

ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNİN
TEK MERKEZDEN YÖNETİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek. Müh. M. Olgu DİNÇÖĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Ocak 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Şubat 1991

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Nesrin TARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Mustafa BAYRAM

Prof.Dr.Muzaffer ÖZKAYA

ŞUBAT 1991

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarımda danışmanlığımı yaparak bana yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Vural Aygen'i minnet ve saygıyla anarım. Ayrıca tez çalışmalarım sırasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Nesrin Tarkan'a teşekkür ederim.

Suadiye, Ocak 1991

M. Olgu Dinçoğlu



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ (SCADAS)	2
BÖLÜM 3. ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SCADAS	6
3.1. Durum Kestirimi	8
3.2. Güç Akışı	16
3.3. Optimizasyon	29
BÖLÜM 4. ÇEŞİTLİ KURULUŞLARIN SCADAS UYGULAMALARI	35
4.1. Türkiye Elektrik Kurumu Millî Yük Tevzi Projesi ...	35
4.2. Eliop Firmasının SCADAS Uygulamaları	45
4.3. BBC Firmasının SCADAS Uygulamaları	53
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Elektrik enerji sistemlerinde, özellikle eleman sayısının arttığı sistemlerde kontrol zorlaşmakta, otomatik kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tam bir otomasyon ve proses kontrol işlemi olan SCADAS, (Supervision Control And Data Acquisition Systems) yerel veya genel olarak otomatik kontrol sağlanmasında yararlanılabilecek bir sistemdir. Bu kontrol sistemi yapısından dolayı hem dağıtım, hem iletim, hem de üretim seviyelerinde uygulanabilir.

Güç akışı, durum kestirimi ve optimizasyon kontrollerinin SCADAS ile yapılması mümkün olmaktadır. Türkiye Elektrik Kurumu, Eliop, BBC gibi çeşitli kuruluşlar hem yerel, hem de geniş kapsamlı çeşitli çalışmalar yapmışlar ve sistemin uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Bu tezde otomatik kontrol sistemlerinin elektrik enerji sistemlerine uygulanması konusunda yapılan çalışmalar biraraya getirilmiş ve konu ile ilgili değişik uygulamalara ait örnekler verilmiştir. Böylece konunun hem küçük sistemlere, hem de büyük sistemlere ilişkin sorunlara çözüm getirebileceği gösterilmiştir.

SUMMARY

CENTRALIZED CONTROL OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS

After the improvement in computer technology, automation and process control applications has been widely tested in numerous sectors such as :

- Chemical industry
- Gas and oil pipelines
- Petrochemical industry
- Iron and steel industry
- Electrical power substations
- Electrical power distribution
- Paper industry
- Water (distribution, sewage, hydrology)
- Cement
- Automobile
- Traffic monitoring by artificial vision
- Food
- Building control and conditioning

The general principles of SCADAS (Supervision Control And Data Acquisition Systems) are the same. All depend on collecting and gathering information and data from various remote stations.

Electric power systems are principally similar with the other systems. There are large and small systems in electric power systems.

Actual large systems consist of a wealth of individual interdependent subsystems of various levels of hierarchy. The behaviour of these subsystems varies under the impact of the environment and control instructions issued for the system to accomplish its objectives. A multilevel arrangement of the system leads to the need for a sequential stage by stage coordination of activities within the system.

The efficiency of such a coordination depends on the choice of the local controls at each stage such that ensure an optimal global performance of the system. The process of sequential coordination conceptualized in the form of an iterative procedure has been demonstrated to be capable of improving the global performance of a large system.

The number of levels used in devising the hierarchy of a large system is conditioned by the adapted mathematical model. In an elementary description, the structure may be treated as consisting of a number of interrelated subsystems. (Figure 1)

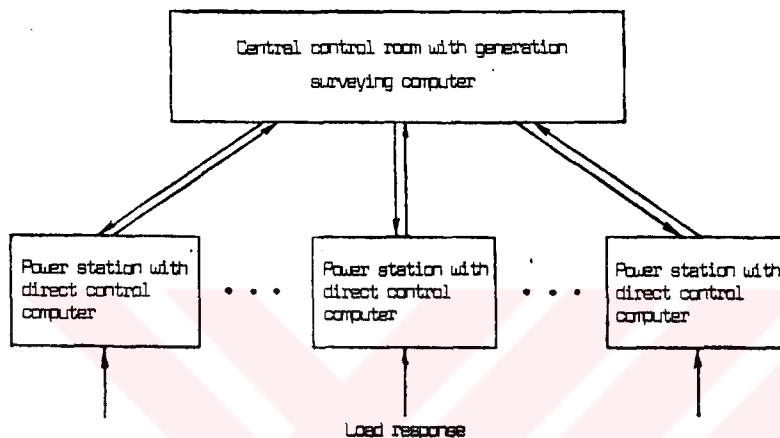


Figure 1. Levels of hierarchy

In electric power systems, many SCADAS applications have been made by different corporations such as Turkish Electricity Authority, Eliop, BBC for small and large systems.

Those applications show us that especially in large systems, it is possible to run State Estimation, Load Flow and Optimisation programs.

State Estimation: In an energy system, active and reactive load flow, parameters of the energy system, and problems like source security should be known or estimated. Because it is not possible to control a system at which characteristics and situation is not known. The electric power systems are sometimes very large to control. With this reason, the problems are divided into parts by means of time. These individual parts can be used for the solutions of the other parts in solving their particular problem.

Estimation methods can be divided into two groups. One is defining system parameters and load model, the other is time estimation.

The real time control process can be shown in four steps like collecting data, evaluating the data and estimating the situation of the system, to determine the control method by checking the situation of the system and transmit the control signals to the system. (Figure 2)

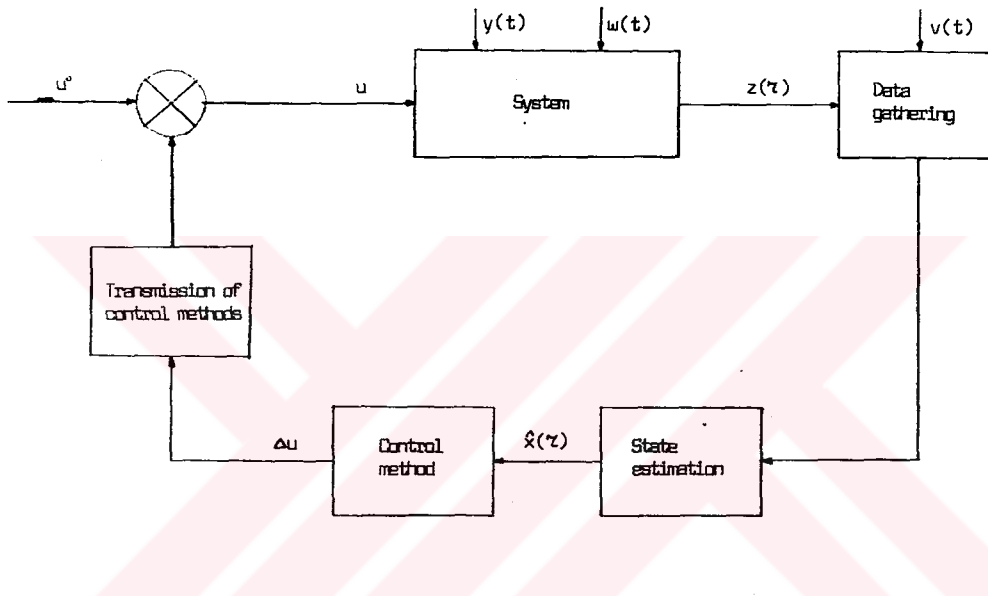


Figure 2. General Control Operation

y : Load change action

w : Faults which the system is exposed to

z : Total measurements and signals

v : Faults appeared in gathering and telemetering data

$\hat{x}$: Estimated state of the system

Δu : The necessary changes for optimum adaptation to the new status of the controlled parameters of the system.

Load Flow: The calculations of load flows on large systems have different ways when they are compared to the small systems. One method of approaching the analysis of large systems is to represent them by model lumped constant networks at low voltages and currents. Lines and cables are represented by the π model, generators by the internal voltage (E) in series with the appropriate impedance and transformers by their serial impedance. These equivalent circuit models are usually known as Alternating Current Analysers and several years formed the main approach to large system studies. They are steady state models and often operate at higher than main frequency to reduce the physical size of the components can be represented directly. One step further towards the physical system is the micro reseau system developed in France.

In this, the generators are represented by actual machines scaled down to laboratory proportions. This arrangement is not economical for large systems and is confined entirely to the study of a few interconnected machines. Special purpose electronic analogue computers have also been used for the assessment of the effect of prime mover and generator characteristics on synchronous stability.

With the rapid developement of the digital computers in the 1950's, the attention of power engineers has been directed towards the use of alternating current analysers in that analysis can be placed on a systematic basis once suitable programs have been developed, thus requiring less trained engineer time. The various components of the network are uniquely labelled and these designations together with the per unit values of admittance, power, reactive power and voltage are fed into the computer which then performs the analysis to prescribed values of accuracy.

Methods of solution for large systems:

Triangulation and partitioning; This method can only solve linear systems.

$$[V][V] = [I] \quad \text{where } [I] \text{ is specified.}$$

The fact that powers are specified, in practise makes the problem non-linear. A new value for $[I]$ must be obtained from $S = V I^*$ after each direct solution and this value used to obtain a new one.

Partitioning is useful for handling large problems on small computers for network reduction, and the elimination of unwanted nodes.

Gauss-Seidel method: In this method unknown quantities are initially assumed and the value obtained from the first equation is then used when obtaining the others from the second equation and so on. Each equation is considered in turn and then the complete set solved again until the values obtained for the unknowns converge to within required limits.

Newton-Raphson method: Although the Gauss-Seidel method is well established, more recently the Newton-Raphson method has received much attention. With some systems it gives greater assurance of convergence and is at the same time economical in computer time.

Optimisation: For the optimal operation of a system, the following conditions are necessary for the plants and generators:

For generators:

- Maximum and economical capacity
- Fixed and increasing heat limits
- Minimum time for taking the generator out of the system
- Maximum stopping and starting time

For plants:

- The price of the fuel in thermic power plants
- Recent operation program
- Minimum time to load and unload the generators
- Limits on plant power

For the whole system:

- Load for special periods
- Limits on transmission lines
- Effects of transmission losses

1.GİRİŞ

Dünyanın hızla artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için kurulan elektrik santrallerinin güçleri ve toplamaları giderek büyümektedir. Genellikle dağıtılmış bir alana yayılan bu santrallerin ürettiği elektrik enerjisini tüketim merkezlerine getirebilmek ve dağıtabilmek için gerekli enerji nakil hatlarının sayısı da bu duruma paralel olarak artış göstermektedir.

Enerji nakil hatları ile birbirlerine bağlı olan santraller ve tüketim merkezleri bir ulusal elektrik sistemi meydana getirmektedir. Bu sistemin amacı, herhangi bir santralin devreden çıkması veya bir hattın açılması durumunda devrede kalan diğer santral ve hatların yardımıyla enerji kesintisini önlemektir.

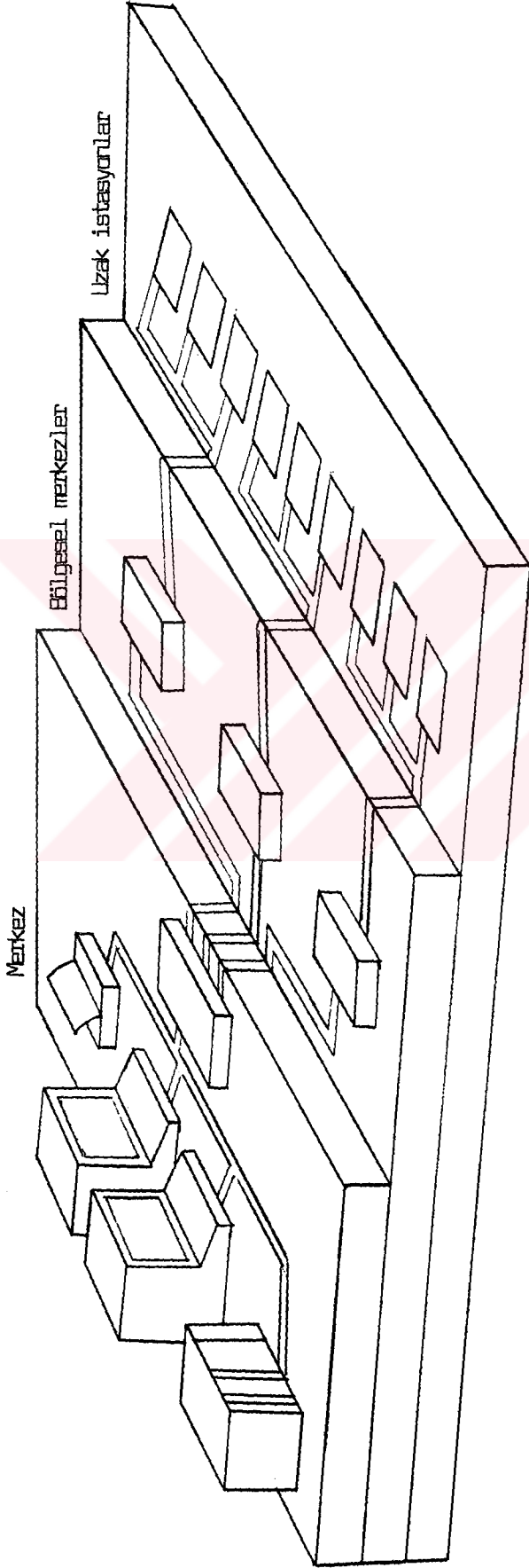
Bu şekilde çalışan sistemlerde elemanların sayısı arttıkça kontrol zorlaşmaktadır. Meydana gelen olaylar hakkında bilgi almak ve karar verebilmek için görevli personel sürat bakımından yetersiz kalmaktadır. Toplanan bilgilerin sayıları, toplama süreleri ve doğrulukları personelin sistemde meydana gelen olayları süratli ve doğru bir şekilde izlemesine imkan vermemektedir. Bundan dolayı arızalar çabuk genişleyebilmektedir.

Günümüz koşullarında en hızlı gelişen teknolojilerden birisi olan bilgisayarların elektrik enerji sistemlerine uygulanması yukarıda sözü edilen zorlukların büyük ölçüde aşılmasında ve elektrik enerji sistemlerinde otomatik kontrole geçilmesinde yardımcı olacaktır.

2.OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi ile otomatik kontrol sistemleri de bilgisayar kontrolünde geliştirilmiş, tüm dünyada araştırma konusu bir sektör haline gelmiştir. SCADAS bu amaçla geliştirilmiş bir kontrol sistemidir. SCADAS her alanda otomasyon ve proses kontrolü sağlayan geniş çaplı bir otomatik kontrol ağı olarak kabul edilebilir. Uygulama alanları petrol boru hatları, nehir yatak rejimleri, havanın saflığı, suların saflığı, yol ve trafik durumu, doğal afetlerin önlenmesi, elektrik enerji sistemleri gibi her alanda olabilmektedir. Çünkü bu alanların hepsi, genel prensipler altında belirli ortak yönlerle sahiptir. Hepsinde de bilgi toplama, toplanan bilgileri bir merkezde değerlendirme gibi ortak birtakım süreçler bulunmaktadır. Veriler genellikle radyo dalgaları, fiberoptik, uydu, enerji nakil hatları veya modem aracılığıyla aktarılır. (Şekil 1)

SCADAS konusunda araştırma ve çalışma yapan çeşitli kuruluşlar bu amaçla geliştirdikleri cihazların farklılık göstermesine rağmen aynı prensiplerden yola çıkarlar. [1]

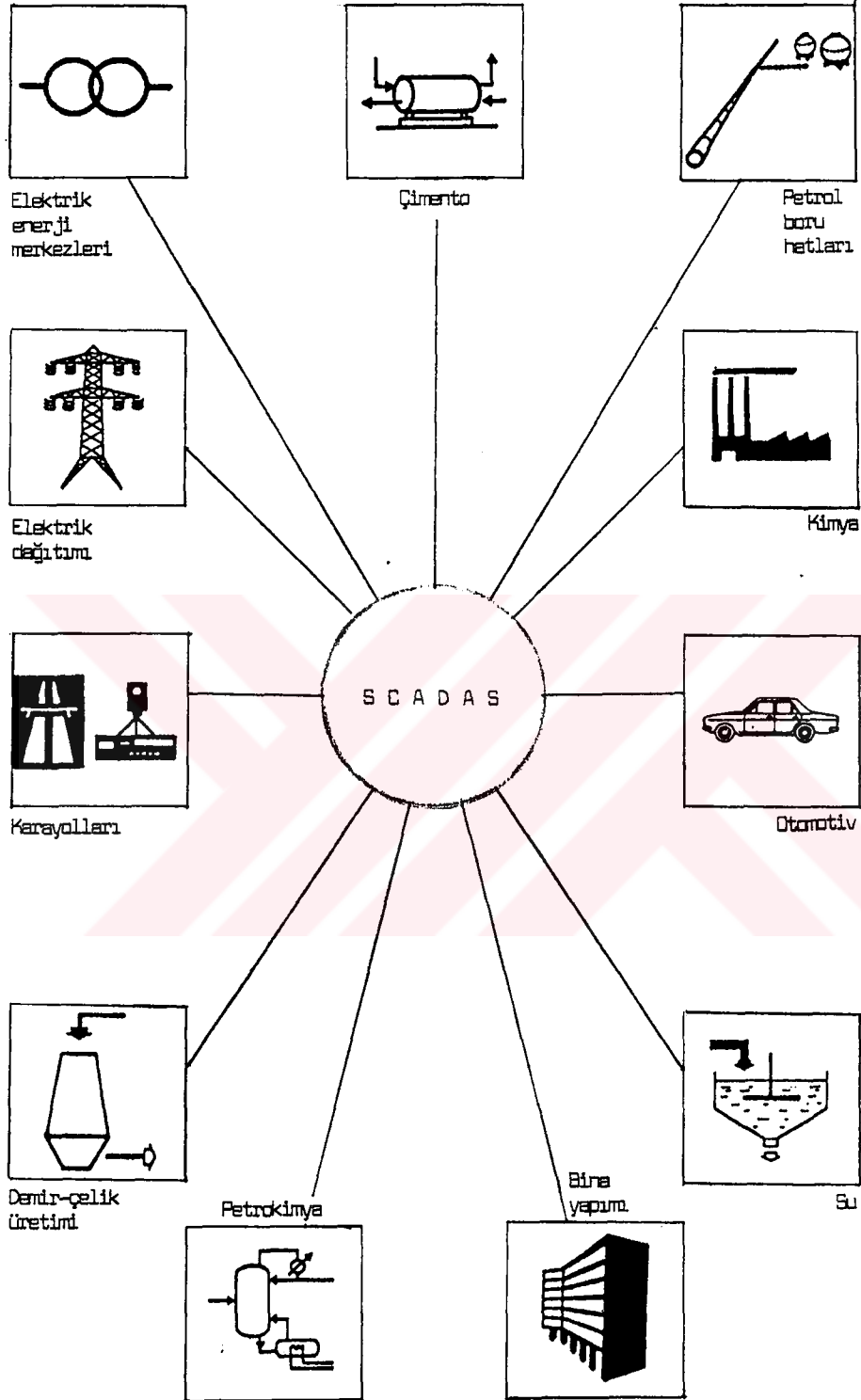


Şekil 1. SCADAS'ın Operasyonu

SCADAS sistemine ilişkin başlıca uygulamala alanları şunlardır:

- Kimya endüstrisi
- Doğalgaz ve petrol boru hatları
- Petrokimya endüstrisi
- Demir ve çelik endüstrisi
- Elektrik enerji merkezleri
- Enerji dağıtım merkezleri
- Kağıt endüstrisi
- Su sistemleri (dağıtım, kanalizasyon)
- Hava kirliliği kontrolü
- Çimento endüstrisi
- Otomotiv endüstrisi
- Trafik kontrolu
- Yiyecek sistemleri
- Bina yapımı [2]

Şekil 2 çeşitli alanlarda SCADAS uygulamalarını göstermektedir.



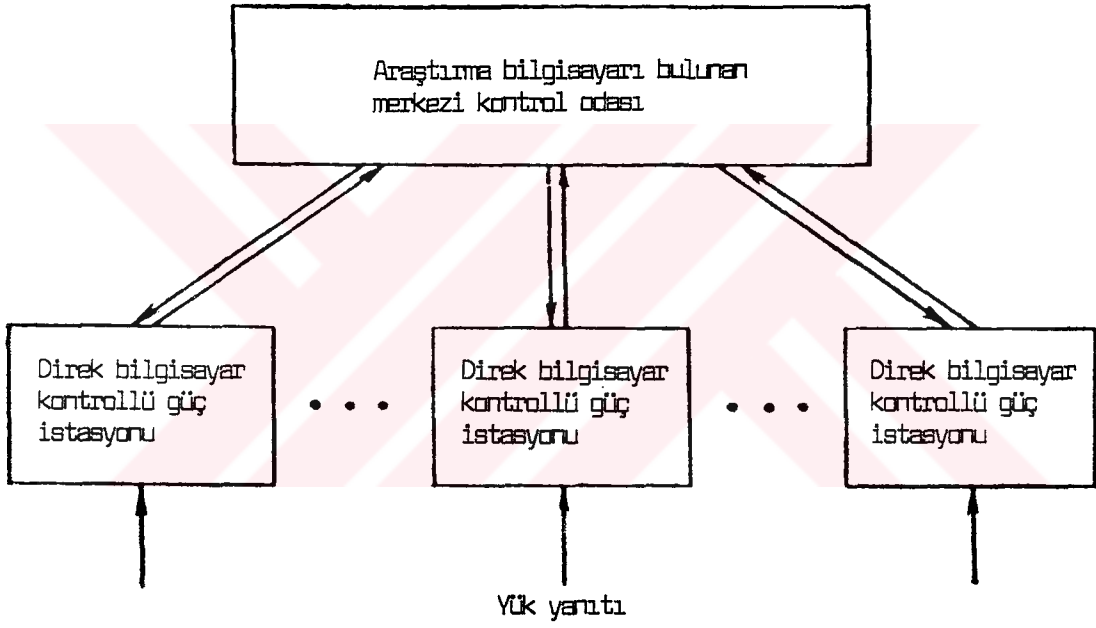
Şekil 2. Çeşitli Alanlarda SCADA Uygulamaları

3.ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SCADAS

Elektrik enerji sistemleri de prensip olarak diğer sistemlerle benzerlik gösterdiğinden, SCADAS'ın bu sistemde kullanılması için birçok çalışma yapılmıştır.

Elektrik enerji sistemleri de diğer sistemler gibi ayrı ayrı bağımsız seviyelerden ve hiyerarşik sistemlerden oluşur. Bu alt sistemlerin davranışları çevresel etkenlere ve merkezi kontrol talimatlarına göre değişir. Bu çok seviyeli sistem, sistem içerisindeki aktivitelerin koordinasyonunun adım adım yapılmasına, böylece sistem içerisinde her seviyede kontrol yapılmasına yardımcı olur. Bu koordinasyonun sağlanması sistemin optimal bir performansta işlemlerini sağlar.

Şekil 3'de iki seviyeli bir güç üretim şebekesi gösterilmiştir. Burada sistem üst seviyede bir merkezi kontrol odası ve araştırma kompüterinden, alt seviyede ise birbirinden ayrı enerji istasyonlarından oluşmaktadır. Bu seviyelerin sayısı arttırılabilir. Her üst seviye kendisine bağlı alt seviyelerin kontrolünü sağlar. Bu şekilde ulusal bir elektrik şebekesinin kontrolü de yapılabilir. Buna ilişkin Türkiye Elektrik Kurumunun Westinghouse Telettra firması ile ortak bir çalışması vardır. Ayrıca Siemens, BBC, Eliop gibi bazı firmalar da SCADAS konusunda çalışmalar yapmışlardır. SCADAS sisteminin elektrik enerji sistemlerinde kullanılması ile durum kestirimi (State estimation), Güç akışı (Load Flow), ve Optimizasyon programlarını işletmek ve bu programlar yardımı ile sistem bilgilerini almak mümkündür. [3] [4]



Şekil 3. İki Seviyeli Bir Güç Üretim Şebekesi

3.1. DURUM KESTİRİMİ

Bir enerji sisteminde aktif reaktif güç akışı, devrenin parametreleri ve generatörlere ait yedekler, kaynak güvenliği gibi sorunların veya verilerin önceden bilinmesi yada tahmin edilmesi gerekir. Çünkü karakteristikleri ve durumu belli olmayan bir sistemin kontrolü olanak dışıdır.

Elektrik sistemlerinin büyüklüğü ve karmaşıklığı nedeniyle bu sistemlerin kontrolü ve işletme planlaması ile ilgili problemlerin bir tema altında işlenmesi olanaksızdır. Bu nedenle problemler özellikle zaman bakımından alt bölümlere ayrılarak işlenirler. Bu alt bölümler sadece kendilerine ayrılan problemin çözümünü diğer alt bölümlerde elde edilen çözüm sonuçlarını da kullanarak yaratırlar.

Böylece oluşturulan karar devresi birbirleri ile sıkı veya zayıf şekilde bağlanmış olan değişik alt problemlerin tekrarlı çözümü sonucunda en uygun görünen işletme planlaması ve kontrol kararlarının alınmasını sağlar.

Bu hiyerarşik ortam içerisinde kestirim metodlarının uygulanmasını da iki grupta toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi sistem parametrelerinin ve yük modelinin tanımlanmasını, diğeri ise gerçek zaman kestirimlerini içerir.

Yük modeli parametrelerinin tanımlanması sistemdeki yıllık, haftalık ve günlük yük değişimlerinin zamana bağımlılık fonksiyonunun çıkartılması ile ilgilidir. Sistemin geçmiş operasyonları sırasında kullanıcılar tarafından çekilen yükler data olarak kullanılarak en uygun yük değişimleri modeli ve bu modelin parametreleri hesaplanabilir.

Sistem parametrelerinin kestirimi ise yine sistemdeki uzun süreli yavaş değişimler ile ilgilidir. Bütün gerçek zaman kontrolü problemlerinde sabit kabul edilen sistem parametreleri bilhassa meteorolojik mevsimsel değişimler nedeniyle önceden hesaplanmış değerlerinden sapmalar gösterebilirler. Eğer bu parametrelerin değerleri güncelleştirilmezse gerçek zaman kontrolü ile ilgili kararlar hatalı alınabilirler. Sistem parametrelerinin kestirimi, gerçek zaman kontrolünde zamanla sürekli olarak artagelen bu tür uyumsuzlukların hangi parametrelerden ileri geldiğini saptayarak bu parametrelerin değerlerinin güncelleştirilmesinde kullanılır.

Gerçek zaman kestirim yöntemleri, elektrik sistemlerinin gerçek zaman kontrolü sırasında 20-30 saniyede bir süreç kontrol bilgisayarları tarafından icra edecek programlar topluluğudur. Bu nedenle en büyük problem bu programların icra zamanının kısa olması zorunluluğudur.

Öte yandan bir kestirim programının icra zamanı, kullanılan bilgisayarların özellikleri bir yana bırakılacak olursa, kontrol edilen şebekedeki bara ve hat sayıları ile orantılı büyür. Bir elektrik sisteminin gerçek zaman kontrolüne bağlı olarak çalıştırılacak olan en uygun kestirim yönteminin seçimi şebekelerin büyüklüğüne, ölçü noktalarının adedine, topolojik dağılımına ve bu işlem için kullanılan bilgisayarların özelliklerine göre yapılmalıdır.

Gerçek zaman kestirim metodlarını uygulama alanı bakımından topoloji kestirimi ve durum kestirimi olarak ikiye ayırmak mümkündür. Topoloji kestirimi şebekedeki hatların ve baraların serviste olup olmadıklarını gösteren telesinyal edilmiş konum bilgilerinin işlenerek değerlendirilmesini yaparken, durum kestirimi topoloji kestirimi sonucunda bulunmuş şebeke topolojisini esas alarak ölçü bilgilerini

değerlendirip bara gerilimlerini hesaplar.

Kestirim işlemlerinin gerçek zaman kontrolü hiyerarşisindeki yerini saptamak ve diğer programlarla olan ilişkisini açığa kavuşturmak yönünden örnek bir kontrol mekanizmasının nasıl çalıştığını incelemek yararlıdır. Gerçek zaman kontrol işlemleri Şekil 4'de görüldüğü gibi ölçüler almak, alınan ölçüleri değerlendirerek sistemin durumunu kestirmek, bu durumu göz önüne alarak kontrol yöntemini tayin etmek ve kontrol sinyallerini sisteme iletmek gibi dört ara bölümde toplanabilir.

Elektrik sistemleri için Şekil 4'de " y " sistemdeki yük değişimleri eylemini, " w " sistemin maruz kaldığı gelişigüzel bozuklukları, " z " toplanan ölçü ve sinyallerin tümünü, " v " data derlenmesi ve telemetresi esnasında ortaya çıkan hataları ve bozucuları, " $\hat{x}$ " sistemin kestirilmiş durumunu, Δu ise sistemin kontrol edilebilen değişkenlerindeki yeni duruma en iyi şekilde adapte olabilmek için gereken değişimleri gösterir.

Durum kestirimi işlemi:

$\underline{x}$ = Durum değişkenleri vektörü

$\hat{\underline{x}}$ = Kestirilmiş durum değişkenleri değeri

$\underline{z}$ = Ölçü değişkenleri vektörü

$\hat{\underline{z}}$ = Kestirilmiş durum vektörüne karşılık gelen ölçü değerleri

$\underline{v}$ = Ölçü gürültüsü vektörü

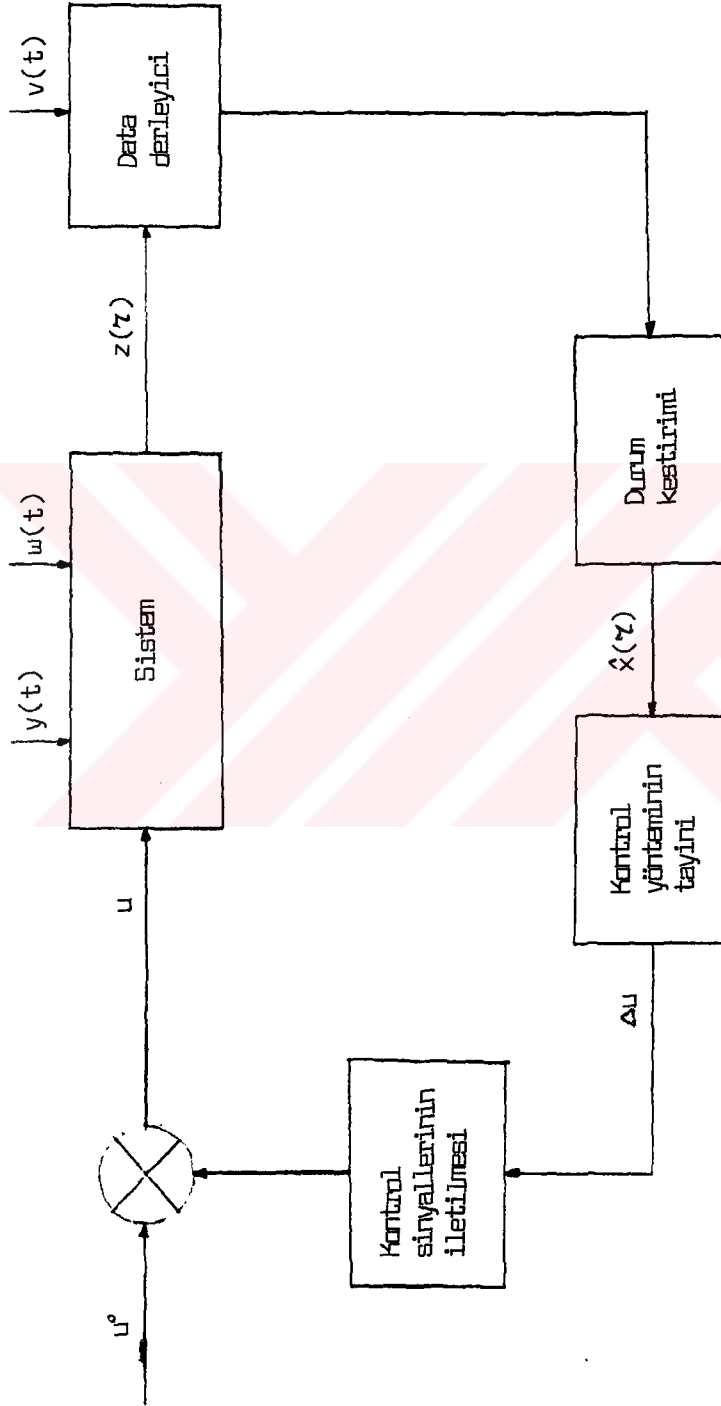
$f(\underline{x})$ = Ölçülerin durum değişkenlerine bağımlılığını belirten fonksiyon vektörü

R = Ölçü gürültülerinin kovariansı

J = Kestirim işlemlerinin maliyet fonksiyonu

H = Ölçü vektörü jakobiani

olsun.



Şekil 4. Kontrol işlemlerinin Genel Görünümü

Durum değişkenleri x gözlem ve kontrol altında olan bir elektrik sisteminin durumunu tayin etmek için gerekli olan minimum değişkenler topluluğudur. Durum değişkenleri hat akışları, bara enjeksiyonları ve bara gerilimleri arasından seğilebilir. Kestirim metoduna en uygun seğim bara gerilimleridir.

n baralı bir sistem için:

$$x^T = [V_1, V_1, \dots, V_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_n]$$

1 numaralı bara sonsuz kabul edilmiştir. Ölçü değişkenleri vektörü ise telemetre sisteminin kuruluşuna göre bara gerilimi genliklerini, enjeksiyonlarını ve hat akışlarını içerir.

$$z^T = [\dots, V_i, \dots, \dots, P_{ij}, \dots, \dots, Q_{ij}, \dots, \dots, P_i, \dots, Q_i, \dots]$$

Kestirim işlerliği yönünden durum vektörü n boyutlu, ölçü vektörü m boyutlu ise ;

$$\Rightarrow m > n$$

$$z = f(x) + v \quad [5] \quad (3.1)$$

En küçük kareler metodu kullanılarak;

z ölçüleri ile $\hat{z}$ kestirilmiş ölçü değerleri arasındaki uyumsuzluk belirli bir kritere göre en ufak olsun. En küçük kareler metodunda kullanılan krater aşağıda tanımlanan maliyet fonksiyonudur.

$$J \triangleq v^T R^{-1} v = (z - \hat{z})^T R^{-1} (z - \hat{z}) \quad [5] \quad (3.2)$$

R kovarians matrisinin görevi her ölçü gözleminin güvenilirliğini göz önüne alarak hata farklarının ağırlıklı değerlendirmesini yapmaktır.

Eğer ölçme hatalarının birbirinden bağımsız kaynaklı oldukları kabul edilirse $\tilde{R}$ matrisi σ_i^2 varianslarından oluşmuş köşegen bir matristir. [5]

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & \\ & \sigma_2^2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

Böylece maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$J = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 V_i^2 \quad [5] \quad (3.3)$$

Öyle bir $\tilde{x} = \hat{\tilde{x}}$ değeri bulunmalıdır ki;

$$J = \tilde{V}^T \tilde{R}^{-1} \tilde{V} = [\tilde{z} - \tilde{f}(\tilde{x})]^T \tilde{R}^{-1} [\tilde{z} - \tilde{f}(\tilde{x})] \quad (3.4)$$

fonksiyonunun değeri minimum olsun.

$$\lim_{\tilde{x} \rightarrow \hat{\tilde{x}}} J = \min J$$

Bu optimizasyon işleminin çözümü J fonksiyonunun $\tilde{x}$ 'e göre sürekliliği göz önüne alınarak aşağıdaki yöntemle yapılabilir:

Aranan minimum şartlarda $\frac{\partial J}{\partial \tilde{x}}$ gradientlerinin sıfıra eşit

olması gereklidir. Dolayısıyla:

$$\lim_{\tilde{x} \rightarrow \hat{\tilde{x}}} \frac{\partial J}{\partial \tilde{x}} = \frac{\partial}{\partial \tilde{x}} [\tilde{z} - \tilde{f}(\tilde{x})]^T \tilde{R}^{-1} [\tilde{z} - \tilde{f}(\tilde{x})] = 0 \quad (3.5)$$

$\tilde{f}(\tilde{x})$ fonksiyonu doğrusal olarak kabul edilirse;

$$f(x) \triangleq A \cdot x$$

$$\lim_{z \rightarrow z^*} \frac{\partial J}{\partial x} = g(x) = -2 A^T R^{-1} [z - A x] = 0 \quad (3.6)$$

$$\hat{x} = [A^T R^{-1} A]^{-1} A^T R^{-1} z \quad (3.7)$$

Böylece bu denklemlerden kestirim sonucu direk olarak hesaplanabilir.

Pratikte ölçülen değerlerle durum değişkenleri arasındaki bağıntı doğrusal olmadığından yukarıdaki çözüm yöntemi geçerli değildir. Bu şartlarda öteleyen bir çözüm Taylor serilerinden yararlanarak $f(x)$ fonksiyonunun doğrusallaştırılması sayesinde mümkün olabilir.

Çözüm noktası $\hat{x}$ 'e yakın olabileceği düşünülerek $x = x^*$ durum değişkenlerinin önyargı ile seçilmiş bir değeri olsun.

$z^* \triangleq f(x^*)$ olarak tanımlanırsa birinci dereceden Taylor serisi ile;

$$z = z^* + \Delta z \quad (3.8)$$

$$f(x) = f(x^*) + F \cdot \Delta x \quad (3.9)$$

Burada F matrisi ölçülerin x^* bazında x 'e Jakobianıdır.

$$F \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

$\hat{x}$ denklemini yerine koyarsak;

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} -\frac{\partial J}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ [z^o + \Delta z - f(x^o) - F \cdot \Delta x]^T R^{-1} [z^o + \Delta z - f(x^o) - F \Delta] \right\} \quad (3.10)$$

$$g(\Delta x) = -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ [\Delta z - F \cdot \Delta \hat{x}]^T R^{-1} [\Delta z - F \cdot \Delta \hat{x}] \right\} = 0 \quad (3.11)$$

$$g(\Delta x) = -2 F^T R^{-1} [\Delta z - F \cdot \Delta \hat{x}] = 0 \quad (3.12)$$

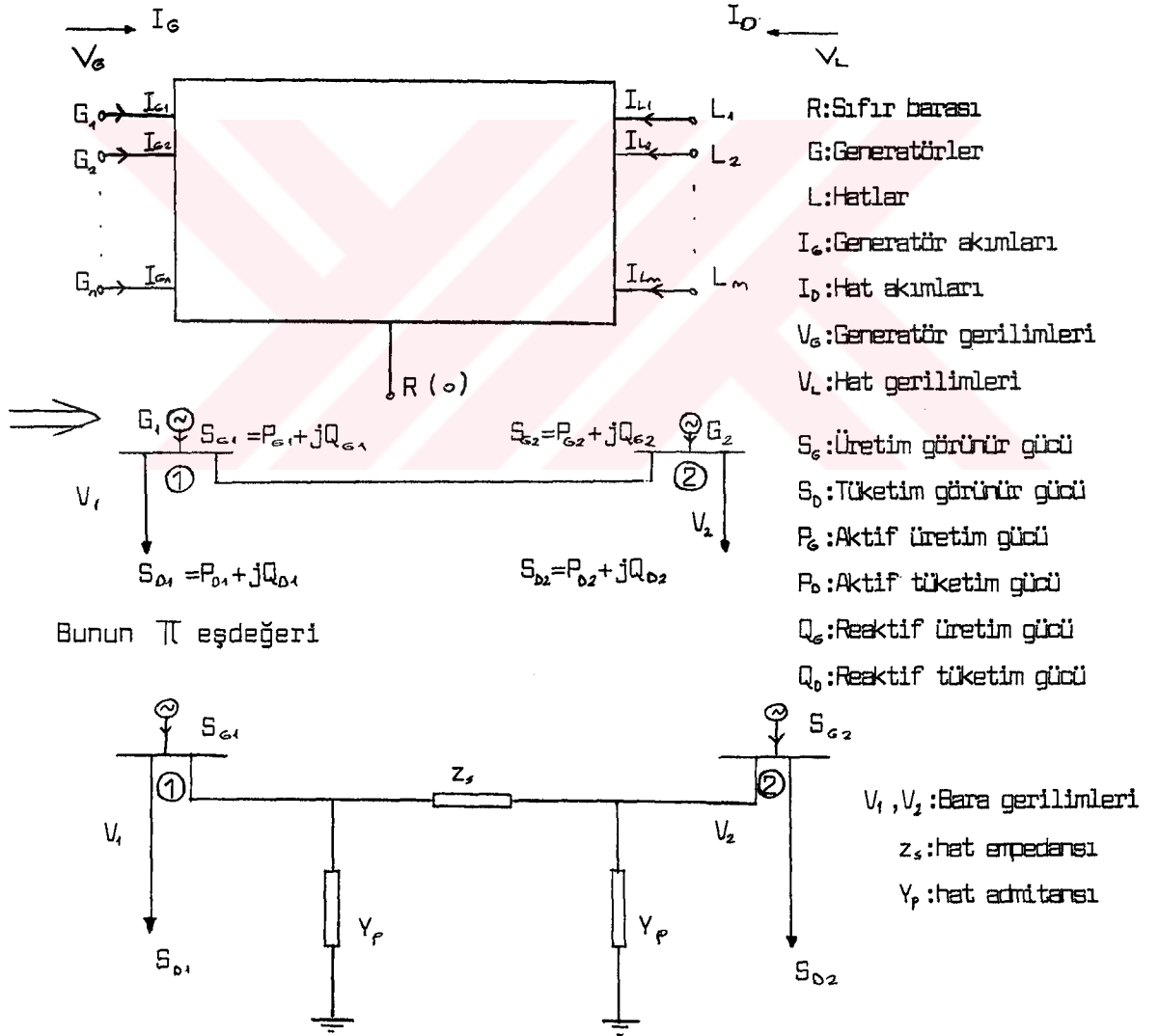
$$\Delta \hat{x} = (F^T R^{-1} F)^{-1} F^T R^{-1} \Delta z \quad (3.13)$$

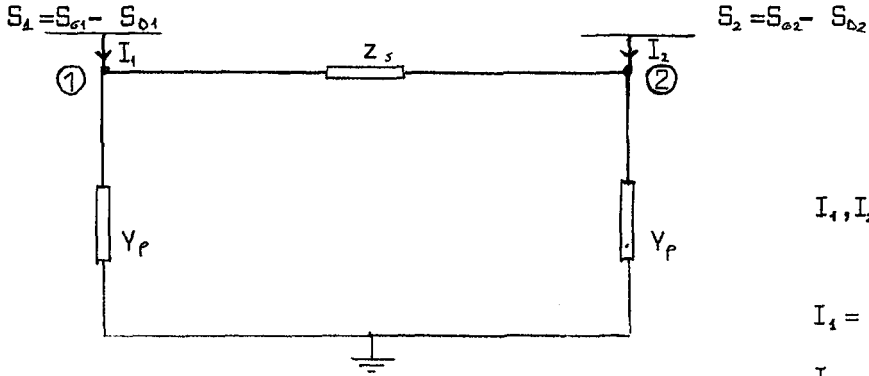
Bu denklemin çözümü ile doğrusallaştırılmış olan maliyet fonksiyonunun minimum olması için gereken $\Delta \hat{x}$ bulunabilir. Gerçek minimuma erişebilmek için $x = x^o + \Delta x$ kabul edilerek bu işlemin çözüme ulaşıncaya kadar ötelenmesi gereklidir.
[5] [6]

3.2. GÜÇ AKIŞI

Güç akışının konusu verilen bir enerji sisteminin belli bir yüklenme durumunda sistemin her tarafındaki gerilim ve yük dağılışının bulunmasıdır. Güç akışı kısa devre, stabilite ve hat kayıpları hesapları için bir ön çalışmadır.

Statik güç akışı denklemleri:





I_1, I_2 : Net bara akımları

$$I_1 = I_{G1} - I_{D1}$$

$$I_2 = I_{G2} - I_{D2}$$

S = Net güç (net bara gücü)

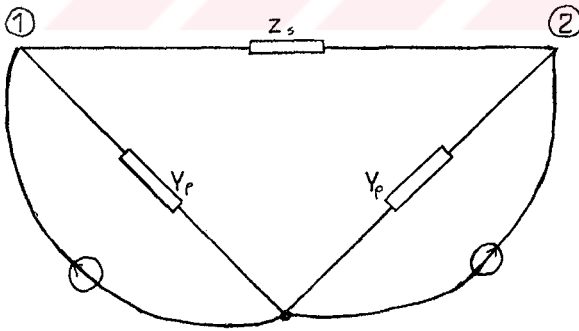
$$\tilde{S}_1 = P_1 + jQ_1 = P_{G1} - P_{D1} + j(Q_{G1} - Q_{D1}) \quad (3.14)$$

$$\tilde{S}_2 = P_2 + jQ_2 = P_{G2} - P_{D2} + j(Q_{G2} - Q_{D2}) \quad (3.15)$$

$P_L = P_{kayıp}$ denirse

$$P_G = P_D + P_L \quad (3.16)$$

$$Q_G = Q_D + Q_L \quad (3.17)$$



$$\tilde{I}_1 = -\frac{\tilde{S}_1}{\tilde{V}_1^*} \quad (3.18)$$

$$\tilde{I}_2 = -\frac{\tilde{S}_2}{\tilde{V}_2^*} \quad (3.19)$$

$$I_1 = \tilde{V}_1 Y_p + (\tilde{V}_1 - \tilde{V}_2) \frac{1}{Z_s} \quad (3.20)$$

$$I_2 = \tilde{V}_2 Y_p + (\tilde{V}_2 - \tilde{V}_1) \frac{1}{Z_s} \quad (3.21)$$

$$V_p = -\frac{1}{X_c} \Rightarrow X_c : \text{kapasitif empedansın yarısı}$$

z_s : boyuna seri empedans

$$z_s = R + jX_L = jX_L \left(1 + \frac{R}{jX_L} \right) \quad (3.22)$$

$$z_s = jX_L \left(1 - j \frac{R}{X_L} \right) \quad (3.23)$$

$$z_s = jX_L (1 - j\alpha) \quad (3.24)$$

$$\frac{R}{X_L} \triangleq \alpha = \text{kayıp faktörü}$$

$$z_s = X_L e^{j\frac{\pi}{2}} \sqrt{(1-\alpha^2)} e^{-j \arctan \alpha} = X_L e^{j(\frac{\pi}{2} - \arctan \alpha)} \sqrt{(1-\alpha^2)} \quad (3.25)$$

$$\alpha \ll 1, \quad \sqrt{1-\alpha^2} \cong 1 \quad \arctan \alpha \cong \alpha$$

$$z_s \cong X_L e^{j(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \quad (3.26)$$

$R = 0$ ise;

$$z_s = X_L e^{j\frac{\pi}{2}} = jX_L \quad (3.27)$$

$$\tilde{V}_1 = V_1 e^{js_1} \quad (3.28)$$

$$\tilde{V}_2 = V_2 e^{js_2} \quad (3.29)$$

$$V_1 = \frac{V_{1max}}{\sqrt{2}}, \quad V_2 = \frac{V_{2max}}{\sqrt{2}} \quad (3.30)$$

$$S_1^* = \tilde{V}_1^* \tilde{V}_1 + Y_p + \tilde{V}_1^* (\tilde{V}_1 - \tilde{V}_2) \frac{1}{Z} \quad [5] \quad (3.31)$$

$$S_1^* = V_1^2 \frac{j}{X_c} + \frac{1}{X_L} e^{-j(\frac{\pi}{2} - \alpha)} V_1^2 - \frac{1}{X_L} e^{-j(\frac{\pi}{2} - \alpha)} V_1 V_2 e^{-j(s_1 - s_2)} \quad (3.32)$$

$$S_1^* = -\frac{j}{X_c} V_1^2 + \frac{1}{X_L} V_1^2 e^{-j(\frac{\pi}{2} - \alpha)} - \frac{V_1 V_2}{X_L} e^{j[-\frac{\pi}{2} + \alpha - (s_1 - s_2)]} \quad (3.33)$$

$$S_1^* = -\frac{j}{X_c} V_1^2 + \frac{1}{X_L} V_1^2 e^{j(\alpha - \frac{\pi}{2})} - \frac{1}{X_L} V_1 V_2 e^{j(\beta - \frac{\pi}{2})} \quad (3.34)$$

$$P_1 = P_{G1} - P_{D1} = \text{Reel} \left\{ S_1^* \right\} \quad (3.35)$$

$$P_1 = -\frac{1}{X_L} V_1^2 \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) - \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \cos(\beta - \frac{\pi}{2}) \quad (3.36)$$

$$P_1 = -\frac{1}{X_L} V_1^2 \sin \alpha - \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \sin \beta \quad (3.37)$$

$$P_{G1} - P_{D1} - \frac{1}{X_L} V_1^2 \sin \alpha + \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \sin [\alpha - (\phi_1 - \phi_2)] = 0 \quad (3.38)$$

Aynı işlemi ikinci bara için yaparsak;

$$P_{G2} - P_{D2} - \frac{1}{X_L} V_2^2 \sin \alpha + \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \sin [\alpha + (\phi_1 - \phi_2)] = 0 \quad (3.39)$$

$$Q_1 = Q_{G1} - Q_{D1} \quad (3.40)$$

$$Q_1 = \text{Im} \left\{ S_1^* \right\}$$

$$Q_1 = -\frac{1}{X_C} V_1^2 + \frac{1}{X_L} V_1^2 \sin(\alpha - \frac{\pi}{2}) - \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \sin(\beta - \frac{\pi}{2}) \quad (3.41)$$

$$Q_{G1} - Q_{D1} - \frac{1}{X_C} V_1^2 - \frac{1}{X_L} V_1^2 \cos \alpha + \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \cos [\alpha - (\phi_1 - \phi_2)] = 0 \quad (3.42)$$

$$Q_{G2} - Q_{D2} - \frac{1}{X_C} V_2^2 - \frac{1}{X_L} V_2^2 \cos \alpha + \frac{1}{X_L} V_1 V_2 \cos [\alpha + (\phi_1 - \phi_2)] = 0 \quad (3.43)$$

Denklemlerin özellikleri:

- Cebirsel
- Non lineer
- Şebeke analizinde akı gerilim yerine güçler ve gerilimler kullanılır.
- Frekans formüllerinde açık olarak kullanılmaz.

$$X_L = 2\pi f L$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$- P_{s1} + P_{s2} = P_{o1} + P_{o2} + \underbrace{\frac{\sin \alpha}{X_L} [V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos (\delta_1 - \delta_2)]}_{\text{aktif kayıp}} \quad (3.44)$$

$$- Q_{s1} + Q_{s2} = Q_{o1} + Q_{o2} + \underbrace{\frac{\cos \alpha}{X_L} [V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos (\delta_1 - \delta_2)]}_{\text{reaktif kayıp}} - \frac{V_1^2 + V_2^2}{X_L} \quad (3.45)$$

hatta
reaktif
güç
üretimi

$$- P_L = P_L (V_1, V_2, \delta_1, \delta_2)$$

$$Q_L = Q_L (V_1, V_2, \delta_1, \delta_2)$$

- Belli bir şebeke için parametreler (α, X_L, X_C) 'dir.
Denklem bunlar hariç 12 ayrı değişken belirtir.

Sonuç: 12 değişkenin bazılarının değerlerini sabitleştirerek değişken sayısı azaltılmazsa çözüm bulmak olanaksızdır. Bu nedenle bilinmeyen sayısını 12'den denklem sayısı olan dörde indirmek gerekir. [7]

Değişkenlerin sınıflandırılması:

- Kontrol edilemeyen değişkenler;

$P_{o1}, P_{o2}, Q_{o1}, Q_{o2}$ tamamen alıcı tarafından belirlendiği için bunların kontrolü mümkün değildir. Bunlarda önceden bilinmeyen değişiklikler olması ve bunun sonucunda sistemin normal çalışma durumunda sapmalar oluşmasından dolayı bu değişkenlere bozucu değişkenler adı da verilir.

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} \triangleq \begin{bmatrix} P_{o1} \\ P_{o2} \\ Q_{o1} \\ Q_{o2} \end{bmatrix}$$

-Kontrol değişkenleri ve durum değişkenleri;
Kontrolu elimizde olan değişkenlerdir.

" $V_1, V_2, S_1, S_2, P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$ "

Bunlardan $P_{G1}, P_{G2}, Q_{G1}, Q_{G2}$ kontrol edilebilen değişkenlerdir.

Q_{G1} ve Q_{G2} V_1 ve V_2 'nin genliklerini etkiler.

P_{G1} ve P_{G2} V_1 ve V_2 'nin açıları δ_1 ve δ_2 'yi etkiler.

V_1, V_2, δ_1 ve δ_2 durum değişkenleridir.

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \triangleq \begin{bmatrix} V_1 \\ \delta_1 \\ V_2 \\ \delta_2 \end{bmatrix}$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \triangleq \begin{bmatrix} P_{G1} \\ Q_{G1} \\ P_{G2} \\ Q_{G2} \end{bmatrix}$$

olarak düşünülür ve çözüme gidilir. [8]

Büyük sistemlerde çözümler oldukça zor olduğundan bu sistemlerin çözümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri yukarıda incelenmiş olan modelleme yöntemidir. 1950'den sonra dijital kompüterlerin gelişimi ile sayısal analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanım açısından modelleme yöntemine göre avantajlara sahiptir.

Parçalama yöntemi:

Bu yöntem yalnızca lineer sistemlerin çözümünde kullanılır.

$$[Y][V] = [I] \quad , \quad [I] \text{ tanımlanmıştır.}$$

Parçalama yöntemi küçük kompüterlerde büyük problemlerin çözümünde kullanılır.

Bir matris;

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}$$

şeklinde bölünebilir. Böylece şebeke için tipik admitans matrisi oluşur.

$$Y = \begin{bmatrix} B & C \\ C^t & D \end{bmatrix}$$

C^t , C 'nin transpozesidir.

$$B = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} Y_{13} \\ Y_{23} \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} Y_{33} \end{bmatrix}$$

$[I]$ 'nin tanımlandığı durumlarda düğümleri azaltmak mümkündür.

$$\begin{bmatrix} I_w \\ I_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B & C \\ C^t & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_w \\ V_u \end{bmatrix}$$

u : istenmeyen düğümler

w : istenen düğümler

$I_u = 0$ ise,

$$-C^t V_w = D V_u \quad (3.46)$$

$$-D^{-1} C^t V_w = V_u \quad (3.47)$$

Bu I_w denkleminde yerine konulursa;

$$I_w = B V_w - C \bar{D}^t C^t V_w \quad (3.48)$$

Böylece sadece istenilen değerlerin bulunduğu bir denklem elde edilmiş olur.

$$[Y] = B - C \bar{D}^t C^t \quad (3.49)$$

Örneğin 50x50 bir sistemde

$$[Y] [V] = [I] \quad (3.50)$$

$[Y]$ dokuz alt matrise bölünebilir.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

Y_{11} 20x20 bir matris ve Y_{22} 20x20 bir matris ise Y_{33} 10x10 , Y_{23} 20x10 , I_3 ve V_3 10x1 olacaklardır.

Çözüm için V_1 aşağıdaki şekilde elimine edilir:

$[Y]$ matrisinde 1. sıra $-\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$ ile çarpılır ve 2. sıradan

1.

çıkartılır. $[I]$ matrisinde de aynı işlem yapılır.

$[Y]$ ve $[I]$ 'nin 1. matrisleri $-\frac{Y_{31}}{Y_{11}}$ ile çarpılır ve 3.

sıradan çıkartılır.

Böylece $[Y]$ ve $[I]$ matrisleri şu şekle gelir.

$$\begin{bmatrix} Y_{22}' & Y_{23}' \\ Y_{32}' & Y_{33}' \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \begin{bmatrix} I_2' \\ I_3' \end{bmatrix}$$

$$(Y'_{22}, Y'_{23}, I'_2) = (Y_{22}, Y_{23}, I_2) - Y_{21} Y_{11}^{-1} (Y_{12}, Y_{13}, I_1) \quad (3.51)$$

$$(Y'_{32}, Y'_{33}, I'_3) = (Y_{32}, Y_{33}, I_3) - Y_{31} Y_{11}^{-1} (Y_{12}, Y_{13}, I_1) \quad (3.52)$$

Daha sonra bu matrislerin 1. satırını $-\frac{Y'_{32}}{Y'_{22}}$ ile çarpılır ve

$$Y''_{33} V_3 = I''_3 \text{ elde edilir.}$$

$$(Y''_{33} I''_3) = (Y'_{32}, I'_3) - Y'_{32} (Y'_{22})^{-1} (Y'_{22}, I'_2) \quad (3.53)$$

$$\text{ve } V_3 = (Y''_{33})^{-1} I''_3, \quad V_2 = (Y'_{22})^{-1} (I'_2 - Y'_{23} V_3) \quad (3.54)$$

Gauss-Seidel yöntemi:

Bu yöntemde bazı bilinmeyenlerin değerleri varsayım yapılarak işlem yapılır ve işlem sonunda gerçek değer elde edilene kadar işlem tekrarlanır.

Örneğin üç düğümlü bir devrede ;

$$S = V I^*$$

p : iterasyon sayısı olmak üzere 1. düğüm için

$$I_1 = V_1 Y_{11} + V_2 Y_{12} + V_3 Y_{13} \quad [9] \quad (3.55)$$

$$V_1 = -V_2 \frac{Y_{12}}{Y_{11}} - V_3 \frac{Y_{13}}{Y_{11}} + \frac{I_1}{Y_{11}} \quad [9] \quad (3.56)$$

$$V_1^* = - \frac{Y_{12}^*}{Y_{11}^*} V_2 - \frac{Y_{13}^*}{Y_{11}^*} V_3 + \frac{I_1^*}{Y_{11}^*} \quad (3.57)$$

$$I_1^* = \frac{S}{V} \text{ yazılırsa, iterativ formda:}$$

$$V_1^{*p+1} = - \frac{Y_{12}^*}{Y_{11}^*} V_2^{*p} - \frac{Y_{13}^*}{Y_{11}^*} V_3^{*p} + \frac{S}{Y_{11}^*} \frac{1}{V_1^p} \quad (3.58)$$

benzer şekilde;

$$V_2^{*p+1} = - \frac{Y_{21}^*}{Y_{22}^*} V_1^{*p} - \frac{Y_{23}^*}{Y_{22}^*} V_3^{*p} + \frac{S_2}{Y_{22}^*} - \frac{1}{V_2^p} \quad (3.59)$$

$$\text{ve } V_3^{*p+1} = - \frac{Y_{31}^*}{Y_{33}^*} V_1^{*p} - \frac{Y_{32}^*}{Y_{33}^*} V_2^{*p} + \frac{S_3}{Y_{33}^*} - \frac{1}{V_3^p} \quad (3.60)$$

ve genel olarak

$$(V_i^{*p+1})^* = - \frac{S_i}{Y_{ii}^*} - \frac{1}{V_i^p} - \sum \frac{Y_{ij}^*}{Y_{ii}^*} V_j^{*p} \quad (3.61)$$

Böylece iterasyon her düğüm için yapılarak çözüme gidilir.

Newton-Raphson yöntemi:

Genel iterative prosedür;

$$x^{p+1} = x^p - \frac{f(x^p)}{f'(x^p)} \quad \text{olarak tanımlanır. [9]}$$

Çok denklemlili bir sistemde

$$x^{p+1} = x^p - J^{-1}(x^p) f(x^p) \quad [9] \quad (3.62)$$

x ve f kalan vektörler ve $J(x^p)$ Jakobien matrisidir.

$$J(x^p) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \frac{\partial f_k}{\partial x_k} & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad p.\text{iterasyon}$$

n düğümlü bir sistemde, k ve j düğümlerinde Y_{kj} admitansı olsun.

$$P_k + jQ_k = V_k I_k^* = V_k \sum_{j=1}^{n-1} (Y_{kj} V_j)^* \quad [9] \quad (3.63)$$

$$V_k = a_k + j b_k \quad \text{ve} \quad [9] \quad (3.64)$$

$$Y_{kj} = G_{kj} - jB_{kj} \quad [9] \quad (3.65)$$

$$P_k + jQ_k = (a_k + j b_k) \sum_{j=1}^{n-1} [(G_{kj} - jB_{kj}) (a_j + j b_j)]^* \quad (3.66)$$

$$P_k = \sum_{j=1}^{n-1} [a_k (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) + b_k (b_j G_{kj} - a_j B_{kj})] \quad (3.67)$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^{n-1} [b_k (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) - a_k (b_j G_{kj} - a_j B_{kj})] \quad (3.68)$$

n salınım barası olarak kabul edilmiştir.

$$\Delta P_i = \frac{\partial P_i}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial P_i}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial P_i}{\partial a_{n-1}} \Delta a_{n-1} \quad [9] \quad (3.69)$$

benzer eşitlikler ΔP ve Δb arasında,

ΔQ ile Δa ve Δb arasında yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_{n-1} \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial P_1}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial b_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_{n-1}}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial P_{n-1}}{\partial b_{n-1}} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial Q_1}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial b_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial b_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n-1}}{\partial b_{n-1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a_1 \\ \vdots \\ \Delta a_{n-1} \\ \Delta b_1 \\ \vdots \\ \Delta b_{n-1} \end{bmatrix}$$

Jakobien matrisi $\begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix}$ olarak tanımlanabilir.

J_A altmatrisi için;

$$-\frac{\partial P_k}{\partial a_j} = a_k G_{kj} - b_k B_{kj} \quad (3.70)$$

$k \neq j$ (köşegen dışı elemanlar için)

köşegen elemanları için;

$$-\frac{\partial P_k}{\partial a_k} = 2 a_k G_{kk} + b_k B_{kk} - b_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) \quad (3.71)$$

$$I_k = c_k + j d_k = (G_{kk} - j B_{kk}) (a_k + j b_k) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (G_{kj} - j B_{kj}) (a_j + j b_j) \text{ olsun} \quad (3.72)$$

$$c_k = a_k G_{kk} + b_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (a_j G_{kj} + b_j B_{kj}) \quad (3.73)$$

$$d_k = b_k G_{kk} - a_k B_{kk} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{n-1} (b_j G_{kj} - a_j B_{kj}) \quad (3.74)$$

$$\Rightarrow -\frac{\partial P_k}{\partial a_k} = a_k G_{kk} - b_k B_{kk} + c_k \quad (3.75)$$

$$J_B \text{ için } -\frac{\partial P_k}{\partial b_k} = a_k B_{kk} + b_k G_{kk} + d_k \quad (3.76)$$

$$\text{ve } -\frac{\partial P_k}{\partial b_j} = a_k B_{kj} + b_k G_{kj} \quad (k \neq j) \quad (3.77)$$

J_C için

$$-\frac{\partial Q_k}{\partial a_k} = a_k B_{kk} + b_k G_{kk} - d_k \quad (3.78)$$

$$\text{ve } -\frac{\partial Q_k}{\partial a_j} = a_k B_{kj} + b_k G_{kj} \quad (j \neq k) \quad (3.79)$$

$$J_D \text{ için } -\frac{\partial Q_k}{\partial b_j} = -a_k G_{kj} + b_k B_{kj} \quad (k \neq j) \quad (3.80)$$

$$\text{ve } -\frac{\partial Q_k}{\partial b_k} = -a_k G_{kk} + b_k B_{kk} + c_k \quad (3.81)$$

Bu işlem için p sıfırdan başlar ve salınım barası harici tüm gerilimler genelde 1 p.u. kabul edilir.

Buradan P ve Q hesaplanır, çıkan sonuçlarla ilk tanımlamalar karşılaştırılarak $\Delta P_k^p = P_k(\text{tanımlanan}) - P_k^p$ ve $\Delta Q_k^p = Q_k(\text{tanımlanan}) - Q_k^p$

Daha sonra akımlar hesaplanır.

$$I_k^p = \left(\frac{P_k^p + jQ_k^p}{V^p} \right) = c_k^p + jd_k^p \quad (3.82)$$

Jakobien matrisinin elemanları oluşturulur.,

$$\begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_A & J_B \\ J_C & J_D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}$$

a ve b tesbit edilerek

$$a_k^{p+1} = a_k^p + \Delta a_k^p \quad \text{ve} \quad (3.83)$$

$$b_k^{p+1} = b_k^p + \Delta b_k^p \quad \text{çıkartılır ve işlem sürdürülür.} \quad (3.84)$$

[7] [8] [9]

3.3. OPTİMİZASYON

Bir sistemin optimal işletilmesi için santraller ve generatörler için bazı şartlar gereklidir.

Generatörler için:

- Maksimum ve ekonomik kapasite
- Sabit ve artan ısı sınırları
- Devre dışına alabilmek için gereken minimum zaman
- Minimum kararlı kapasite
- Maksimum durma ve harekete geçme zamanının bilinmesi

Santraller için:

- Termik santral için yakıtın fiyatı
- Son zamanlardaki işletme programı
- Generatörlerin yüklenmesi ve yükün kaldırılması için minimum zaman
- Santral gücündeki sınırlar

Tüm sistem için:

- Özel peryotlardaki yük talebi
- İletim hatlarında iletim kapasitesine göre belirlenen sınırlamalar
- Boşta çalışma ihtiyacı
- İletim hattı kayıplarının etkisi

N+1 tane düğümlü bir enerji sisteminde (0,1,2,...N)

1. düğümde P_i üretilen aktif güçtür. C_i tüketilen aktif güçtür.

$$I_i = P_i - C_i \quad (I_i : \text{enjekte edilen aktif güç})$$

Üretim merkezi yoksa $P_i = 0$ $C_i = -I_i$ olur. Her düğümde, her noktada, her barada U gerilimlerinin belirlenmiş olduğunu varsayıyoruz. Üretim maliyeti F ile gösterilir.

$$F = f(P_0, P_1, \dots, P_N)$$

Optimal işletme C_i belliyken $N+1$ tane santralin gücünü F maliyetini minimum yapacak şekilde belirlemek demektir.

Lagrange Yöntemi:

$F = f(x) = x_0, x_1, \dots, x_n$ gibi bileşenleri olan $(n+1)$ boyutlu bir büyüklük olsun. $(n+1)$ boyutlu fonksiyonun dışbükeyliğini kabul ederiz. $F(x)$ fonksiyonunun minimuma karşı düşen bir x değerinde fonksiyonun minimum olması için gerek ve yeter şart başka bir $H = f(x)$ fonksiyonunun sıfıra eşit olma kısıtlaması altında:

$d[F(x) + k H(x)] = 0$ yapacak bir k katsayısının bulunmasıdır. [3]

$I_i = P_i - C_i$ tüm sistem için düşünülürse,

$$p = \sum_{i=0}^N (P_i - C_i) = \text{hattın kayıpları}$$

Bu kayıplar hatların niteliklerine bağlıdır. Hatların yapısal durumlarına göre kayıplar:

$$p = g(P_1 - C_1, P_2 - C_2, \dots, P_N - C_N) \quad (3.85)$$

$$H(x) = g[(P_1 - C_1), (P_2 - C_2), \dots, (P_N - C_N)] - \sum_{i=0}^N (P_i - C_i) = 0 \quad (3.86)$$

$$d \left\{ f(P_0, P_1, \dots, P_N) + k \left[g(P_1 - C_1, P_2 - C_2, \dots, P_N - C_N) - \sum_{i=0}^N (P_i - C_i) \right] \right\} \quad (3.87)$$

1. düğüm için türev alınırsa;

$$-\frac{\partial F}{\partial P_i} + k \frac{\partial g}{\partial P_i} - k = 0 \quad (3.88)$$

$$k = \frac{-\frac{\partial F}{\partial P_i}}{1 - \frac{\partial g}{\partial P_i}} \quad (3.89)$$

$$d \left\{ \underbrace{F(P_0, P_1, \dots, P_N)}_{F(x)} + k \left[g(P_1 - C_1, P_2 - C_2, \dots, P_N - C_N) - \sum_{i=0}^N (P_i - C_i) \right] \right\} = 0 \quad (3.90)$$

$$-\frac{\partial F}{\partial P_i} + k \frac{\partial g}{\partial P_i} - k = 0 \quad (3.91)$$

$$k = \frac{-\frac{\partial F}{\partial P_i}}{1 - \frac{\partial g}{\partial P_i}} \quad (3.92)$$

Sıfır barasında;

$$-\frac{\partial F}{\partial P_i} - k = 0 \quad (3.93)$$

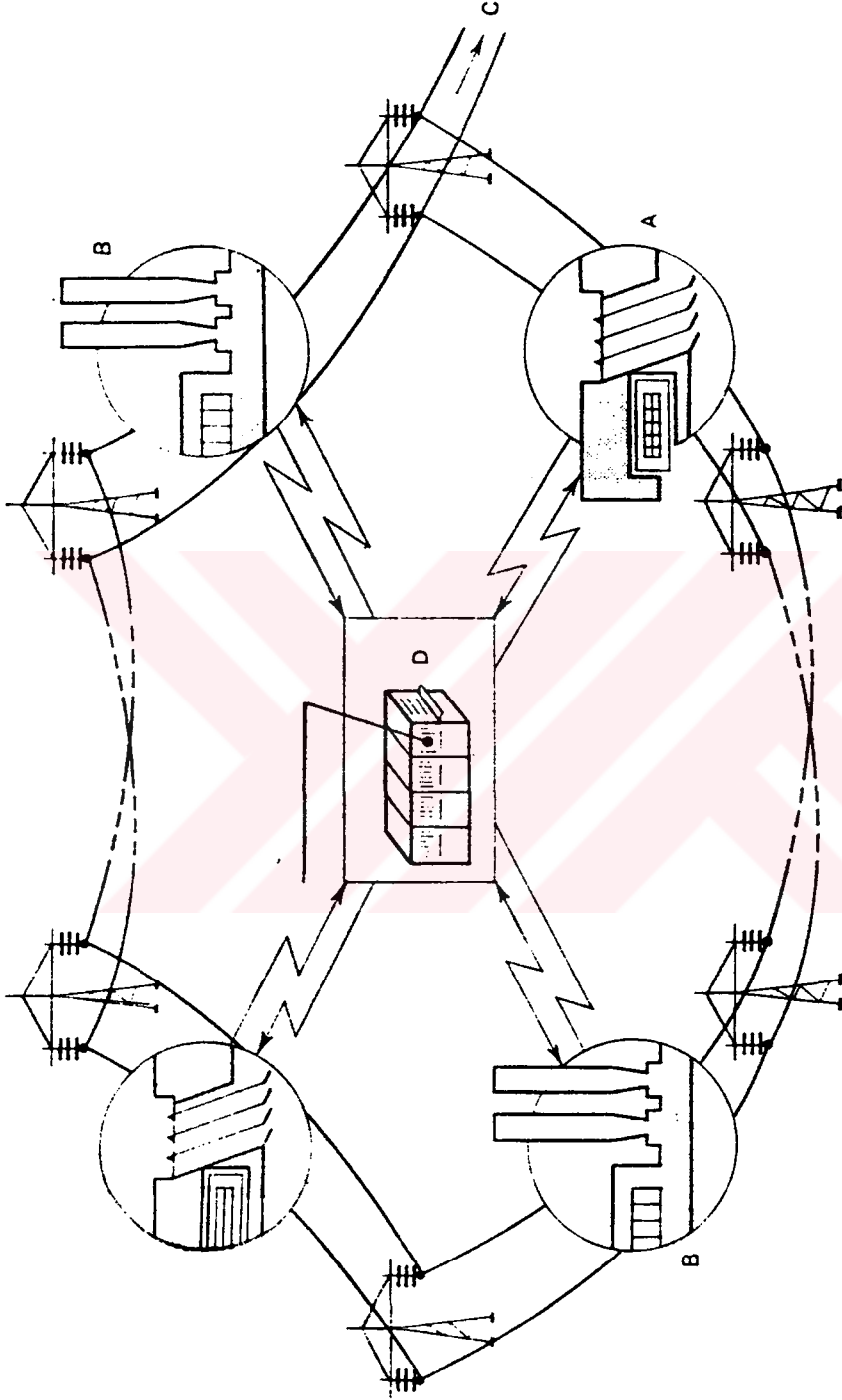
$$k = -\frac{\partial F}{\partial P_i} \quad (3.94)$$

Hattı bu baraya bağladığımızda kayıp oluşur, $\frac{1}{1 - \frac{\partial g}{\partial P_i}}$

faktörü (Penalty faktörü) devreye girer.

Elektrik sistemlerinin otomatik kontrolü sırasında optimizasyon programlarının da işletilmesi mümkündür.

Örneğin halka şebeke şeklinde bağlanmış bir enterkonnekte şebekeyi ele alabiliriz. Şekil 5 böyle bir sistemi göstermektedir. Bu şebekeye bağlı hidroelektrik ve termal santraller ve ayrıca sabit yükler vardır. Tüm işlem genel bir kontrol odasından dijital olarak kontrol edilmektedir.



Şekil 5. Halka Şebeke Şeklinde Bağlanmış Bir Enterkonnekte Şebeke

Hidroelektrik santralde hava koşullarına göre su rezervi değişmektedir. Düşük seviyelerde kapaklar kapalı tutularak su rezervinin artması sağlanır. Buna karşılık enerji üretiminin düşmesini karşılamak için termal santralde yakıt arttırılarak toplam üretimin normal düzeye çıkması sağlanır. Su seviyesinin yüksek olması durumunda da bunun tersine bir işlem gerçekleştirilir. Halka şebekenin prensipte amacı üretilen gücün maliyetini minimize etmek ve kesintisiz güç akışını sağlamaktır. Üretilen gücün toplam maliyeti şöyle ifade edilir:

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n) = f_1(p_1) + f_2(p_2) + \dots + f_n(p_n) = \sum_{i=1}^n f_i(p_i) \quad [9] \quad (3.95)$$

p_i : i. ünite tarafından üretilen güçtür.

f_i : i. ünite tarafından üretilen gücün maliyetidir.

Tam güç altında sistem akışının uygun olma olasılığı:

$$B_s = \prod_{i=1}^n B_i \quad [9] \quad (3.96)$$

olarak hesaplanır.

Burada B_i = i. istasyonun tam kapasitede çalışma olasılığıdır. Kesintisiz güç akışını sağlamak ve bir ünite kesilme olması halinde çekilen yükü karşılamak için her istasyonun ek bir rezerv kapasitesi olmalıdır. Bu paralel ünitelere m denirse;

$$B_i = 1 - (1 - B_j)^{m_i} \quad [9] \quad (3.97)$$

B_j = j. enerji ünitesinin uygun olma olasılığı

m_i = i. istasyondaki ünitelerin sayısı

Problemi optimize edebilmek için Lagrange fonksiyonuna geçelim;

$$\phi(p_1, \dots, p_n, k) = \sum_{i=1}^n f_i(p_i) + k \left(\prod_{i=1}^n B_i - B_s \right) \quad [9] \quad (3.98)$$

k: Lagrange çarpanı

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = 0 \quad (3.99)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial k} = 0 \quad (3.100)$$

(n+1) adet eşitliğin çözümü optimal $p_1^*, \dots, p_n^*$ güçleri için toplam maliyeti minimize ederek çözülür. [6] [3]



4. ÇEŞİTLİ KURULUŞLARIN SCADAS UYGULAMALARI

4.1. T.E.K. MİLLİ YÜK TEVZİ PROJESİ

Yük Tevzi Merkezleri, sistemi kontrol fonksiyonunu kendilerine gelen veya telefonla kendi topladıkları bilgileri değerlendirerek yapmaktadırlar.

Gelen veya kendi topladıkları bilgilerin gelme sürati, doğrulukları ve sayıları, yük tevziciye sistem hakkında daha çabuk ve doğru karar verebilme imkanı yaratmaktadır. Bilgisayarların elektrik sistemlerine uygulanması bu imkanları çok arttırmıştır.

Toplanan bilgilere ve sistemin durumuna göre merkezde mevcut bu Bilgi İşlem Sistemi yardımıyla elektrik sistemi hakkındaki çeşitli varsayımların (örnek olarak hat açması, yük veya üretim değişmesi) mevcudiyeti durumunda sistemin davranışının ne olacağı gerekli çalışmaları yaparak görülebilmektedir. Bu sayede gerek Santral İşletme Müdürlüklerinden, gerekse Şebeke İşletme Müdürlüklerinden gelecek işletme şartları değişik isteklerinin kararları hemen verilebilmektedir. Böyle bir sistemin çalışabilmesi için transformatör merkezleri ve santrallerden gerekli bilgilerin toplanabilmesi gerekir. Bununla ilgili olarak bilgi üretme, toplama, nakil ve işleme sistemin istasyonlar ve kontrol merkezleri ile olan bağlantısı Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da istasyonlardan ve santrallerden toplanan bilgilerin nerelerden geçerek taşındığı da gösterilmektedir.

Hatların ve transformatörlerin taşıdığı veya generatörlerin ürettiği aktif ve reaktif güçler, transformatör istasyonlarına veya santrallere yerleştirilen ve transdüser denilen çeviricilerle ölçülmektedir.

Bu çeviricilerin çıkışı istasyon veya santralde bulunan kesici ve ayırıcıların konumlarını gösteren hareket sonu kontakları ile birlikte uzak kontrol Ünitesi (Remote Terminal Unit -RTU) denilen hafızalı bilgi toplama cihazına bağlanmaktadır.

Bilgi toplama cihazları, kuranportörlerin bilgi taşıma kanalı yardımıyla bu bilgileri Bölgesel Kontrol Merkezlerine gönderirler. Kuranportörler uygun düzenlerle enerji nakil hatları üzerinden haberleşmeyi sağlarlar.

Sistemde toplanan bilgilerin tamamı her 10 saniyede bir defa yenilenmekte ve her kesici veya ayırıcı konum değişikliği en geç iki saniye içinde Milli Yük Tevzi Merkezine erişmektedir.

Bölgesel kontrol merkezlerinde bulunan bilgisayar, mevcut gerçek zaman programlarının yardımı ile bu bilgileri yük tevzi elemanlarına gösterecek hale getirir ve gerekli olanları da kayıt eder.

Bölgesel kontrol merkezlerinin sayısı beş adet olup bunlar Adapazarı, Işıklar (İzmir), Keban, Çarşamba ve Gölbaşı'nda kurulmuşlardır.

Bölgesel Kontrol Merkezlerinden toplanan bilgilerden Milli Yük Tevzi Merkezine gönderilmesi gerekenler, gerekli seçme işlemi yapıldıktan sonra (ilk etapta kuranportörlerde, ileride PTT'den kiralanacak mikrodalga kanalları yardımıyla) Milli yük tevzi Merkezine gönderilmektedir.

Milli Yük Tevzi Merkezine gelen bilgiler, Bölgesel Kontrol Merkezlerinde olduğu gibi gösterme sistemi ile kayıt sisteminde yük tevziciye sunulurlar.

Kesici açmaları ve diğer önemli alarmlar yük tevziciye sesli olarak da duyurulur ve gösterme sisteminde gösterilirler.

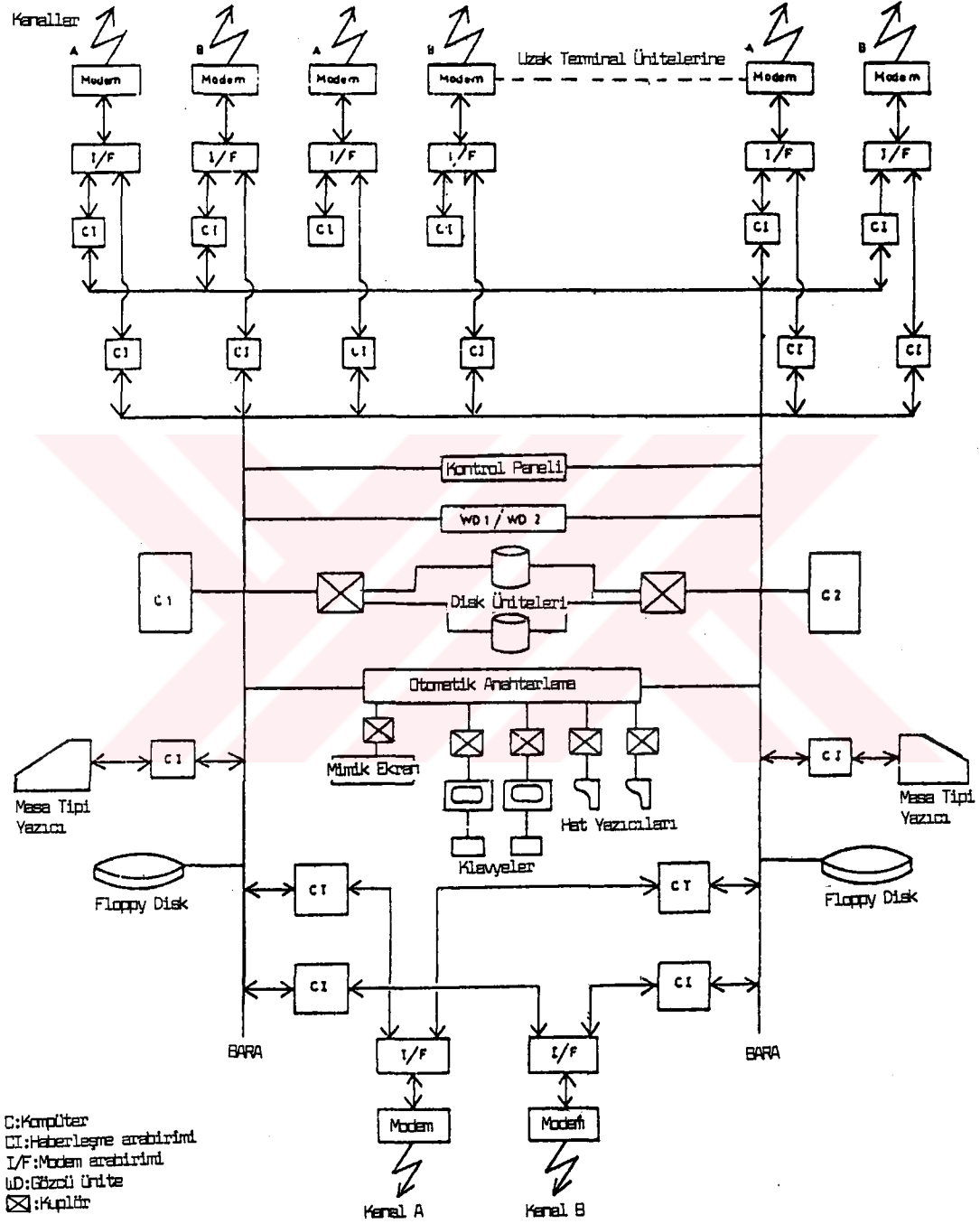
Ancak Milli Yük Tvzi merkezlerindeki bilgi işlem sistemi Bölgesel Kontrol Merkezlerindeki bilgi işlem sisteminden farklıdır. Bu fark makinaların büyüklüklerinde ve program sistemindedir.

Milli Yük Tvzi Merkezlerinde gösterme ve kayıt sisteminin çalıştırılması ile ilgili şu fonksiyonlar yerine getirilmektedir:

- Bilgi toplama
- Konum değişikliğini işleme
- şebeke topoloğisinin oluşturulması
- Limit aşma kontrolu
- G ve enerji bilgilerinin işlenmesi
- Günlük yük eğrisinin ıkartılması
- Katot ışınlı tüplerin alıştırılması
- Mimik panonun alıştırılması
- Transfer işlemleri
- Bilgi kayıt işlemleri
- Gelen bilgilerin boyutlandırılması

Bu fonksiyonlardan bilgi toplama, konum değişikliği işleme, limit aşma kontrolu, katot ışınlı tüplerin çalıştırılması, mimik panosunun çalıştırılması ve geçen bilgilerin boyutlandırılması Bölgesel Kontrol Merkezlerinin bilgi işlem sisteminde de mevcuttur. şekil 7 bu sistemi göstermektedir.

Milli Yük Tvzi Merkezlerinde mevcut olan gösterme sistemi ve kayıt sistemi programlarına ilave olarak genişletilmiş gerçek zaman programı denilen program paketinde durum kestirimi programı ile yük akışı ve kısıtlama analizi programları mevcuttur.



Şekil 7. Bölgesel Kontrol Merkezi
Bilgi İşlem Sistemi

Durum kestirimi programı ile alınan bilgiler şunlardır:

Giriş bilgileri;

- Kesici ve ayırıcıların şebeke topolojisi programında gelen konumları
- Aktif ve reaktif yükler ve akışlar
- Aktif ve reaktif üretimler
- Bara gerilimleri

Çıkış bilgileri;

- Sistemin topolojisi
- İstasyonların bara gerilimleri ve açıları
- Yükler, üretimler ve hat akışları
- Çözüm sonucuna göre yanlış gelen ölçmeler

Bu program yardımı ile, yapılmış olan ölçmelerden yararlanılarak sistemin ölçülmeyen büyüklükleri hassas bir şekilde ve tam olarak hesaplanmakta ve sistemin durumu ortaya çıkarılmaktadır.

Yük akışı programından alınan bilgiler ise şunlardır:

Giriş bilgileri;

- Sistem topolojisi
- Üretim planı
- Yük talepleri
- Sistemde yapılmak istenen değişiklik

Çıkış bilgileri;

- Gerilimin belirlendiği baralarda reaktif üretim
- Reaktif üretimin verildiği baralarda gerilimin seviyesi

- Hat ve transformatörlerde akışlar
- Yedek aktif ve reaktif üretim miktarı
- Maksimum aktif ve reaktif yedek güç miktarı
- Hat ve transformatörlerdeki aşırı yüklenmeler, baralardaki aşırı gerilimler ve generatörlerdeki aşırı reaktif güç üretimleri

Yük akışı programı, giriş bilgilerinin yük tevzi operatörü tarafından elle değiştirilmesi ile, sistemde karşılaşılması muhtemel her türlü manevra şeklini çözmekte ve yük tevziciye karar vermekte yardımcı olmaktadır.

Yük şartlarının değiştirilmesi ile bir müddet sonra (örneğin bir hafta, bir ay veya altı ay) yapılacak çalışmaların sisteme getireceği işletme darboğazları önceden tesbit edilecektir. Ayrıca bir önceki hipotezin sonucu bir sonraki yük akışına bilgi olarak verilebildiği için artarda işletme koşulu değiştirme varsayımı da yapılabilmektedir.

Bu iki programa ilave olarak kısıtlama analizi programı ise şebekenin işleminin iyi bir emniyet içerisinde olup olmadığını otomatik olarak kontrol etmektedir.

Bu kontrolü yapabilmek için program, işletmede bulunan N çeşit şebeke elemanının teker teker servis harici olduğunu farzetmekte ve bu şartlarda sistem işletmesinde tehlikeli bir durum olup olmadığını kontrol etmektedir.

Program bu kontrolü otomatik olarak her 30 dakikada bir defa, her kesici açmasından sonra ve yük tevzi operatörünün yaptığı varsayımı dikkate almaktadır.

Programın giriş bilgileri şunlardır:

- Durum kestirimi programının sonuçları
- Yük tevzi operatörünün yük akışı programında verdiği bilgiler
- Servisten çıkartılması durumunun incelenmek istendiği hatların ve generatörlerin listesi

Programın çıkış bilgileri şunlardır:

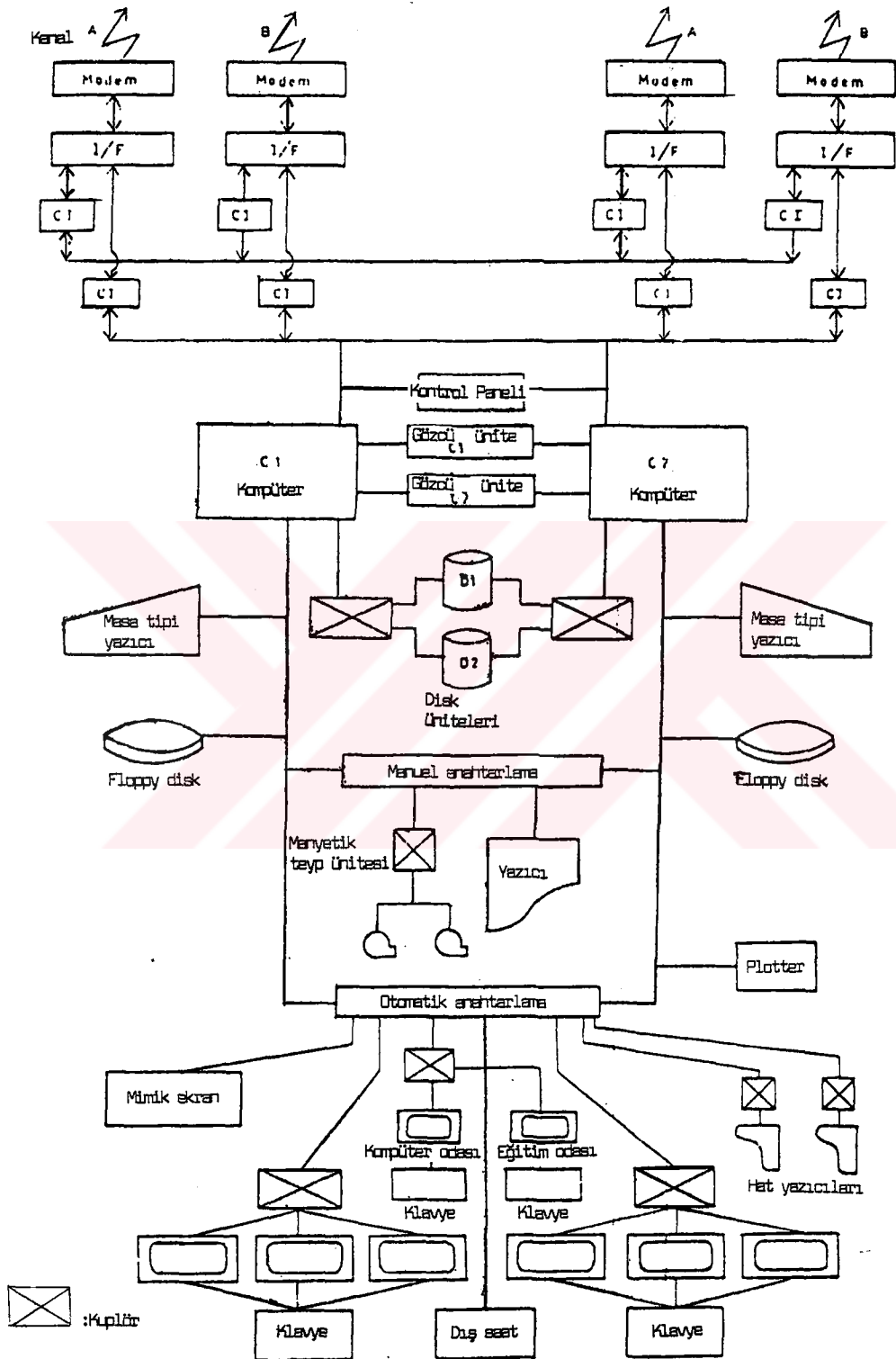
- Açılan hat veya servisten çıkarılan generatörün ismi
- Servisten çıkartılan hattın veya generatörün servisten çıkmadan önce taşıdığı aktif yük
- Aşırı yüklenen veya yükü daha önce taşıdığı yüke göre %10'dan fazla artan hat isimleri
- Gerilim değeri sınırını aşan baraların isimleri ve gerilim değerleri

Programın her 30 dakikada bir otomatik olarak yaptığı kontrolde yukarıda anlatılan yük ve gerilim limitlerinde bir zorlanma tesbit edildiği takdirde yük tevzici ikaz edilmekte ve gerekli tedbirleri alması sağlanmaktadır.

Milli Yük Tevzi Merkezindeki bilgi işlem sisteminin (Şekil 8) özelliklerinden bir diğeri de Türkiye ulusal elektrik sisteminde yük frekans kontrolü yapacak bir merkezi sistemin yapılmasıdır.

Bu kontrolün yapılabilmesi için sistem frekansı Gölbaşı ve Ankara II (Sincan) trafo merkezlerinden 10^3 Hz hassasiyetle ölçülmektedir.

Yük frekans kontrol programı, ölçülen bu frekansın, kendisine verilen nominal frekanstan olan sapmasını ve bunun için gerekli yük alma ve bırakma miktarını hesap etmekte ve santrallere göndermektedir.



Şekil 8. Millî Yük Tevzi Merkezi Bilgi İşlem Sistemi

Yük frekans kontrol programında komşu ülkelerle olan bağ hatlarındaki gücün programlanan değerde tutulması da mümkün olmaktadır.

Yük frekans kontrolüne Keban, Hasan Uğurlu, Sarıyar, Oymapınar, Karakaya ve Altınkaya hidrolik santralleri iştirak edeceklerdir.

15 Mart 1984 tarihinde Müteahhit firma ile imzalanan sözleşme gereğince Milli Yük Tevzi Projesinin kapsamındaki 50 adet trafo merkezi ve santralleri şunlardır:

Trafo Merkezleri (380/154 kV indirici merkezler)	Santraller (380 kV)	Santraller (154 kV)
Adapazarı	Altınkaya	Adıgüzel
Aliağa	Çayırhan	Aliağa G.T.
Ankara II	Elbistan	Ambarlı
Avanos	Gökçekaya	Aslantaş
Babaeski	Hasan Uğurlu	Çatalağzı
Bursa	Kangal	Demirköprü
Çarşamba	Karakaya	Hirfanlı
G.O.Paşa	Keban	Hopa
Gölbaşı	Oymapınar	Kapulukaya
Işıklar	Seyitömer	Kemer
İkitelli	Soma B.	Kesikköprü
Kayseri	Tunçbilek	Kovada II
Kayabaşı	Yatağan	Köklüce
Keban II	Yeniköy	Orhaneli
Osmanca		Sarıyar
Osmaniye		Seydişehir G.T
Seydişehir		Soma A.
Ümraniye		Suat Uğurlu

4.2. ELIOP FİRMASININ SCADAS UYGULAMALARI

Eliop firması geliştirdiği Elitel 3000 model telekontrol ve idare sistemi sayesinde elektrik sistemleri otomasyonunda etkin ve denenmiş bir çözüm sağlamaktadır. Bu çözümün genel özellikleri şunlardır:

- Sistemdeki tüm parametrelerin anlık değerleri alınabilmektedir. Bu parametreler;

- Gerilim, akım, frekans v.b. ölçümler
- Anahtarlama elemanlarının (ayırıcılar, seksiyonerler) pozisyonları
- Sayaçların okunması

Bu özellik sayesinde operatörlere doğru karar verme ve hata yapmama için tüm parametreler anında sağlanmış olmaktadır.

- Tüm bu parametrelerin printer çıkışını almak, böylece dağıtım istasyonunun işleyişine ilişkin genel bir analiz yapmak mümkündür. Bunun yanı sıra detaylı bölgesel analizler de yapılabilir.
- Dağıtım istasyonu ile merkez istasyon arasındaki haberleşme kolaylığı ile tümleşik bir şebeke kurarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlanması mümkün olmaktadır.
- Yerel kontrol ve otomasyon etkin, güvenli ve hızlı bir işlem sağlarken ana istasyon açısından da optimum kontrol sağlanır.
- Yerel ve tüm şebekede kronolojik veri kütüğüne 10 ms'ye kadar kısa bir sürede bilgi aktarmak mümkündür.

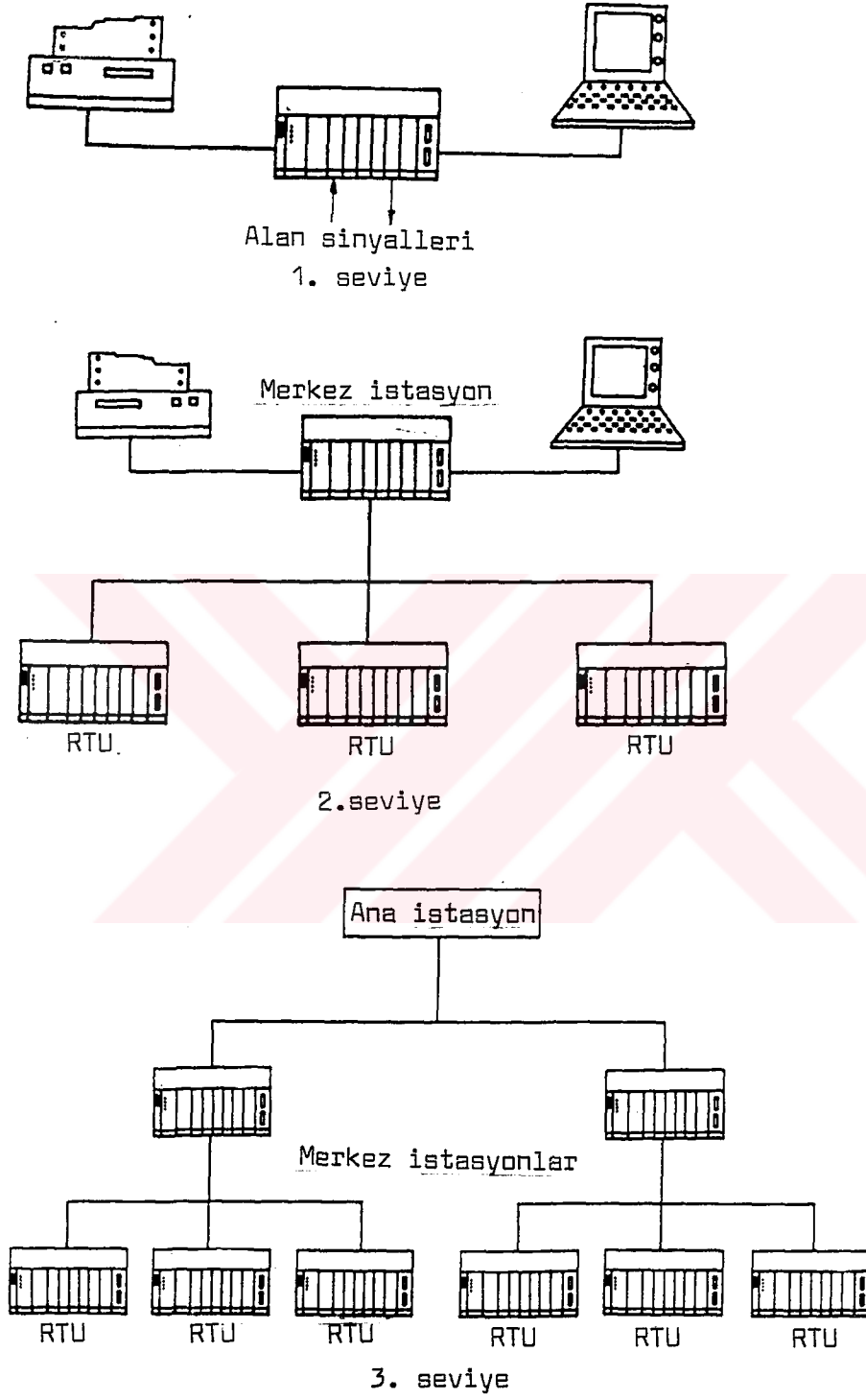
Ayrıca geliştirilen sistem esnek bir yapıya sahip olup kullanıcının ihtiyaçlarına ve isteklerine göre geliştirilebilir.

Cihaz ve özelliklerin arttırılması sırası için aşağıdaki süreç düşünülebilir:

- Birinci seviyede bir uzak terminal abonesi ile belirli sayıdaki istasyonun parametrelerini kontrol etmek.
- İkinci seviyede bir uzak terminal Ünitesi tarafından kontrol edilen çeşitli uzak terminal Üniteleri kurmak.
- Üçüncü seviyede bir bilgisayar tarafından kontrol edilen bir uzak terminal Ünitesi şebekesi sayesinde birçok istasyonun eşzamanlı olarak ve tüm özellikleri kullanarak kontrol edilmesi.

(Şekil 9)





Şekil 9. SCADAS Geliştirme Süresi

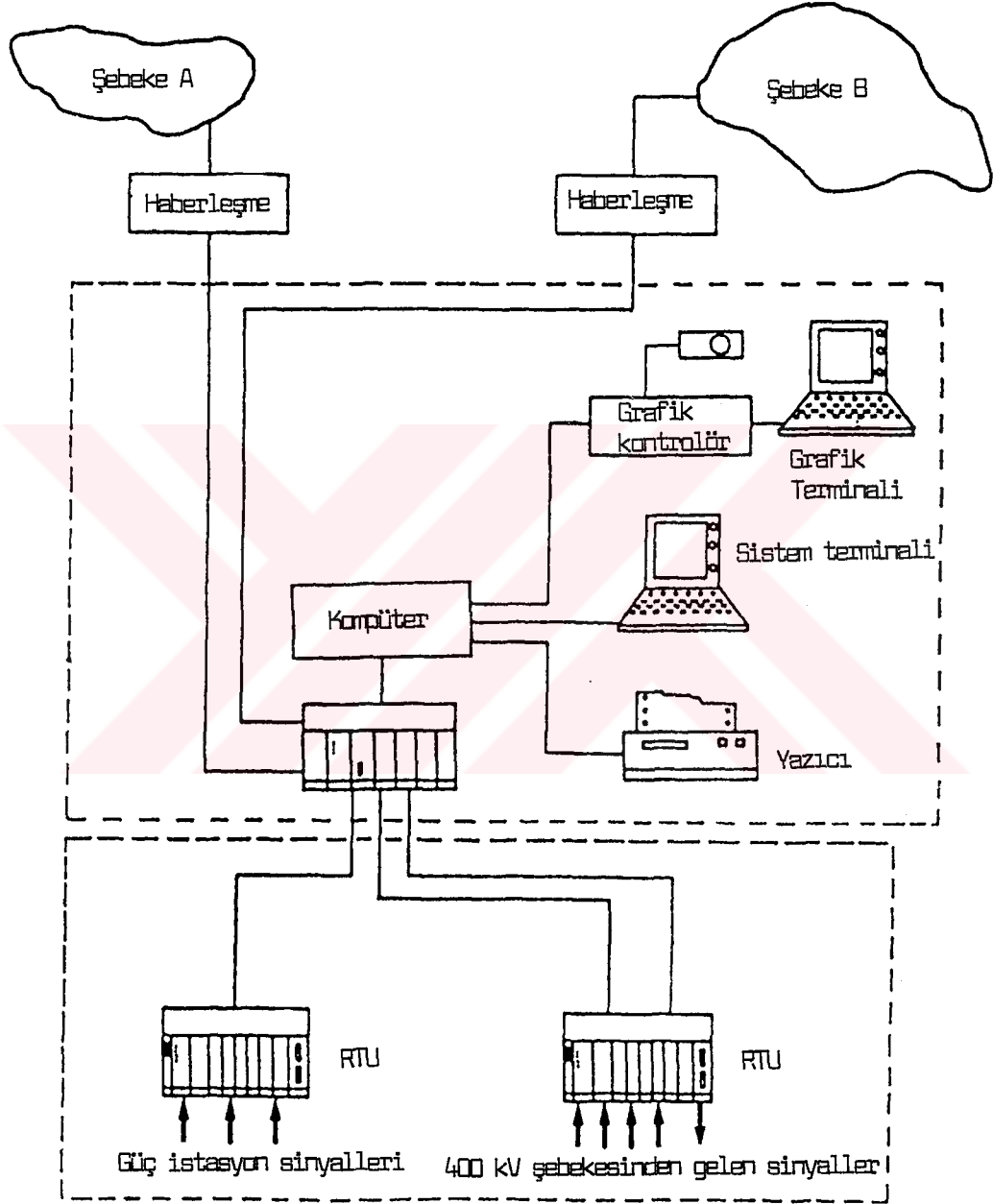
Eliop Firmasının Elektrik Sistemlerinde SCADAS Uygulamalarına İlişkin bazı örnekler:

- Vandellos II Nükleer Reaktörü Elektrik Sisteminin Kontrolü

Bu sistemin amacı Vandellos II Nükleer Güç Reaktörünün elektrik sistemini ve reaktörün yüksek gerilim şebekesine bağlanan 400 kV 'luk bağlantısını kontrol etmektir. Kontrol elektriksel değerlerin, alarm sinyallerinin ve anahtarlama elemanlarının durumlarının tesbiti ile yapılmaktadır. Ayrıca reaktörün kontrol odasından 400 kV bağlantısı da kontrol edilebilmektedir.

Sistemin ana Ünitesi kontrol odasında kurulmuş bir Microvax'dır. Bu cihaz alarmları ve raporları not eden bir printer, iki adet grafik ekranı ile donanmıştır. Ekranlarda çok pencereli izleme sistemi ile değişik genişletmeler yapmak mümkündür.

Sistemin haberleşme yapısı SSC-3000 Eliop sistemine dayalıdır. Buna bağlı çalışan iki adet Elitel 3000 tipi Eliop uzak terminal Ünitesi mevcuttur. Bunlardan biri Elektrik enerji sistemine, diğeri 400 kV'luk yüksek gerilim şebekesine bağlı olarak çalışır. (Şekil10)



Şekil 10. Vandellós II Nükleer Reaktörü
Elektrik Sistemi Kontrol Şeması

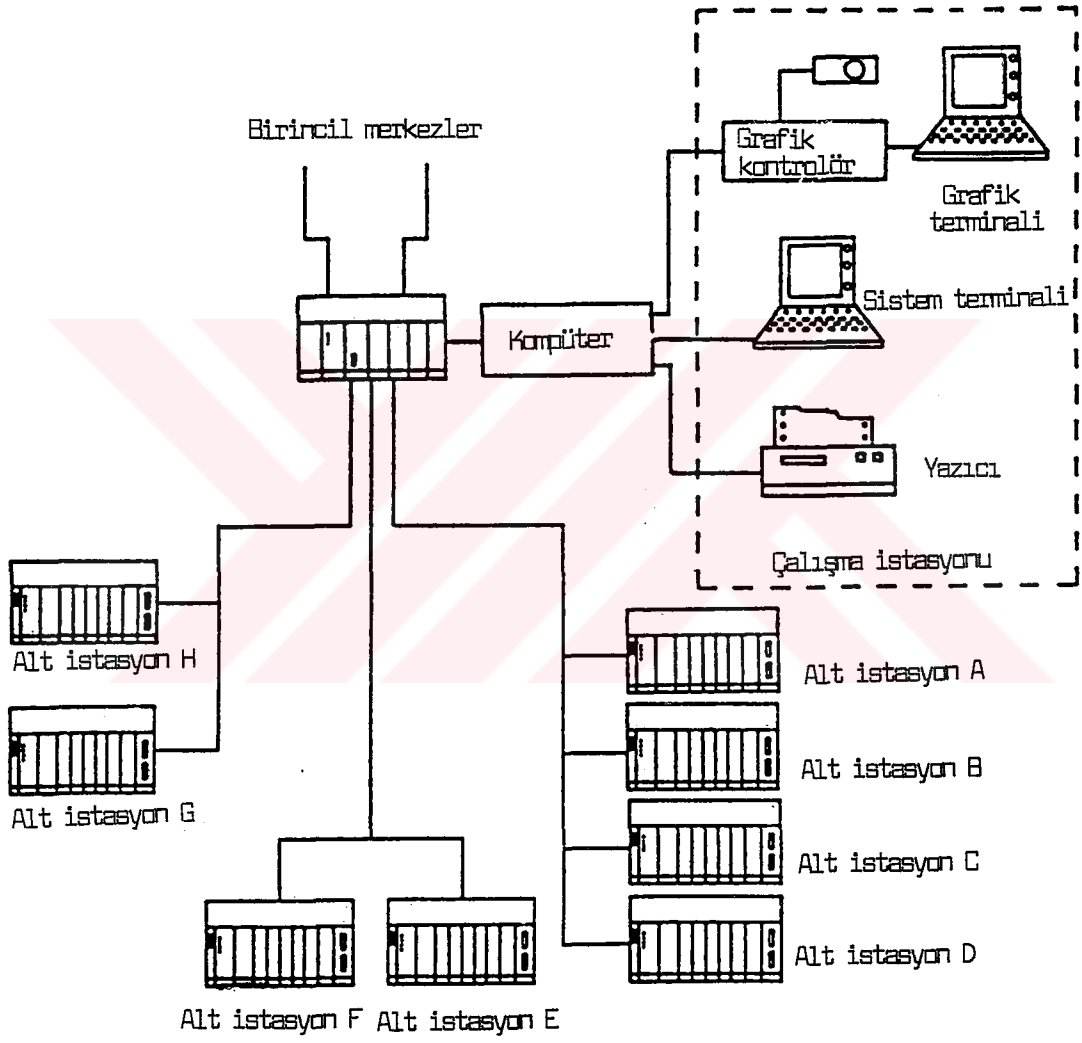
- Repsol Rafinerisi Elektrik Sisteminin Telekontrolu ve Ölçümü

Bu elektrik sisteminin telekontrolunu sağlanmasının nedenleri güvenliği arttırmak ve operasyon merkezlerinin sayısını azaltmaktır.

Sistemin dizaynı her uca uzak terminal Ünitelerinin yerleştirildiği bir dağıtık şebeke şeklindedir.

Merkez ile uzak terminal Ünitelerinin arasındaki haberleşme şebekenin bir düğümünde gerçekleşir. Bu düğümde SSC-3000 ana merkez Ünitesi, yani iletişim istasyonu bulunmaktadır. Sistemde sekiz adet, uzak terminal Ünitesi ile donanmış alt istasyonlar da bulunmaktadır.

Merkez istasyonda 9 Mb bir RAM Ünitesi bulunan 32 bitlik bir bilgisayar bulunmaktadır. Bu bilgisayarın 160 Mb'lık Winchester bir disketi, iki printeri ve iki Tam Grafik ekranı bulunmaktadır. (Şekil 11)



Şekil 11. Repsol rafinerisi Elektrik Sistemi Kontrol Şeması

- Elektrik Dağıtım İstasyonlarının Uzaktan Kontrolu

Güç sistemlerinin kontrolu, dağıtım istasyonlarının kontrolu ile mümkündür. Bu istasyonlar iletim birimlerine göre önemsiz olarak düşünülebilirler de tüketici kaynağı durumunda oldukları için önemlidirler. Bu nedenle durumla ilgili bilgilerin ve alarmların oluşturulması ve böylece kaynak etkinliğinin sağlanması oldukça önemlidir.

Dağıtım istasyonları jeografik olarak çeşitli bölgelerde bulundukları için bunlarda ana merkeze bağlı, kontrolu sağlayan bir uzak terminal ünitesi bulunmalıdır. Buna ek olarak bu terminal ünitesi tüm istasyonlar arasında oluşturulan bir şebekeye bağlanmış olmalı, sistem özelliklerinden yararlanabilmelidir.

Elitel 3000 uzak terminal ünitesi ile Madrid'de Mirasierra, Rio Bullaque, Fermin Caballero ve Santiago istasyonlarında bu uygulama gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki özellikleri kullanmak mümkün olmuştur:

- Güç, gerilim şiddeti gibi ölçümler
- Devre kesicilerin, kontaktörlerin sinyalleşmesi
- İstasyonun durum alarmları
- Devre kesicilerin ve anahtarların durumu
- Olayların kronolojik dizini
- Merkez ile haberleşme [2]

4.3. BBC FİRMASININ SCADAS UYGULAMALARI

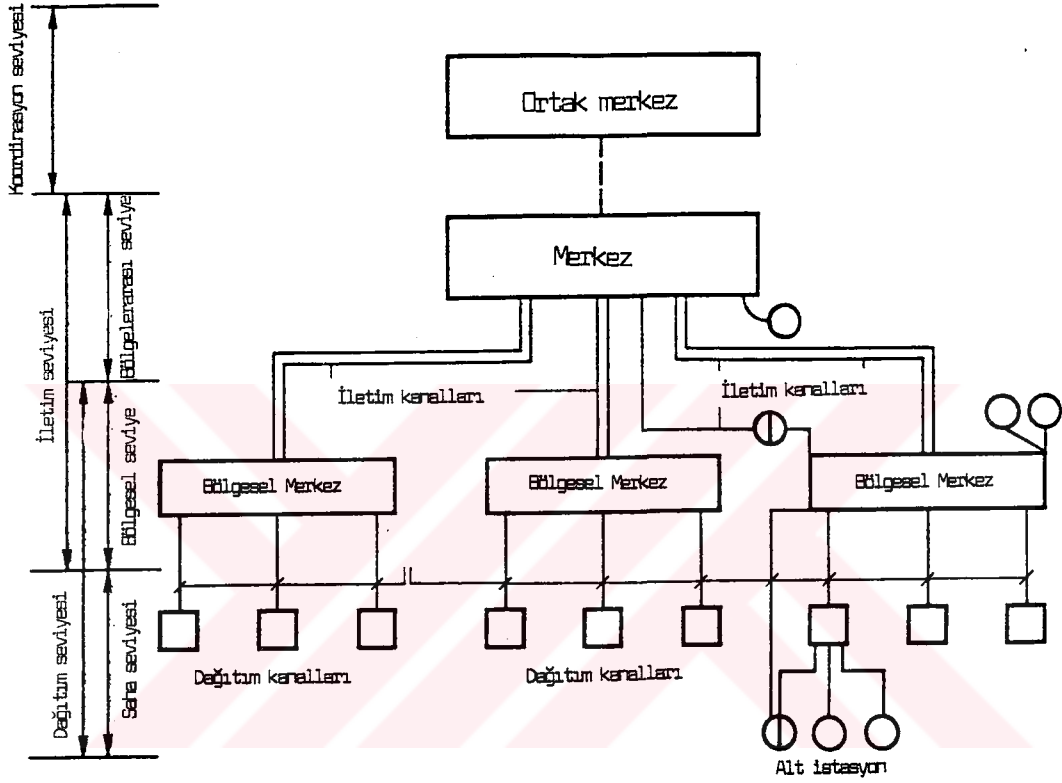
BBC firması geliştirdiği " Indactic " donanım ve " Becos " yazılım sistemleri ile enerji sistemlerinde üretim, iletim ve dağıtım gibi değişik seviyelerdeki üniteleri tek tek yada hep birlikte kontrol etme olanağına sahip olmaktadır. Elektrik enerji sistemleri değişik gerilim seviyelerine göre bir hiyerarşik sıra içerisinde düzenlenebilir. Şekil 12 bir enerji sistemi için SCADAS hiyerarşi seviyelerini göstermektedir. Bu seviyeler içerisinde en altta olanı dağıtım seviyesidir. Bu Seviyede yapılan tüketicilere en düşük gerilim seviyesinde enerji dağıtımı yapmaktır.

SCADAS sisteminin uygulanması bu seviyede yüksek gerilim - orta gerilim dönüştürücülerinin kontrolü, orta gerilim - alçak gerilim dönüştürücülerinin ve dağıtım istasyonlarının kontrolü olarak gerçekleşir.

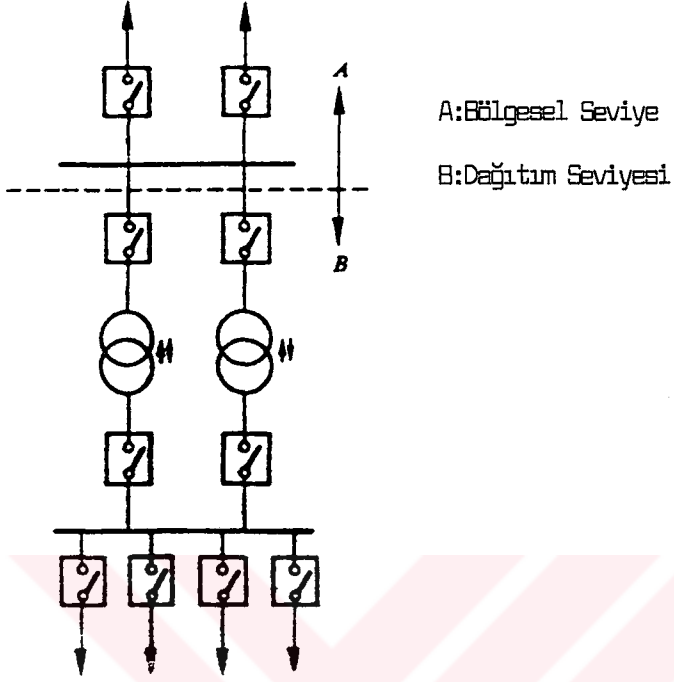
Şekil 13 bölgesel (regional) seviye ile dağıtım seviyesi arasındaki bağlantıyı göstermektedir.

Bölgesel seviyenin görevi dağıtım seviyesinin besleme noktalarına enerji sağlamaktır. Bu işlemin yapılması için yüksek gerilim - orta gerilim dönüştürme istasyonlarının gözlenmesi ve bu işlemin iki istasyon arasında kurulacak bir telekontrol ile yapılması gerekir. Şekil 14 böyle bir kontrolü göstermektedir. Bu seviye santralleri de içerebilir.

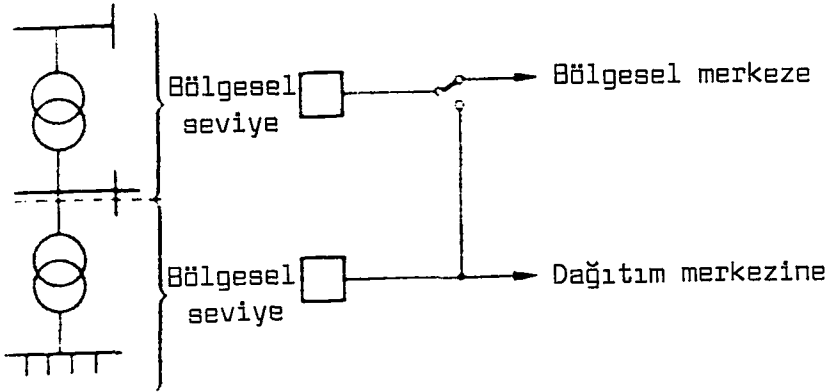
Bölgesel seviyenin kontrolü dağıtım seviye kontrolüne benzemle birlikte bu seviyede çok daha fazla bilgi akışı vardır ve kontrol edilecek enerji miktarı artmıştır. Bu da sistemlerin yedekli ünitelerle çalışmasını gerektirir.



Şekil 12. SCADAS Hiyerarşi Seviyeleri



Şekil 13. Bölgesel ve Dağıtım Seviyeleri Arası Bağlantı



Şekil 14. Yüksek Gerilim-Orta Gerilim İstasyonları Arası Bağlantı

Bölgelerarası seviye ise genellikle bir ulusal elektrik sistemi olarak düşünülür. Bu seviyede bölgesel seviyeler arası kontrol ve koordinasyon sağlanır. Genellikle bu seviyede kontrol şekli iki grupta toplanabilir;

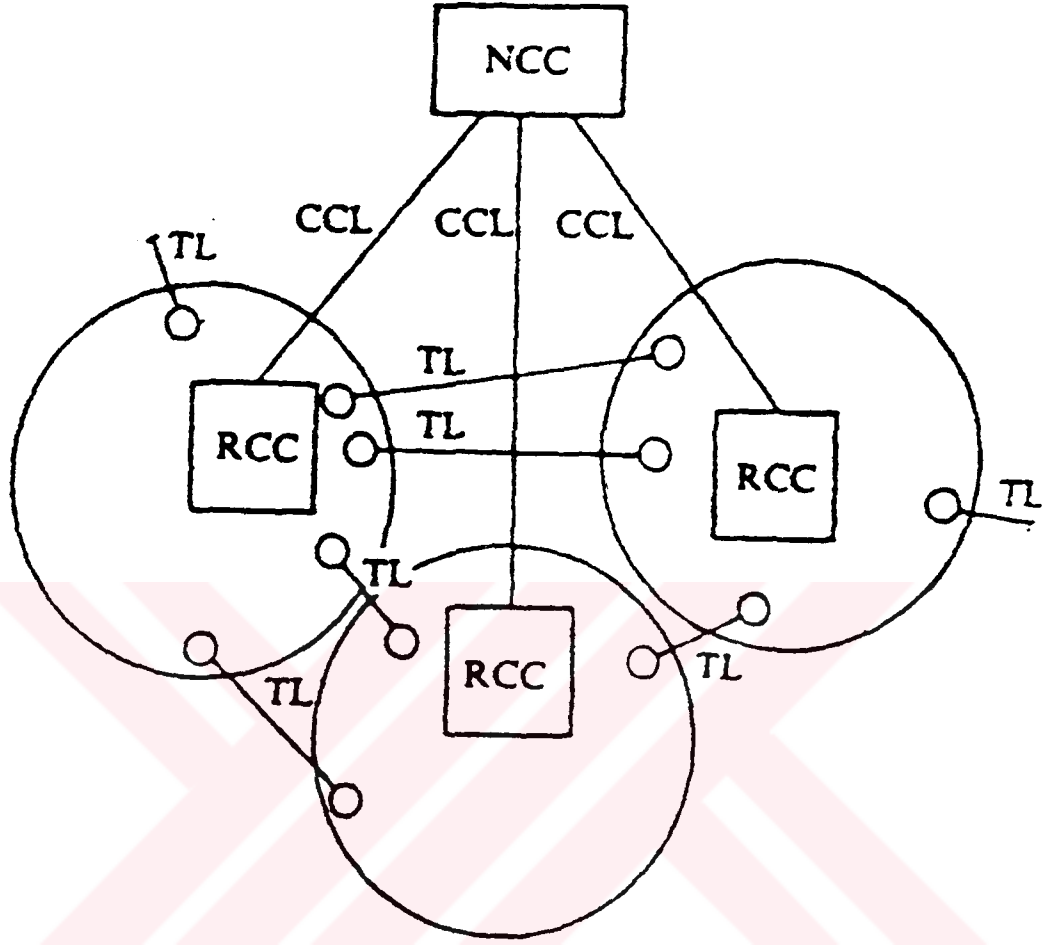
a-grubu : Güvenlik analizi ve kontrolü, şebeke planlaması ve optimizasyon çalışmaları

b-grubu : Bölgesel seviyede a grubu ile aynı türden kontrol

b grubu kontrolde yük frekansının da kontrol edilmesi mümkündür, oysa a grubu kontrolde bu ancak şebekede belirli noktalar arasındaki bilgilerin çok yüksek hızlı iletimi ile mümkün olabilmektedir.

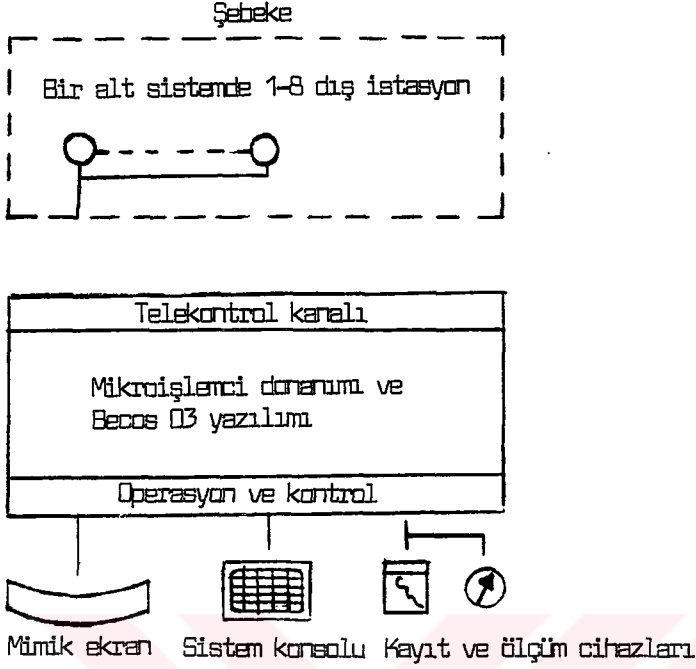
Bu nedenle yük frekansı genellikle bölgesel seviyede kontrol edilmektedir. Şekil 15 bölgesel seviyede bir yük frekans kontrol sistemini göstermektedir.

BBC firması Becos 10,20 ve30 programları özel amaçlı otomatik kontrol sistem programlarıdır. Bunlar genelde hidroelektrik santrallerin su seviye kontrolü, demiryolu kuruluşlarına güç iletimi gibi amaçlarla kullanılırlar. Becos 03, 10, 20, 30 sistemlerinin sistem kontrol merkezlerinin yapısı Şekil 16, 17, 18 ve 19'da gösterilmiştir.

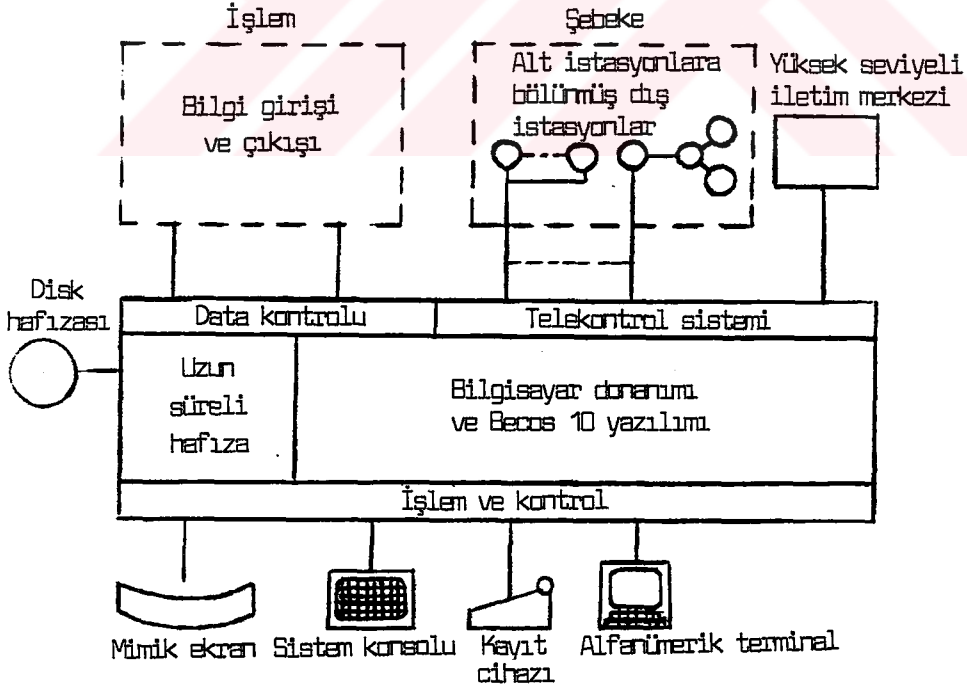


NCC:Bilgilerarası seviye merkezi
RCC:Bölgesel seviye merkezi
CCL:Kıymüter-Kıymüter iletımı
TL:Gıy iletımı hatları
O:Dış istasyonlar,trafo merkezleri

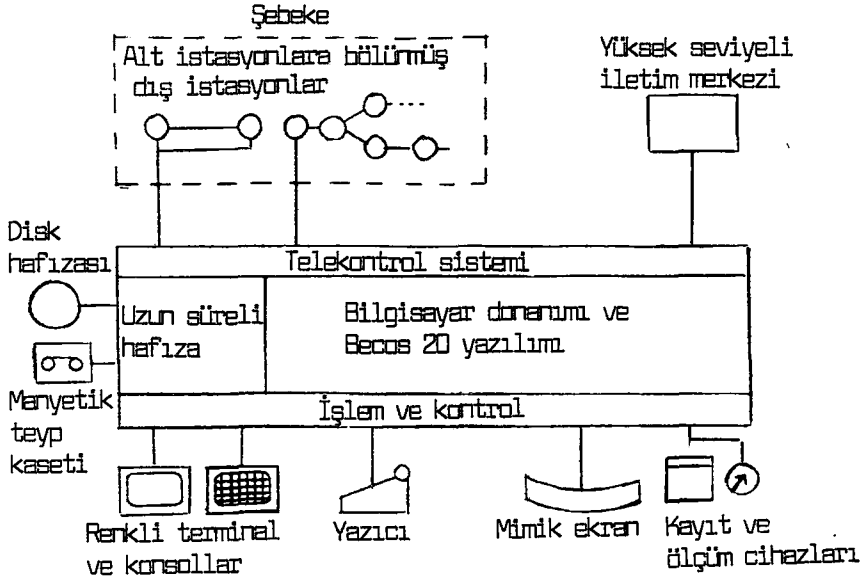
Şekil 15. Bölgesel Seviyede Bir Yık Frekans Kontrol Sistemi



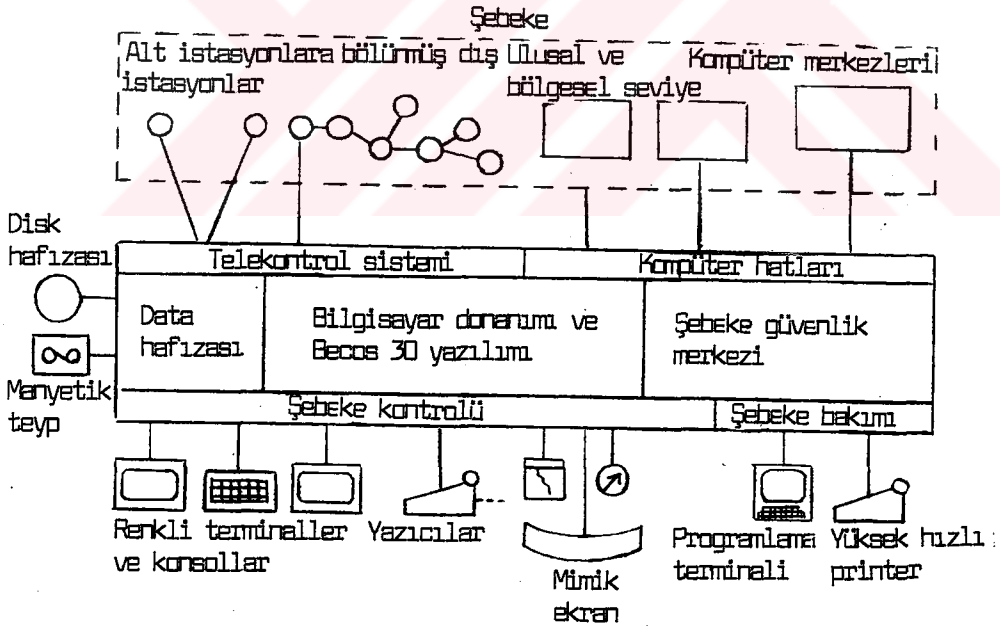
Şekil 16. BBC Becos 03 sistemi sistem kontrol merkezi



Şekil 17. BBC Becos 10 sistemi sistem kontrol merkezi



Şekil 18. BBC Becos 20 sistemi sistem kontrol merkezi



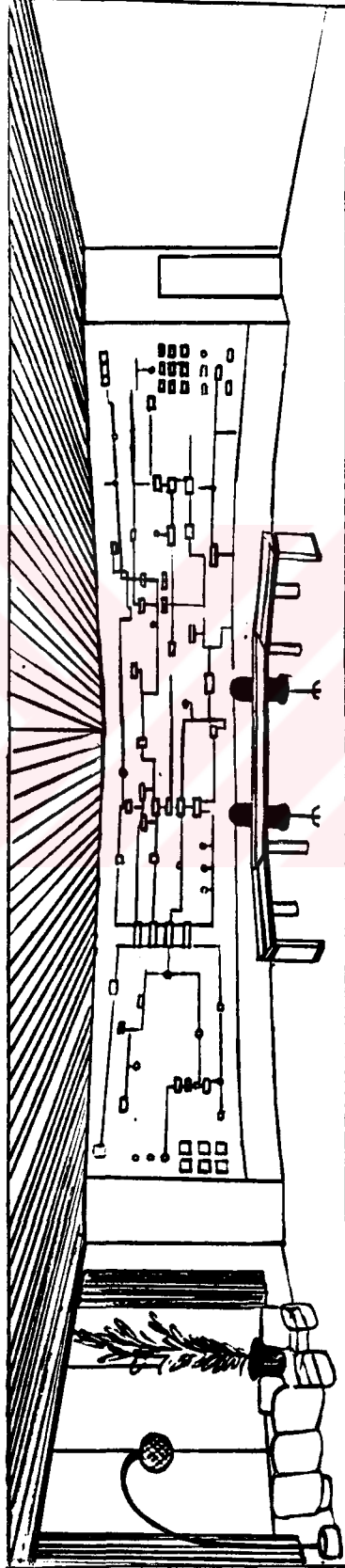
Şekil 19. BBC Becos 30 sistemi sistem kontrol merkezi

Sistem Kontrol Merkezleri:

Sistem kontrol merkezi tüm sistemin kalbi durumundadır. Burada operatörler şebekeyi kontrol etmek için gerekli bilgileri alırlar. Şekil 20 büyük bir kontrol sisteminde sistem kontrol odasının yapısını göstermektedir. Bu merkezde şu elemanlar ve sistemler bulunur:

- Kompüter sistemi
- Operasyon sistemi
- Yazılım
- Kesintisiz güç kaynağı
- Telekontrol iletim ekipmanları
- Telefon ve teleks sistemi
- Personal
- Yapı ve tesisat

Sistemler arası haberleşme ve data iletimi sinyalleşme kabloları veya radyo dalgaları ile iletilir. [10]



Şekil 20. Sistem kontrol merkezi kontrol odası

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrik enerji sistemlerinde, özellikle büyük sistemlerde otomatik kontrole geçiş zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sistemin kontrolünün zorluğundan dolayı sorunlar araştırmacıları otomatik kontrole geçiş yollarını araştırmaya zorlamıştır.

Özellikle son yıllarda ulusal elektrik şebekemizdeki genişleme, gerek kırsal alanda, gerekse şehirlerdeki ihtiyaç artışı, sanayileşme gibi nedenlerle otomatik olarak kontrol edilen bir ulusal şebeke yaratmak, bu şebekede frekans, gerilim ve güç kontrolünün sağlanabilmesi zorunludur. Bu yolla tüm ülkede köylere, hatta evlere kadar otomatik kontrolün sağlanması mümkün olacaktır.

Elektrik enerji sistemlerinde çalışma yapan firmalar daha çok küçük sistemlerin kontrolü üzerinde çalışma yapmakta, ulusal şebeke bazına çıkmamaktadır. Çünkü sistem büyüdükçe dağınıklaşmakta, şebekede empedans değerleri, anahtarların konumu gibi veriler sürekli olarak değişmektedir. Bu veri değişikliklerinin merkeze iletiminin çok kısa bir sürede olma zorunluluğu hızlı iletim yapan bilgisayarları ve hatları gerektirmektedir. Ülkemizde data iletiminin sayısallaştırılması ile tüm ulusal şebekenin en küçük birimlere kadar tek bir merkezden kontrolü mümkün olacaktır.

Türkiye Elektrik Kurumunun Milli Yük Tevzi Projesi başlangıç için yeterli bir çalışma olmakla birlikte kapsam bakımından yukarıda sözü edilen küçük birimlere kadar kontrolün sağlanması açısından geliştirilmelidir. Bunun için uzak terminal ünitelerinin sayısının arttırılması, böylece daha küçük birimlerden bilgi toplanarak sistemin geliştirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] ELİOP Otomatik Kontrol Sistemleri
Tanıtım Yayını
- [2] ELİOP Telecontrol and Management of Electrical Substations
Tanıtım Yayını
- [3] VORONOV A.A., Management and Control in Large Systems,
MIR Publishers, Moscow, 1986
- [4] T.E.K. Milli YÜk Tevzi Projesi, Fevzi Dabanlı-Genel Md.Yrd.,
TÜlay Agar-Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı
- [5] T.E.K. Şebeke İşletmeleri Daire Başkanlığı Yayını, Sistem
Araştırma ve Kontrol MÜdürlüğü, SA-77/2, Elektrik
Sistemlerinde Durum Kestirimi
- [6] TARKAN N., Enerji Sistemlerinde Optimizasyon ve Durum
Kestirimi, Yüksek Lisans Ders Notları
- [7] KAYPMAS A., Elektrik Enerji Sistemlerinin Analizinde
Bilgisayar Modelleri, Yüksek Lisans Ders
Notları
- [8] TARKAN N., Elektrik Enerji Sistemlerinin Analizi, Yüksek
Lisans Ders Notları
- [9] WEEDY B.M., Electric Power Systems, Second Edition,
John Wiley Sons, London, N.Y., Sydney, Toronto,
1975
- [10] BBC Brown Boveri Dergisi, Rev. 3-79

ÖZGEÇMİŞ

M. Olgu Dinçoğlu 1966 yılında İstanbul'da doğmuştur. Nişantaşı Anadolu Lisesini bitirdikten sonra 1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümüne girmiş ve bu bölümden 1988 yılında mezun olmuştur.

Halen İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Anabilim dalında yüksek lisans programını sürdürmektedir.