

ÖNSÖZ

Kesintiler nasıl azaltılabilir ? Bu sorunun yanıtı geniş ölçüde sisteme yapılan yatırımlara ve sahip olunan yedek birimlere, çevresel ve doğal özelliklere, kullanılan işletim ve denetim yöntemlerine, işletim personelinin teknik eğitim, düzeyine bağlıdır. Alınması gerekli önlemler de dolayısıyla, sistem özelliklerine ve işletim sorunlarına bağlı olacaktır.

Hızlı kentleşme ve endüstriyel büyüme, toplumsal ve ekonomik yapının kesintilerden giderek daha fazla etkilenebilmesine yol açmaktadır. Endüstriyel büyümeye paralel olarak, sistemin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim birimlerinin sayısı ve büyüklükleri artmakta, aralarındaki ilişkiler karmaşıklaşmaktadır. Bu çapta ve karmaşıklıkta bir sistemi birtakım basit yöntemlerle denetleyebilmek ve kesintisiz olarak işletebilmek giderek zorlaşmaktadır.

Karşılaşılan çeşitli işletim sorunlarına bakarak, ülkemizin de orta dönemde modern sistem işletim ve denetim teknikleri planlama ve uygulama çalışmalarına gireceğini öngörmek kolaydır. Konunun dünyada ulaştığı yüksek teknoloji düzeyi, sürekli yeni bilgisayar donanım modelleri ve denetim tekniklerinin ortaya çıkması, kurulan sistem denetim merkezlerinin ticari ve teknik nedenlerden dolayı hemen hiç birinin diğerine benzememesi, yapılacak yatırım harcamalarının yüksek düzeyde oluşu, bazı uygulamalarda karşılaşılan başarısızlıklar, geniş ve detaylı planlama çalışmaları yapılmasını gerektirmektedir.

Bu yazı dizisinin temel amacı, kesintileri azaltabilmek, sistemin ekonomik ve güvenli olarak işletebilmek için gelişmiş ülkelerde benimsenen temel teknik yaklaşımları, son uygulamaları ve beklenen gelişmeleri kısaca tanıtmaktır. Konu üzerinde yapılan yayınların geniş hacmi karşısında, dizinin bir bakıma yüzeysel ve eksik olması doğaldır.

Dizideki yazılardan ilkinde kesintilerin ana nedenleri incelenmekte ve karşılaşılan bazı tipik kesinti olayları anlatılmaktadır. İkinci yazıda bilgisayarlara dayalı sistem denetim merkezlerinin kesintilerin azaltılmasındaki işlevi, ne ölçüde yararlı olabildikleri, karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözülebilen, çözülemeyen yönleri açıklanmaktadır. Son yazıda ise kesintilerin gelecekteki durumu ve sistem denetim teknolojisinde beklenen gelişmeler anlatılmaktadır.

Ülkemizde teknik yayın konusunda, gelişmiş köklü bir teknik dil henüz mevcut değildir. Bu bakımdan, bir takım teknik terimlerin herkes tarafından kabul edilen türkçe karşılıkları tam olarak yerleşmemiştir. Bu yazıların çeviriminde, teknik dil konusunda bir uzmanlık savı taşımak yerine, kolay anlaşılır ve yerleşme olasılığı olan bir dil kullanılmıştır. Okurlara yardımcı olmak amacıyla, yazı dizisinin sonununda kullanılan türkçe teknik sözcüklerin ingilizce karşılıkları verilmiştir.

Osman Sevaioğlu

KESİNTİLER VE NEDENLERİ (*)

Yazan : D.N. Ewart
General Electric Company
Çeviren : Osman Sevaioğlu
ODTÜ

ABD'de ortalama olarak yılda 35 kez, yani yaklaşık her on günde bir, ülkenin bir bölgesinde ciddi çapta elektrik kesintileri olmaktadır. Bu kesintilerin yüzde 50'sinde; tüketim toplamı 100 MW'ı geçen, yaklaşık 45000 tüketici servis dışı kalmaktadır. İşletme raporlarına göre, açma ve yük atma olayları her yıl % 6 oranında artmaktadır. Bu oran, aslında beslenebilen yüklerin yıllık artış oranıyla aynıdır. Bu konuda yapılan tüm yayınlara, eleştirilere, bireysel olaylar sonucu uğranılan zararlara rağmen, bir yılda (1976) meydana gelen kesinti toplamı 100 GWh, kesilen enerjinin, karşılanabilen enerjiye oranı ise milyonda 50'dir.

Enerji kesintilerinin nedenleri nelerdir? Genel olarak, bir sistemin normal kapasite ve sınırlarının üzerinde çalışmaya zorlanması kesintilerin temel nedenidir. Doğal dış etkenler (fırtınalar, yıldırım düşmeleri), sistemin veya sistem birimlerinin hatalı işletilmesi, sistem tasarımındaki eksiklikler, bakım ve işletmeye alma testlerindeki yetersizlikler, kullanılan malzemelerdeki kalitesizlik, koruma sistemlerinde zayıflıklar ve yanlış çalışmalar sonucunda, sistemde arızalar ve açmalar meydana gelebilir. Bu açmaları, başka zincirleme açmalar izleyebilir ve sonunda sistem, birbirinden bağımsız elektriksel bölgelere ayrışabilir.

Kesintiler tamamen önlenemez mi? Genellikle hayır. Fakat azaltılabilirler. 13 Temmuz 1977'de New York'un tüm elektrik servisinin kesilmesine yol açan arızadan iki ay sonra, 26 Eylül'de benzer bir arıza meydana gelmesine rağmen, sadece 200 MVV'lık bir yükün bir saat atılmasıyla sistem kurtarılmıştır.

Arıza raporlarının dikkatle incelenmesiyle kesintinin ana nedenleri, sistemdeki işletme ve bakım hataları, tasarımda veya sistem elemanlarındaki zayıflıklar, sistem operatörlerine iletilen bilgi ve şemalarda ne gibi eksiklikler olduğu, bir ölçüde ortaya çıkarılabilir. Yapılacak düzeltmeler ve alınacak önlemlerin etkili olabilmesi, bu incelemelere bağlıdır. Arıza etkenleri tanıdıktan ve düzeltildikten sonra sistem, benzer türdeki kesintilere daha az maruz kalacaktır.

KESİNTİ İSTATİSTİKLERİ

1970'lerin başından beri ABD Federal Enerji Komisyonu elektrik şirketlerinden, 69 kV ve daha yukarı sistemler-

(*) IEEE SPECTRUM, Nisan 1978.

deki arızalar nedeniyle yapılan 100 MW'dan büyük, 15 dakikadan uzun süreli kesintilerin arıza raporlarını istemektedir. Daha küçük ölçüde kesintiler için de, eğer atılan yük sistemin puant yükünün yarısından fazla ise, aynı raporlar istenmektedir.

Tablo 1'de 1971-1976 yılları arası yapılan yük atımları verilmiştir.

- Kesintilerin % 60'ında bu süre 1 saatten fazladır ve yılda ortalama 21 kez olmaktadır.
- Kesintilerin % 10'unda bu süre 8 saatten fazladır ve yılda ortalama 3 veya 4 kez olmaktadır.
- Kesintilerin % Tinde kesinti süresi 1 haftadan fazladır ve ortalama her üç yılda bir kez tekrarlanmaktadır.
- Bunlardan başka, dış-kestirim yöntemiyle kesintilerin % 1/3'ünde tekrar servise almasüresinin 1 ay civarında olacağı ve böyle kesintilerin, yaklaşık her 10 yılda bir kez tekrarlanabileceği söylenebilir.

Raporlarda en uzun kesinti kar fırtınası nedeniyle 1500 MW'ın 16 gün süreyle atılması olarak belirtilmiştir. Bu süre boyunca sistemin geri kalan kısmı normal çalışmasına devam etmiştir.

Yukardaki istatistiklerden, sanıldığı gibi tersine, kesintilerin çok sık meydana geldiği söylenebilir. Kesintiler, süre, kesilen güç ve etkilenen tüketici adedi bakımından bazen çok ciddi düzeylere ulaşabilir. Kesilen gücün toplam beslenebilen güce oranı çok küçük olduğu halde olayın, toplumun sosyal, hatta politik yapısı üzerindeki etkisi büyüktür.

Raporlardaki bilgileri gruplayarak, kesintilerin özellikleri hakkında daha nicel bilgiler elde etmek mümkündür. 211 yük atma olayı içinde atılan en küçük yük 2,4 MW, en büyüğü ise 3632 MW değerindedir.

Tablo 1. ABD Federal Enerji Komisyonu Raporlarına göre 1971 -1976 Yılları Arası Meydana Gelen Yük Atımları

Yıllar	Kesintilerin Sayısı	Atılan Yük (MW)	Etkilenen Tüketicilerin Sayısı (*)
1971	31	7684	W
1972	28	4208	1.450.000
1973	37	14551	9.419.000
1974	32	9455	2.894.000
1975	48	5730	2.432.000
1976	35	9832	3.602.000

(*) Tüketici, burada raturalandırılan bir müşteri veya bir endüstriyel kuruluş anlamındadır. Kesintiden etkilenen toplam bireylerin sayısı, bu rakamların birkaç katıdır.

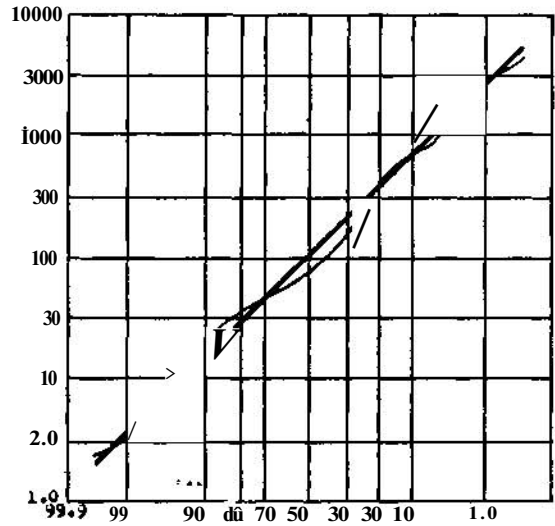
(+)1972'den öncesi bildirilmemiştir.

Atılan yük değerleri, kesintilerin adedine göre gruplanarak çizilirse ortaya normal bir dağılım çıkmaktadır.

Logaritmik eksenler içinde bu dağılım Şekil 1'de görüldüğü gibi bir doğruyla gösterilebilmektedir. Bu doğrusal modeldeki noktalar arasında iç ve dış-kestirimler yaparak bazı sonuçlara varmak mümkündür. Bu yöntemle belli bir istatistiksel yaklaşıklıkla çıkarılan sonuçlar şunlardır :

- 2900 MW'ın üzerinde yük atımları, yılda üç veya dört kez meydana gelmekte ve toplam kesintilerin % 10'unu oluşturmaktadır. Bu kesintilerin her birisi yaklaşık 300.000 tüketiciyi etkilemektedir.
- 1.300.000 tüketici etkileyen, 2900 MW'ın üzerindeki yük atımları, toplam kesintilerin % 10 civarındadır ve her üç yılda bir kez olmaktadır.
- 5500 MW'ın üzerindeki kesintiler yaklaşık her on yılda bir olmaktadır ve 2.500.000 tüketiciyi etkilemektedir. Bu kesintilerin oranı ise % 1/3 civarındadır.

Atılan yük (JM)



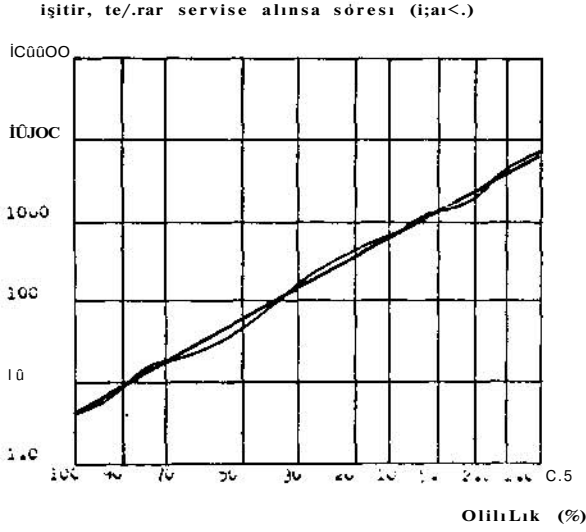
Ols.UİK (%)

Şekil 1 - 1971-1976 yılları arasında oluşan 211 yük atma olayının MW—Olasılık dağılımı

Bu yazıdaki istatistiklerin hazırlanmasından sonra meydana gelen 13 Temmuz 1977 New York kesintisinde ise, atılan toplam yük 6000 MW, kesintiden etkilenen toplam tüketici sayısı da 2725000 tir. New York'un kuzeybatı bölgelerinde benzer bir kesinti de 1965 yılında olmuştu.

Kesintiden sonra tüketiciyi tekrar servise alabilmek için geçen süre üzerinde de benzer istatistiksel sonuçlar çıkarılabilir. Bu değerler, kesintilerin adedine göre gruplanır ve çizilirse, ortaya üstsel bir dağılım çıkmaktadır. Logaritmik eksenler altında bu dağılım, Şekil 2'de görüldüğü gibi bir doğruyla ifade edilebilmektedir. Bu doğru üzerinde iç ve dış kestirim yöntemleri kullanılarak şu sonuçlara varılabilir :

- Kesintilerin % 90'ında, tekrar servise alabilme süresi 30 dakikadan fazladır. Bu tür kesintiler yılda ortalama 31 kez tekrarlanmaktadır.



Şekil 2—211 kesintide yüklerin tekrar alınma surelerinin olasılık dağılımı

SİSTEMİN ÇALIŞMA DURUMLARI

Bir enerji sisteminin çeşitli işletme olayları sonucunda «irdiği çalışma durumları, yıllardan beri araştırma konusu olmuştur. Bu çalışma durumlarının tanımları tam olarak yapılmamış olmakla birlikte, genelde beşe ayrıldıkları kabul edilmektedir : Normal, uyarım, acil, kesinti, çözüme. Meydana gelen bir elektriksel olay sonucu, sistem bu durumlardan herhangi birinden diğerine geçebilir. Bu şekilde bir tanımlama, işletim sorunlarının modellenmesine ve çözümüne daha matematiksel bir yaklaşım sağlayacaktır.

Genel olarak sistem, normal çalışma durumundan uyarım durumuna, hatlara yıldırım düşmesi vs. gibi başlatılan bir olay nedeniyle girer. Olayın ardından sistem, bazı iletim ve/veya üretim olanaklarını kaybeder ve bir takım işletim zayıflıkları ortaya çıkar. Uyarım durumunda çalışan böyle bir sistem, hatlara ikinci bir yıldırım düşmesi, bazı birimlerin yanlış çalışması, koruma sistemlerinin aşırı yüklenmiş bir üretim birimini devre dışı etmesi gibi ikinci bir işletme olayı sonucu kolaylıkla acil çalışma durumuna girebilir.

Uyarım durumunda sistem operatörleri, karşılaşılan olayın önemine göre işletme ekonomisi ve sistem güvenliği arasında seçimler yaparlar. Sistem güvenliğinin ihmal edilmesine bağlı olarak, uyarım çalışma durumunun iki, üç veya daha fazla kademesi olabilir. Her yeni kademeye geçişte, sistemin acil çalışma durumuna girme olasılığı biraz daha artar. Pratik deneyimler, sistem operatörlerinin en çok bu ilk uyarım kademesinde karar verme güçlükleriyle karşılaştıklarını göstermiştir. Operatörler, eldeki kısıtlı ve bazen de çelişkili bilgilere bakarak kararlar vermek ve sistemi tekrar normal çalışma durumuna getirmek zorundadırlar. Karşılaşılan olayların ihmalı kadar, aşırı düzeltme tedbirlerinin alınması da zararlı olmaktadır.

Uygulanan denetim komutlarına ve işletme olaylarına bağlı olarak sistem, uyarım durumundan acil, normal veya kesinti durumlarına geçebilir.

Acil çalışma durumuna geçme, koruma rölelerinin (veya sistem operatörlerinin) sistemin arızalı kısmını ana kısımdan ayırmaları ile başlar. Bu işlem sonucunda sistemde bazı kısmi kesintiler oluşabilir. Bu anda tüm gayretler, arızanın bütün sisteme yayılmasını önlemek ve kalan kısımların normal çalışmasına devam etmesini sağlamak üzerine yoğunlaştırılır. Acil çalışma durumunda sistemin ekonomik işletim koşulu bir kenara bırakılır, her türlü olanaklar kullanılarak üretimler artırılmaya, iletim aksaklıkları giderilmeye, gerekirse yük atılmaya ve aşırı derecede yüklenmiş sistem birimleri (özellikle hatlar ve trafolar) rahatlatılmaya çalışılır. Uygulanan komutların başarılı veya başarısız olmasına göre, sistem normal veya kesinti durumuna geçer.

Kesinti durumunda uygulanan denetim komutlarının hatalı veya yetersiz olması halinde, sistem tekrar uyarım veya acil çalışma durumlarına dönebilir, örneğin, servise alınmaya çalışılan bir üretim ünitesi, sisteme senkronize edilemeyerek tekrar devre dışı olabilir.

Bazı hallerde acil çalışma durumunda uygulanan bu denetim komutları başarılı olmayabilir. Bu durumda sistemde, denetim dışı bir takım zincirleme açmalar, kopmalar ve yük atılmaları meydana gelebilir. Bu çalışma durumuna da sistemin çözülme durumu adı verilmektedir. Operatör tarafından veya otomatik olarak yapılan yük atmalar sonucunda üretim ve tüketim dengesi hala sağlanamamış ise, sistemin tümü veya kopan kısmı senkronizmasını kaybederek servis dışı kalabilir.

KESİNTİLERE YATKINLIK

Kesintilerin nedenlerini incelerken tıp dilindeki "hastalığa yatkınlık" terimini kullanmak yerinde olacaktır. Yatkınlık, bir takım dış etkenlere karşı organizmanın çeşitli hastalıklara yakalanma olasılığının yüksek oluşu olarak tanımlanabilir, örneğin, yüksek tansiyona sahip bir hastanın kalp krizine yakalanma olasılığı, diğer insanlara göre daha fazladır. Ailelerinde şeker hastası bulunan kişilerin şeker hastalığına yakalanma oranları yüksektir. Sigara ve şişmanlık, çeşitli kalp hastalıkları için bir yatkınlık faktörüdür, örneklerden de anlaşılacağı gibi hastalıklar, bazen hastanın denetimindeki, bazen de hastanın elinde olmayan nedenlerle oluşmaktadır.

Kesintiye yatkınlığı olmayan bir sistemde herhangi bir elektriksel olay olması durumunda, koruma ve denetim mekanizmaları istendiği gibi çalışarak, sistemin geniş çapta bir kesintiye uğramasını önlerler.

Yatkınlık faktörü, hastalığı veya enerji kesintisini başlatan olayla karıştırılmamalıdır. Kesintilere yatkınlık faktörünün matematiksel bir tanımı yapılmadığı için, bu yazıdaki fikirler geniş ölçüde endüstriyel deneyimlere ve gözlemlere dayanacaktır.

BÖLGENİN COĞRAFYASI

Bir enerji sistemi, kurulduğu bölgenin akarsuları, dağları, doğal kaynakları vs. gibi çeşitli coğrafi özellikleriyle kısıtlanmıştır. Bu özellikleri nedeniyle bir sistemi, her tarafından diğer komşu sistemlere bağlamak mümkün olma-

yabiiir. Bu durumda sistem, açmalar kopmalar gibi elektriksel olaylardan daha fazla etkilenecektir, örneğin, Tablo 1'deki toplam 211 kesintinin 12 tanesi, Florida Yarımadası'nda meydana gelmiştir. Ülkenin üçte ikisiyle Kanada'yı doğrudan birbirine bağlayan bu bölge toplam üretimin sadece % 3,3'üne sahiptir. Dolayısıyla, altı yıllık gözlem raporlarına dayanarak, bu bölgenin yılda % 10 olasılıkla 12 veya daha fazla kez kesintiye uğrayacağını söylemek mümkündür.

Çeşitli önlemler alınmasına rağmen, dış bağlantılarının zayıf oluşu, bu bölge için bir yatkınlık faktörü oluşturmaktadır. Bunlardan başka, tuzlu atmosfer, fırtınalar ve normalden fazla sayıda yıldırım olayları da bu yatkınlık faktörünü arttırmaktadır.

Yoğun yerleşim alanlarındaki iletim sistemleri, çoğu zaman dar bir arazi koridorundan geçmek zorunda kalırlar. Aynı yönde, çok sayıda hat çekilmesiyle böyle koridorlarda sistemde enerji yoğunluğu artar. Bu tür tasarımlar her ne kadar zorunlu da olsa, sistemin kesintilere yatkınlığını arttıracaktır. Yangın, fırtına, yer sarsıntısı gibi doğal etkenler ve çeşitli kazalar bu hatları kopararak, sistemin uzun süre kesintilere uğramasına neden olabilirler. Böyle iletim koridorlarının kayalıklar vs. gibi kötü arazi yapısına sahip bölgelerden geçirilmesi, sistemin yatkınlık faktörünü daha da arttıracaktır. Bu durumda enerji direklerinin toprak dirençleri artacak ve sistem, yıldırım düşmesi sonucu oluşan aşırı gerilimlerden etkilenecektir. Dağılık bölgelerden geçen iletim sistemlerinin bakım ve tekrar servise alma çalışmaları uzayacak, zorlaşacaktır.

OPERATÖRLERİN EĞİTİMİ

Kesintiler konusunda giderek önemi artan bir diğer konu da sistem operatörlerinin eğitimidir. Operatör eğitiminin pratik yönleri ve standartları, günümüzde elektrik şirketleri arasında çok farklılıklar göstermektedir. Şirketler genellikle operatörler işbaşında eğitmekle, ayrıca çeşitli dış kurslara göndermektedirler. Sistem işletim sorunlarının ve denetim mekanizmalarının giderek karmaşıklaşması karşısında, operatörlerin bilimsel, kapsamlı ve yoğun eğitimlerden geçirilmeleri önem kazanmıştır. Operatörlerin özellikle işletme deneyimi ve yeteneklerini arttırmak için, benzetişim tekniklerine dayalı eğitim yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Yakın gelecekte bu tür operatör eğitimi yöntemlerinin hızla gelişeceği ve yaygınlaşacağı açıktır.

DİĞER ETKENLER

Bir sistemin kesintilere yatkınlığını belirleyen diğer etkenler, bakım çalışmalarının sıklığı, santral ve kesici merkezlerinin tasarımı ve işletmesindeki deneyim düzeyi, kullanılan malzemenin kalitesi, zamanla yapısı ve işletim özellikleri değişen sisteme koruma aygıtlarının uyumu, testlerdeki titizlik düzeyi, tasarım çalışmalarında her türlü işletme durumunun eksiksiz ve duyarlı olarak hesaba katılması, sistem operatörlerinin teknik eğitim düzeyleri, diğer politik ve ekonomik koşullar olarak sıralanabilir.

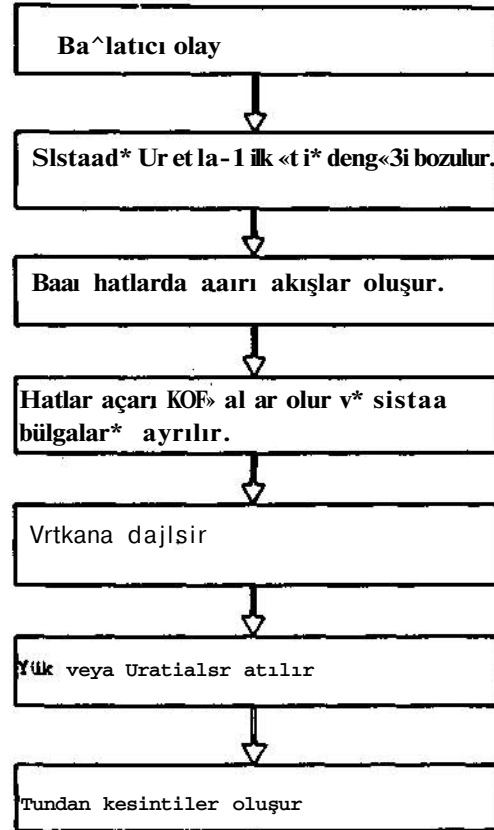
Sistemin kesintilere yatkınlığını belirleyen etkenlerin

saptanması üzerine günümüzde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Elektrik Enerjisi Araştırma Merkezi (EPRI), bu konuda çok geniş araştırmalar yürütmektedir. Bu araştırmalar, uzun dönem sistem dinamiği, değişen frekans ve gerilimler altında yüklerin dinamik özellikleri, sistem kararlılığı hakkında yeni çözüm yöntemleri, düşük frekanslı salınımlar gibi birçok konuları kapsamaktadır. Bunlardan başka, acil çalışma durumunda sistem denetimi üzerine çeşitli araştırmalar desteklenmektedir.

OLAYLAR VE ÖĞRETİLERİ

Kesinti olaylarının ayrıntılı olarak incelenmesiyle, sistemin olaydan önceki çalışma durumu, yapılan tasarım ve işletme hataları hakkında çok önemli bilgiler elde edilebilir. Bu bilgiler kullanılarak sistemin ileride benzer türde kesintilere uğrama olasılığı büyük ölçüde azaltılabilir. Ekte verilen tipik kesinti olaylarında, bir sistemin ne kadar çeşitli ve karmaşık nedenlerle açmalara uğrayabileceği ve bunları önlemenin zorlukları açıklanmıştır. Bu açıklamalar EPRI tarafından yürütülen "Uzun-Dönem Sistem Dinamiği, Kesintilerin Nedenleri" adlı araştırmadan alınmıştır.

Şekil 3'te sistemin başlatıcı bir olay ile normal durumundan kesintiye doğru adım adım nasıl ilerlediği gösterilmiştir.



Şekil 3 - Kesintiyle sonuçlanan olaylar dizisi. Dizideki her olay otomatik veya eMe denetlenen komutlarla başlar. Üretim-tüketim dengesi >4ık atmalara rağmen sağlanamamış ise tümünden kesintiler oluşur.

Ekte verilen örnek olaylarda, sistemde geniş çapta kesintilere yol açan işletim arızaları ve oluşan diğer zincirleme olaylar anlatılmaktadır.

Örneklerdeki olayların çoğunda kesintiler, sistem elemanlarındaki bir arıza yerine, sistemin işletim sorunlarından kaynaklanmıştır. Buradan da, tüm sistem birimlerinin mükemmel çalışması sağlansa bile, kesintilerin tamamen ortadan kaldırılamayacağı sonucuna varılabilir. Sistemi oluşturan, santral denetimi, koruma röleleri, bilgi ileşimi ve gösterimi gibi her alt-sistem, beklenmedik ve şiddetli elektriksel olaylar veya birtakım istenmeyen işletme koşullarının biraraya gelmesiyle kesintiye yolaçabilirler.

Bu alt-sistemler genellikle çok sayıda giriş değişkenine sahip olduklarından, zor koşullar altında çalışma özelliklerinin önceden saptanması kolay değildir. Bunlar sap ta tısa bile, sistemin her türlü işletim ve arıza koşulu karşısında çalışma durumunu tasarım aşamasında incelemek, çoğu zaman mümkün değildir. Bu alt-sistemlerin istenen şekilde çalışmaması halinde denetim sorumluluğu, büyük ölçüde sistem operatörlerine kalmaktadır. Sistem operatörlerinin teknik bilgi, deneyim ve yetenekleri ise böyle durumlarda hızlı ve doğru karar verebilecekleri düzeyde olmayabilir.

Sistemde oluşan şiddetli bir elektriksel olay, genellikle 60 Hz'lik senkron frekanstan önemli saptalara yolaçar. Bu saptalar daha sonra bazı üretim ünitelerinin veya yüklerin atılmasına, dolayısıyla sistemin üretim -yük dengesinin bozulmasına neden olurlar. Bu dengede yüzde 12'lik bir bozulma, frekansta yaklaşık 1 Hz'lik bir değişim yaratmaktadır. Frekansın tekrar 60 HZ'e getirilmesi, üretim birimlerinin servise alınması ve yük-üretim dengesinin tekrar sağlanması ile, sistem tekrar normal durumuna getirilir.

ELEKTRİK ENERJİSİ SİSTEMLERİN GENEL YAPISI

Bir elektrik enerji sistemi üretim birimleri, iletim trafo merkezleri ve bunları bir ağ şeklinde birleştiren yüksek gerilim iletim hatlarından oluşur. Şekil 4. a ve 4. b'de bu birimlerin birleştirilme şekli ve sistemin işlevsel yapısı görülmektedir. Üretim birimleri genellikle buhar, gaz veya hidro-türbinlerle çalıştırılan senkron üreteçlerden oluşur. Genellikle bir santralde birden fazla üretim birimi bulunur. Bu santrallarda üretilen güç, yükseltici trafolar aracılığıyla doğrudan iletim sistemine aktarılır.

İletim sistemi, çeşitli bölgelere enerji taşıyan peşpeşe bağlı alt-sistemlerden oluşur. Farklı gerilim düzeylerinde çalışan bu alt-sistemler, iletim trafo merkezleriyle birbirlerine bağlıdır. Her alt-sistem, kendisine bağlı bir önceki alt-sistemin yaklaşık iki katı veya yarısı gerilime ve dört misli veya dörtte biri taşıma kapasitesine sahiptir. Üretim üniteleri ve trafo merkezleri genel olarak orta ve yüksek gerilim alt-sistemlerine bağlanmaktadır. Günümüzde, yeni ve büyük üretim birimleri çoğunlukla yüksek gerilim alt-sistemine bağlanmaktadır. İletim sistemi aynı zamanda, komşu sistemlerle bağlantıyı ve enerji alışverişini sağlamaktadır.

Dağıtım sistemleri genelde iletim sistemlerine benzemek-

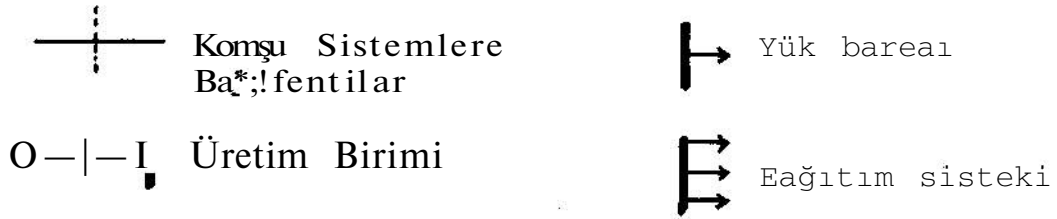
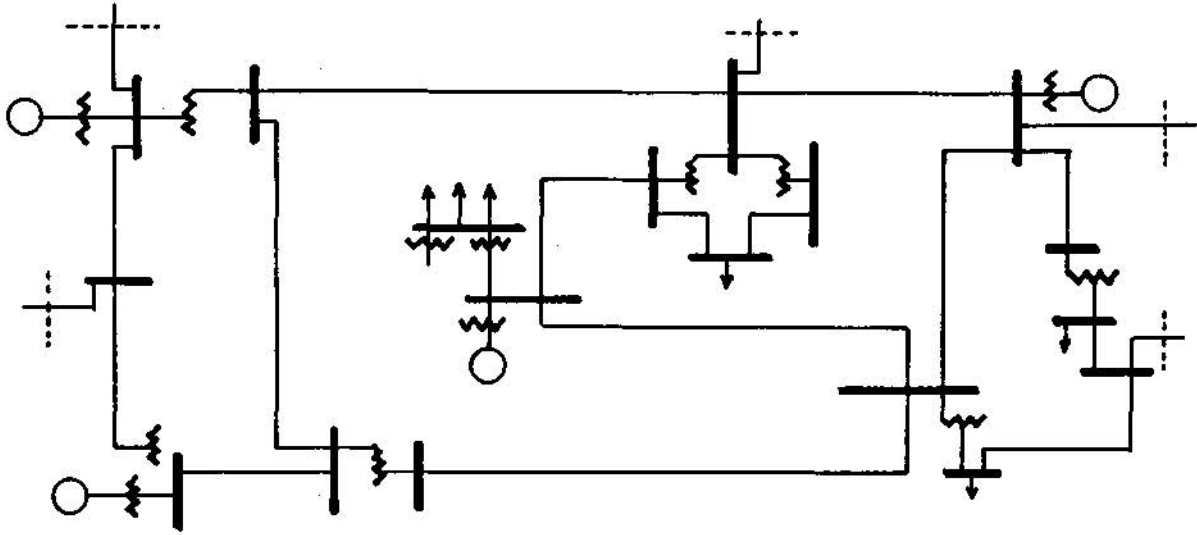
te, fakat daha küçük yerel bölgeleri beslemektedir. Dağıtım sistemleri enerjilerini iletim sistemlerinden almaktadırlar. Ağ yapısındaki yüksek gerilim dağıtım sistemlerinde gerilim düzeyi, birden fazla trafo merkezi tarafından peşpeşe düşürülmektedir. Daha düşük gerilimlerde besleme, radyal sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Böyle sistemlerde gerilim, tüketici düzeyine iki kademede düşürülmektedir. Kesici merkezlerindeki kesicilerin farklı durumlarda açılıp kapanmalarıyla, radyal sistemlerin çeşitli şekillerde beslenebilme meleri mümkün olmaktadır. Büyük yerleşim merkezlerinin beslenmelerinde, gerilimin iletim sistemlerinden tüketicilere sadece bir kademede indirilmesi de yaygın bir uygulama haline gelmektedir.

Bir enerji sisteminin birçok üretim birimlerinden ve çeşitli gerilim düzeylerinde çalışan iletim ve dağıtım alt-sistemlerinden oluşması, tüketicilere daha kesintisiz bir servis olanağı sağlamaktadır. Bu şekilde tasarımılanan bir sistem, hat açmalarına karşı daha güvenli olarak işletilebilmektedir.

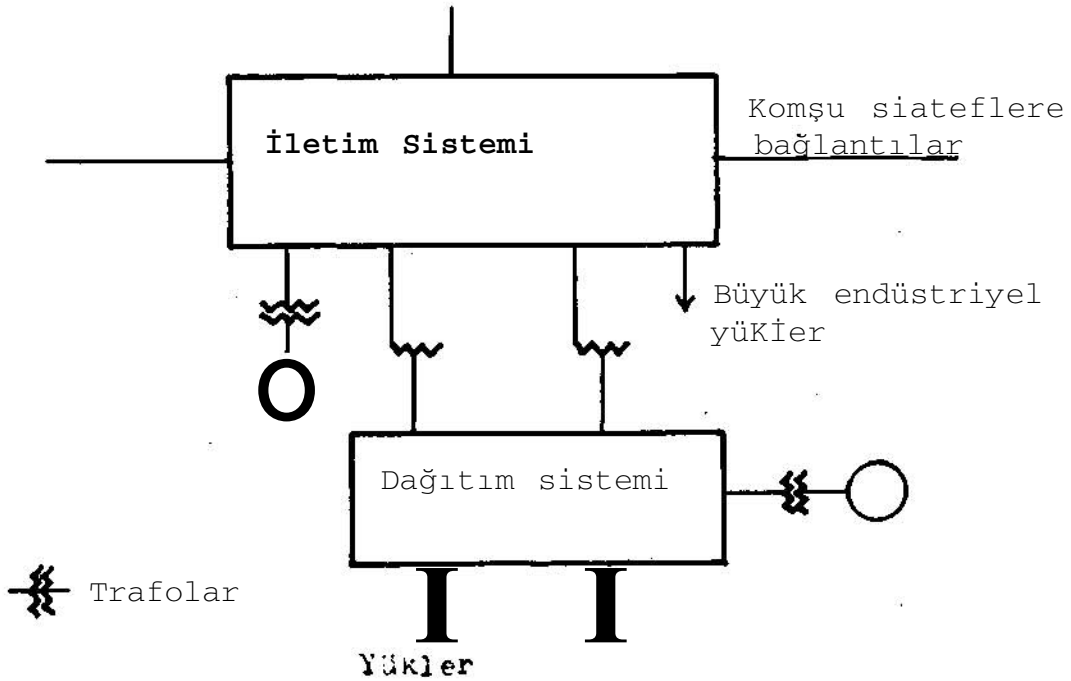
Sistem denetimi ve otomasyonu, sistemin işletim yapısına benzer bir şekilde, kademeler halinde gerçekleştirilmektedir. Şekil 4. c'de gösterilen bu denetim ve otomasyon kademeleri, enerji sistemi üzerinde ikinci bir ağ oluşturmaktadır. Bu ağ, sistemdeki çeşitli üretim, kesici ve denetim merkezleri arasındaki bilgi ve komut iletişimini sağlamaktadır.

Sistem operatörlerinin temel işlevleri, sistem üretim tüketim dengesinin denetimi, çalışma koşullarının ve sistem güvenliğinin izlenmesi, istenen kalitede ve miktarda enerjinin sağlanabilmesi için denetlenebilir değişkenlerin sürekli ayarlanması gibi çalışmalarını kapsamaktadır. İşlevlerinin gereği olarak operatörler, sistemin çeşitli düzeydeki sorunlarını çözen vazgeçilmez unsurlardır. Sistem operatörleri özellikle, sistemin anormal çalışma durumlarında gerekli düzeltim stratejilerini saptayarak, sistemi en kısa zamanda tekrar normal ve güvenli çalışma durumuna geçirmek üzere eğitilmişlerdir. Operatörler, bu düzeltim kararlarını sistemin çeşitli noktalarından toplanan bilgilere ve merkezdeki bilgisayarlar da yapılan sistem çözümleme sonuçlarına dayanarak vermektedirler.

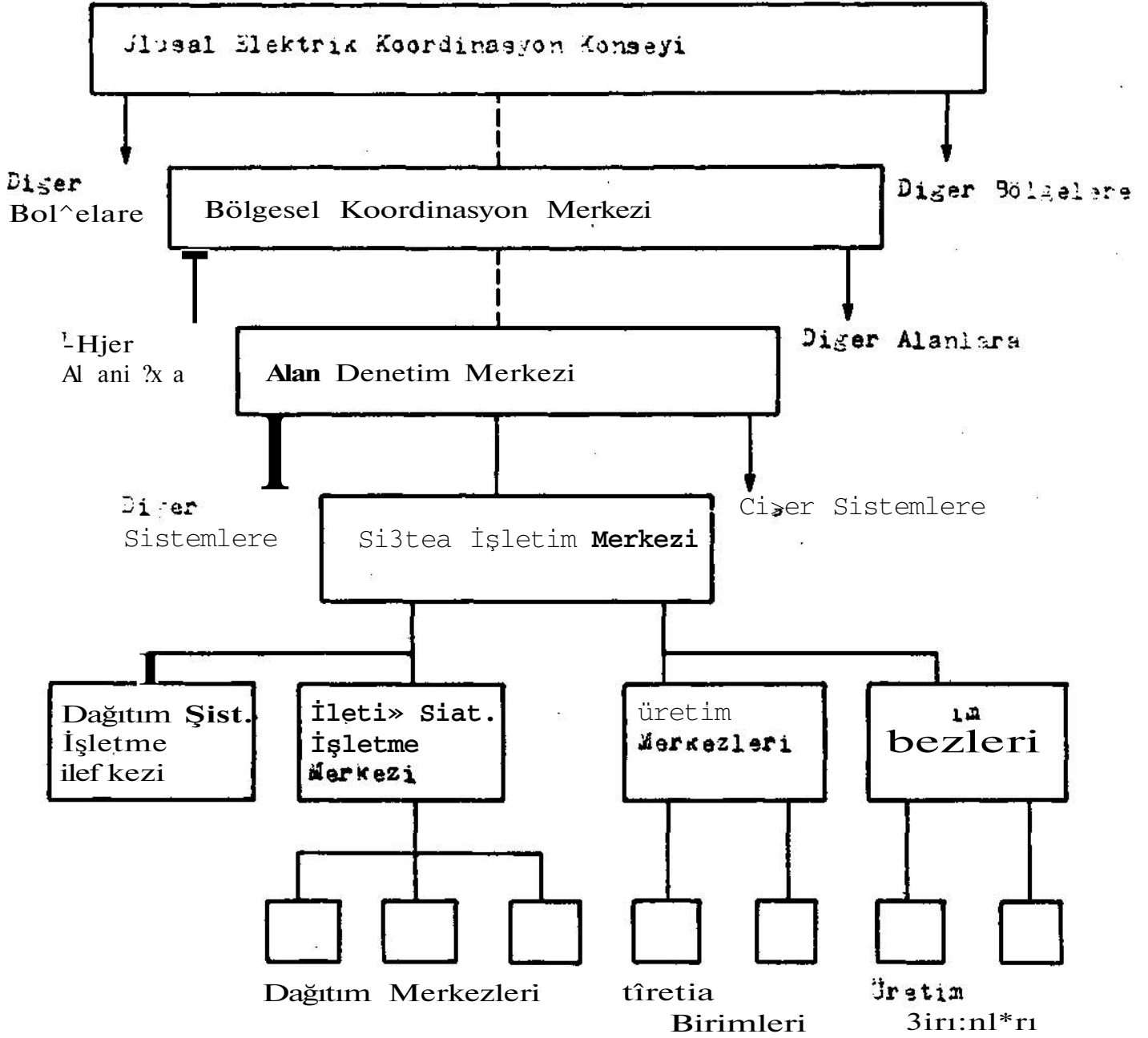
Sistem operatörlerinin bir başka önemli işlevi de, gerektiğinde, bilgisayarlı denetim sistemlerinin destekleyici elemanı olarak çalışmaktır. Elektrik enerji hizmetleri günün 24 saatında ve yılın 365 gününde sürekli ve kesintisiz olarak yürütülmek zorundadır. Bilgisayarlı denetim sistemleri ise muntazam ve titiz bakım gerektiren, oldukça karmaşık yapıda, çabuk bozulabilen birimlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerin beklenmedik anlarda arızalanması durumunda, sistem operatörleri denetim sorumluluğunu tümüyle veya kısmen üzerlerine alabilirler. Böyle anlarda operatörlerin, sistemin birtakım asgari denetim fonksiyonlarını yürütebilmeleri ve işletim güvenliğini sağlayabilmeleri, teknik eğitim düzeylerine ve yeteneklerine bağlıdır.



Şekil 4 - ? — Sistemin tek hat şeması



Şekil 4 - b - Sistemin işlevsel yapısı



Şekil 4 - c - Sistem otomasyonu ve denetim kademeleri

BAZI TİPİK KESİNTİ OLAYLARI

Olay 1 : 345 kV'luk paralel hatlardan birisi olay anında bakım için servis dışına alınmıştır. Aşırı yüklenme nedeniyle yumuşayan diğer hat çevredeki bir ağaca dokunarak kısa devre oldu. Kısa devre sürdüğü için, kesicilerin otomatik açma-kapamaları yararlı olmadı.

Kısa devre ve açma-kapamalardan kaynaklanan salınımlar, civardaki bir hidrolik üretim biriminin giriş denetim musluğunun kapanmasına yolaçtı. Kısa devreden 20 saniye sonra bu birim devre dışı oldu ve sistemde 510 MW üretim kaybı oluştu. Aşırı yüklenmeler, başka zincirleme kısa devreler ve bazı aygıtların yanlış çalışmaları nedeniyle, açmalara ve kopmalara uğrayan sistem, sonunda beş bölgeye bölünerek toplam 1650 MW yük kaybetti. Uygulanan düzeltim komutlarıyla bunun % 90'ı, olaydan 30 dakika sonra tekrar servise alındı. Bu olay sonucunda, otomatik yük atmanın, kesintilerin tüm sisteme yayılmasını önlediği anlaşıldı.

Olay 2 : Sistem olay anında komşu bir sisteme enerji sağlamaktaydı. 230 kV'luk hatların bazıları montaj çalışmaları nedeniyle sisteme geçici olarak bağlanmıştı. Bu hatlardaki aşırı gürültüden dolayı, koruma rölelerine bağlı mikro dalga iletişim kanallarının rotaları değiştirilmişti. Mikrodalga sistemlerinde yapılan bir tasarım hatası sonucu oluşan yanlış bir açma sinyali ile, üç tane 230 kV'luk hat aynı anda açtı. 1,5 saniye sonra yine yanlış sinyal gelmesi sonucu, üç tane 230 kV'luk hat daha devre dışı oldu. Açmaları izleyen 3 saniye içinde, biri hariç tüm hatlar kesicilerin otomatik kapaması ile tekrar devreye girdiler, fakat 1,5 saniye sonra tekrar bir yanlış sinyal ile hatlar tekrar tümüyle devre dışı oldular.

Hatların tekrar kapatılarak servise alınamaması sonucunda, komşu sisteme verilen enerji, geriye kalan 230 kV'luk bir tek hat üzerinden akmaya başladı. Aşırı yüklenmeler nedeniyle, bu hattın ters-zaman-aşırı akım rölesi hattı kısa bir süre sonra açtı ve iki sistem birbirlerinden tamamen ayıldılar. Üretim, tüketimden % 30 daha fazla olması nedeniyle, sistem frekansı aniden 62,5 Hz'e yükseldi. Bu anda, santrallerdeki hız denetleyicilerinin aynı çabuklukla türbin giriş musluklarını açamayışları sonucu, frekans tekrar 59 Hz'e düştü. dikkatsizce yapılan bir kesici açma hareketiyle üretim birimlerinden birisi devre dışı oldu. Frekansın hızla düşmesi, otomatik yük atma rölelerini uyardı ve yük atılması sonucu frekans tekrar 62,2 Hz'e çıktı. Diğer zincirleme açmalarla, frekans 58,7 Hz'e düştü ve sonunda 60,8 Hz'te durgunlaştı. Frekansa bu şiddetli salınımlar boyunca, sistemden toplam % 40 oranında yük kaybedildi. Salınımların santral güç çıkışlarına yansması sonucu, kömür tozlaştırma birimleri devre dışı oldu ve düzeltilmesi zaman alan birtakım küçük arızalar ortaya çıktı. İki sistem 4 dakika içinde birbirlerine tekrar bağlandı ve yüklerin önemli bir kısmı 40 dakika içinde tekrar servise alındı.

Olay 3 : Bu örnekteki enerji sistemi, çevresine zayıf hatlarla bağlıdır ve normal şartlarda bağımsız olarak çalış-

maktadır. Kaynatma kazanındaki bir arıza nedeniyle, bir üretim birimi devre dışı oldu. 345/138 kV'luk bir ototrafonun açmasıyla bir başka üretim birimin çıkışı da 450 MW'tan 10 MW'a düştü. Şu olayların sistem üzerindeki etkileri, bir miktar döner yedek kaybedilmesi dışında fazla hissedilmedi.

Kesintiye yol açan olaylar dizisi, iletim sistemindeki bir toprak hattına bir uçağın çarpmasıyla başladı. Bu hattın fazlarının kısa devre olmasıyla, beş tane 138 kV ve iki tane de 69 kV'luk hat devre dışı oldu. İletim sistemlerindeki bu zayıflama 160 MW'lık bir yükün atılmasına yol açtı. Olayların ardından frekans, küçük bir değişimle 59,98 Hz'ten 60,2 Hz'e çıktı. Sistem bir süre için dengeye ulaşmış gibi göründü, fakat 138 kV'luk hatların aşırı yüklenmesi nedeniyle, sekiz dakika sonra 138/356 kV'luk bir trafo, ardından da toplam 1478 MW üreten birimler devre dışı oldular. Frekans önce 59,44 Hz'e düştü, daha sonra da 59,76 Hz'e ulaştı. İki dakika sonra, yüklenen iki üretim ünitesindeki hız denetleyicilerinin etkisiyle frekans tekrar 59,68 Hz'e indi. Bu ünitelerden birinin üretimi, buhar basıncının yaratacağı sorunları önlemek için elle denetlenerek düşürüldü. Çalışma limitlerinin üzerine çıkan diğer birim için de aynı işlem tekrarlandı ve sistemdeki açma ve yük atmalar durduruldu. Yaklaşık 13 dakika sonra sistem tekrar normal durumuna getirildi.

Olay 4 : Bu örnekteki sistem ABD'nin batı bölgesini beslemektedir. 230 kV'luk hattın bir kısmı servis dışı edilirken, koruyucu atlama çubuklarında oluşan bir atlamayla hat toprağa kısa devre oldu. Bu kısa devre sonucunda sistemin kuzeybatı ve güneybatı bölgelerini birleştiren DC iletim hattı devre dışı oldu. AC sistemdeki seri kondansatörlerin otomatik olarak devreye girmesine rağmen, meydana gelen ani ve aşırı akımlar, kuzeybatı ve güneybatı arasındaki 500 kV'luk AC hatların kopmasına yolaçtı.

Kuzeybatı merkezindeki üretim birimlerinin açma mekanizmalarındaki bir arıza nedeniyle, gerektiğinden 600 MW daha az bir üretim atılabildi. Yine aynı şekilde, bir kesici merkezindeki arıza nedeniyle, kesiciler planlandığı şekilde açmadılar ve koparma işlemi güç-artış-hızı yedek rölesi tarafından gerçekleştirildi.

Kopmalar sonucunda sistemin batı kısmında üç bağımsız bölge meydana geldi. Kuzeybatı kısmında, üretimin yükten fazla olması nedeniyle frekans 61,25 Hz'e yükseldi. Yüksek frekanstan dolayı sistemde büyük genlikte gerilim salınımları ortaya çıktı ve sonunda Vancouver'i besleyen yüksek gerilim DC bağlantısı açtı. Bu açma sonucunda kuzeybatı bölgesinden 475 MW yük kaybedildi.

Üretim tüketimden daha az olduğu güneybatı bölgesinde frekans 59 Hz'e düştü ve otomatik olarak 650 MW yük atıldı. Doğu bölgesinde de, toplam olarak 140 MW yük kaybedildi.

Olay 5 : Örnek 4'teki sistemin kuzeybatı-güneybatı arasındaki AC ve DC hatları bu kez aşırı derecede yüklen-

dişlerdi. Rölelerden yanlış bir sinyal gelmesiyle 500 kV'luk paralel AC hatları açtı. DC hat serviste kaka Kuzeybatı merkezindeki üretim atma mekanizmaları, iki rölenin yanlış bağlanmasından dolayı çalışmadı. Aynı nedenle, bir başka merkezdeki kesiciler de otomatik olarak açmadılar ve kopma işlem, güç-artış-hızı yedek rölesi tarafından gerçekleştirildi.

Diğer zincirleme açmalar sonucunda sistem, komşu sistemlerden koparak üçe bölündü kuzeybatı bölgesinde üretimin yükleri fazla olması nedeniyle, frekans 61,75 Hz'e yükseldi ve sistemde büyük genlikte gerilim salınımları oluştu. Üretimin az olduğu Güneybatı bölgesinde frekans 59,4 Hz'e düştü Doğu bölgesinde ise frekans, 59,8 ile 60,13 Hz arasında salınımlardan sonra 60,3 Hz'de dengelendi.

Olay 6 : Şiddetli fırtına ve yıldırım düşmeleri olmasına rağmen sistemde bir açma olayı yoktu. Bir vinç kolu aniden 138 kV'luk iletim hattına çarparak kısa devre yarattı. Hat, koruma rölelerinin normal olarak çalışmasıyla açtı, fakat sistem operatörü denetim panosundaki yanlış bir gösterime dayanarak hattı elle tekrar kapattı. Vinç kolunun hattın üzerinde durması, yani kısa devrenin devam etmesi nedeniyle, kesiciler üç defa açma-kapama işlemini tekrarlayarak açık durumda kilitlendiler.

Tekrarlanan kısa devre olaylarının şiddet ve süresi nedeniyle 750 MVV'lık iki üretim ünitesinin röleleri açtı. Bu ünitelerin devre dışı olmasıyla, sistemin üretim-yük dengesi bozularak salınımlar başladı. Salınımlar sonucu sistem diğer komşu sistemlerden ayrıldı, frekansın 58,2 Hz'e düşmesiyle 2000 MVV'nın üzerinde yük atıldı. Yük atılması sonucunda frekans ilk anda 62 Hz'e yükseldi ve beş dakika süreyle 60 Hz'in üzerinde kaldı. Frekans yüksekliği nedeniyle altı üretim biriminin daha röleleri açtı.

Bu anda sistem komşu sistemlere tekrar bağlanmaya çalışıldı, fakat senkronlama sorunları nedeniyle tekrar iki bölgeye ayrıldı. Bölgelerin birisinde frekans 62,2 Hz'e çıktı, diğerinde ise 50 Hz'e düştü. Bu iki bölge iki dakika sonra tekrar komşu sistemlere bağlandı, fakat bir dakika içinde başka bir üretim birimde frekans salınımları başladı ve sistem tekrar koptu. Oluşan bu yeni bölgede frekans, 58,95 Hz'e düştü. Peşpeşe uygulanan denetim komutlarıyla, yeni bölgedeki üretim-tüketim dengesi tekrar sağlandı ve ana sisteme bağlandı. İlk olaydan 25 dakika sonra tüm sistem tekrar normal çalışma durumuna geçti.

özet olarak, üretim ve tüketim dengesinde ani bir bozulma, frekansta ani salınımlara, daha sonra da üretim birimlerinin devre dışı olmalarına yol açmaktadır. Kesicilerin açmalarıyla sistem, birbirinden bağımsız çalışan elektriksel bölgelere ayrılmaktadır. Sistem operatörleri oluşan bu bölgeleri tekrar birleştirirken, üretim-tüketim dengesini korumaya çalışmaktadırlar.