre değiştiği grafiklerden görülmüştür. Bu akımlar şebeke üzerinde yer alan elemanlarda aşırı ısınma ve büyük manyetik kuvvetler meydana getirerek, mekanik kayıplara sebep olmaktadır. Kısa devre analizi sonucunda şebekede bulunan, yenilenmesi gereken ve ilave edilecek kesicilerin açma gücü tespit edilebilmektedir. Bunun sonucunda kesicilerin açma güçleri tespit edilerek üretim, iletim ve dağıtım şebekesinde kullanılan röle ayarları yapılarak, sistemde röle koordinasyonu sağlanabilmektedir. İletim şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesinin en

önemli faydası, gerçek sistemdeki manevra ve kumanda ayarlarını bilgisayar ortamındaki veriler ile hesaplabilmek, sorunları grafik ve analiz sonuçlarına göre yorumlayarak, gerçek sistemdeki problemlere önceden müdahale edilebilme imkanı sunmasıdır. Bu sayede, en kötü senaryolara karşı sistemlerin nasıl davranış göstereceği hakkında fikir sahibi olarak istenmeyen senaryolar için tedbir almamıza yardımcı olacaktır.

TEŞEKKÜR Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Birimince Desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Hewitson L.G., Brown M., Balakrishnan R., Simple calculation of short-circuit currents, Practical Power System Protection
2. Kaşıkçı, İ., Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60909, 27-39, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010
3. Costa, V. M., Oliveira, L. O., Guedes, M. R., Developments in the Analysis of Unbalanced Three-Phase Power Flow Solutions, International Journal of Electrical Power & Energy Systems
4. TEİAŞ, Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların Trafoların ve Jeneratörlerin Elektrik'i Karakteristiği, Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü
5. TEİAŞ 13.İletim Grup Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesinde Bulunan Teknik Bilgiler
6. Power System Analysis and Design 5th Edition J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye
7. Schaum's Outlines Electric Power Systems
8. Francisco M. Gonzalez-Longatt José Luis Rueda, PowerFactory Applications for Power System Analysis
9. http://www.openelectrical.org/wiki/index.php?title=According_to_the_IEC_60909
10. Calculation of short-circuit currents (Schneider Electric documents)