

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ EMPEDANS DEĞİŞİMLERİNİN

İLETİŞİM FREKANSLARINDA ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Etem KÖKLÜKAYA

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Şubat 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Mayıs 1990

Tez Danışmanı

: Prof.Dr. Nesrin TARKAN

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Hasan ÖNAL

Prof.Dr. Bülent SANKUR

ÖNSÖZ

Günümüzde sistem otomasyonu araştırmacıların üzerinde en çok çalıştığı konulardan birisidir. Bu çalışmada enerji dağıtım sistemi otomasyonu ile otomasyonda iletişimin dağıtım sistemi üzerinden sağlanmasının ve iletişimde etkili bir faktör olan empedans değişimlerinin bir analizi yapılmıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana yol gösteren ve değerli katkılarda bulunan, tez yöneticim, değerli hocam Prof.Dr. Nesrin TARKAN'a ve değerli görüş ve önerilerinden yararlandığım Sayın Prof. Hasan ÖNAL'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tezin hazırlanmasında, yazılmasında ve şekillenmesinde tüm emeği geçenlere katkılarından dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 1990

Y.Müh. Etem KÖKLÜKAYA

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ VE OTOMASYONU	4
2.1. Enerji Dağıtım Sistemi	4
2.2. Enerji Dağıtım Sistemi Otomasyonu	7
BÖLÜM 3. ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ OTOMASYONUNUN SAĞLANMASINDA İLETİŞİM	11
3.1. İletişim ve İletişimde Verim	11
3.2. İletişimi Olumsuz Yönde Etkileyen Faktörler	14
3.2.1. Gürültü	15
3.2.1.1. 50 Hz Güç Frekansıyla İlişkili Gürültü	15
3.2.1.2. Düz Spektrumlu Gürültü	15
3.2.1.3. Darbe Gürültü	15
3.2.1.4. Senkronize Olmayan Periyodik Gürültü	16
3.2.2. Propagasyon Düzensizlikleri	16
3.2.3. Hatların Karışması (Diyafoni)	18
3.2.4. Cihaz Güvenilirliği	19
3.2.5. Parazitler	23
3.3. İletişimin Enerji Dağıtım Hattı Üzerinden Gerçekleştirilmesi	24
BÖLÜM 4. ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİNİN İLETİŞİM FREKANSLARINDA MODELLENMESİ	27
4.1. Empedans Değişimleri Yönünden Enerji Dağıtım Sisteminin Yapısı	27
4.2. Bara Empedans Matrisi Yaklaşımı	28
4.3. Bara Empedans Matrisi Yönteminin İletişim Frekanslarına Uygulanması	31
4.4. İletişim Frekanslarında Enerji Dağıtım Hatları	34
4.4.1. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı Bara Empedanslarının Bulunması	36
4.5. İletişim Frekanslarında Dağıtım Transformatörleri	39

BÖLÜM 5. İLETİŞİM FREKANSLARINDA ENERJİ DAĞITIM	
· SİSTEMİ EMPEDANS DEĞİŞİMLERİNİN DENEYSEL	
BELİRLENMESİ	42
5.1. İletişim Frekanslarındaki İşaretin	
Hatta Verilişi	42
5.1.1. Seri Bağlaşma İle İşaretin Hatta	
Verilişi	42
5.1.2. Paralel Bağlaşma İle İşaretin Hatta	
Verilişi	43
5.2. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı	
Empedansının Ölçümü	45
5.3. Dağıtım Transformatörleri Ölçümleri	49
BÖLÜM 6. SAYISAL VE DENEYSEL UYGULAMALAR	50
6.1. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı Bara	
Empedansının Matematiksel Olarak Bulunması	
ve Ölçme Sonuçlarıyla Karşılaştırılması ..	50
6.2. Dağıtım Transformatörleri Ölçümleri ve	
Değerlendirilmesi	59
BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	70
EK-A BİLGİSAYAR PROGRAMLARI, AKIŞ ŞEMALARI VE	
SONUÇLARI	73
ÖZGEÇMİŞ	96

ÖZET

Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak yüksek verimli, ekonomik ve güvenilir bir enerji dağıtım sistemi otomasyonunun gerçekleştirilmesi için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle çalışmalar, otomasyon amaçlı iletişimin, enerji dağıtım hatları üzerinden sağlanmasına yönelmiştir. Enerji dağıtım hatları üzerinden iletişimde empedans değişimlerinin etkisinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada 5-20 kHz arası iletişim frekanslarında dağıtım sistemi empedans değişimleri matematiksel ve deneysel olarak incelenmiştir.

Dağıtım hattı empedans değişimlerinin matematiksel olarak hesaplanması amacıyla bir algoritma geliştirilmiş ve hattan çekilen güç değişimine bağlı olarak 5-20 kHz frekanslardaki bara admitans değerleri hesaplanmıştır. Hesapla bulunan değerler ölçme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Aynı güç değerindeki ölçme ve hesap değerlerinde oldukça yaklaşıklık olduğu görülmüştür.

Dağıtım transformatörleri empedans değişimlerinin iletişim frekanslarında incelenebilmesi için iki kapılı bir model verilmiştir. Modelde tanımlanan primer, sekonder ve primerden sekondere veya sekonderden primere geçiş admitans parametrelerinin 5-20 kHz frekanslardaki değişimleri elde edilmiştir. Gerek dağıtım hatlarının, gerekse dağıtım transformatörlerinin 5-20 kHz frekanslardaki davranışlarının analizi ile deneysel sonuçların yorumu yapılmıştır.

SUMMARY

ANALYSIS OF IMPEDANCE VARIATIONS FOR COMMUNICATION
FREQUENCIES ON POWER DISTRIBUTION LINES

In this study, we have investigated both analytically and experimentally the possibility of communication over power distribution lines in order for realizing automation of energy distribution systems and distribution systems impedance changes affecting communication negatively.

In general an energy distribution system consists of a central station, substations, distribution lines and loads. The central station is equipped with connectors and measurement, control and protection devices. It has been suggested that system automation could be realized by managing processes such as automatic supplying over distribution lines, load controlling and observing and remote meter reading. It is obvious that communication has a basic role in system automation. As it might readily be understood, employing power distribution lines for communication purposes will provide quicker and more economic system control and protection. In our study, it is seen that the distribution system impedance fluctuations have the major impairing effect on the communication. In addition, we saw that there has not been reached any efficiency of desirable level in the word on this topic and that there has not been formed any definite standards.

Some of many important factors impairing communication over power distribution lines are below:

- Impedance variations
- Noise
- Propagation irregularities
- Crosstalk
- Equipment reliability
- Interference

As stated before, the effect of impedance changes is prevalent and therefore this effect was mathematically analyzed in detail and experimentally examined. Other factors were presented with brief explanations.

In figure 1, a two-port model of the transmission line with distributed parameters for communication frequencies is shown. The behaviour of this two-port model was discussed by using Wedepohl steady-state solution method.

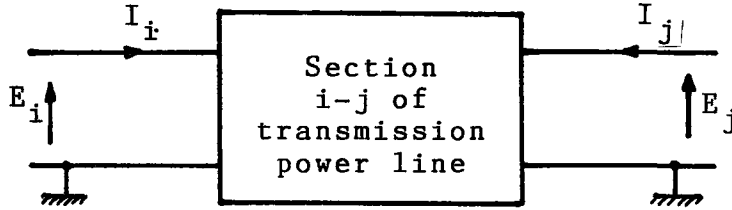


Figure 1. Two-port representation of section i-j of transmission power line communication frequencies.

$$\underline{E}_j = \underline{S} [\underline{\text{Cosh}}(\underline{\gamma}r)] \underline{S}^{-1} \underline{E}_i - \underline{Z}_o \cdot \underline{Q} [\underline{\text{Sinh}}(\underline{\gamma}r)] \underline{Q}^{-1} \underline{I}_i \quad (1)$$

$$\underline{I}_j = -\underline{Q} [\underline{\text{Sinh}}(\underline{\gamma}r)] \underline{Q}^{-1} \underline{Z}_o^{-1} \underline{E}_i + \underline{Q} [\underline{\text{Cosh}}(\underline{\gamma}r)] \underline{Q}^{-1} \underline{I}_i \quad (2)$$

where:

$\underline{Q}$ = eigenvector matrix of matrix $\underline{P}^t$
 $\underline{P}^t = \underline{Y}P * \underline{Z}P$
 $\underline{Y}P$ = per unit length transverse 3-phase admittance matrix
 $\underline{Z}P$ = per unit length longitudinal 3-phase impedance matrix
 $\underline{S}$ = eigenvectors matrix of matrix $\underline{P}$
 $\underline{P} = \underline{Z}P * \underline{Y}P$
 $\underline{Z}_o$ = 3-phase characteristic impedance matrix = $\underline{S} \cdot \underline{\gamma}^{-1} \underline{S}^{-1} \underline{Z}P$
 $\underline{I}_o$ = diagonal matrix
 $\underline{\gamma}$ = 3-phase square root of eigenvalues of matrix $\underline{P}$ or matrix $\underline{P}^t$
 r = length of segment i-j

The equations (1) and (2) are Wedepohl exact solutions giving output variables in terms of input variables.

An algorithm is developed in attempt to obtain prompt numerical results of impedance changes on computer. For the distribution model considered, nodal admittance matrices at communication frequencies are obtained. In addition, some admittance matrices corresponding to situations of different power take-up from lines were constructed. By reducing the nodal admittance matrix of the order of $(n+1) \times (n-1)$, bus admittance was obtained as below,

$$\underline{Y}_B = \underline{A} - \underline{B} \cdot \underline{D}^{-1} \cdot \underline{C}$$

where

$\underline{A}$: is the submatrix, (1×1) , having first row and first column element
 $\underline{B}$: is the submatrix, $(1 \times n)$, having first row element from the second column through the $(n+1)$ th.
 $\underline{C}$: is the submatrix, $(n \times 1)$, having first column elements from the second row through the $(n+1)$ th.
 $\underline{D}$: is the submatrix, $(n \times n)$, which comprises all the elements but first row and first column elements.

For some power levels, bus admittance curves versus communication frequencies of 5-20 kHz were plotted. We have made experimental studies on the distribution line of which the value of bus admittance had been calculated. Bus impedance values corresponding to power levels to 25 kW drawn were obtained by measurement and compared to those found by calculation. These are shown in figure 2. It is noticed that curves from experiments and calculations were similar. The differences between the curves were concluded to be the result of capacitive effects that were ignored in calculations.

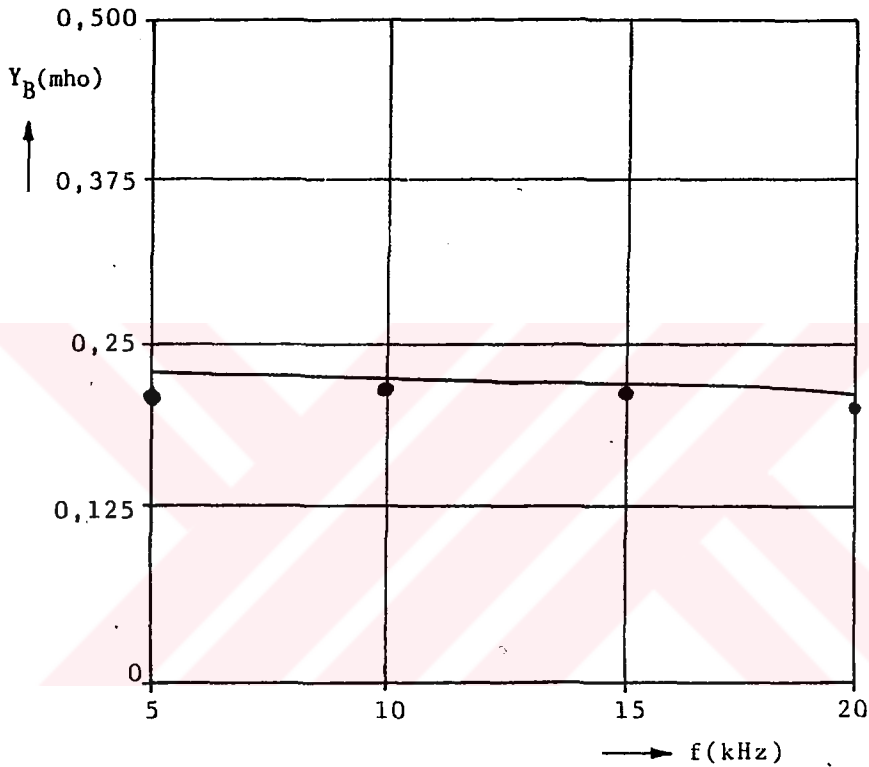


Figure 2. The variation of bus admittances with frequencies.

For experiments on distribution transformers it is considered powers of 50, 100 and 250 kVA, which are the most common ones in use. No any experimental study was encountered in the literature about distribution transformers

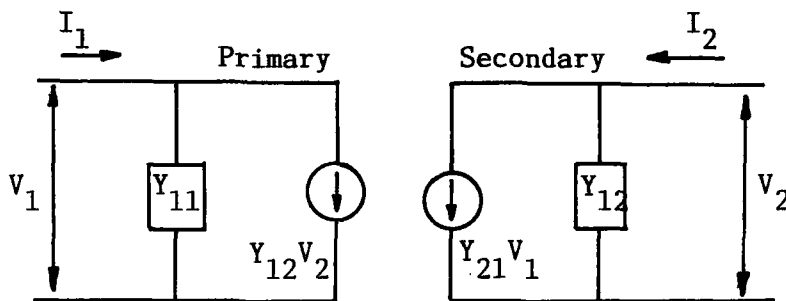


Figure 3. Two generator transformer models.

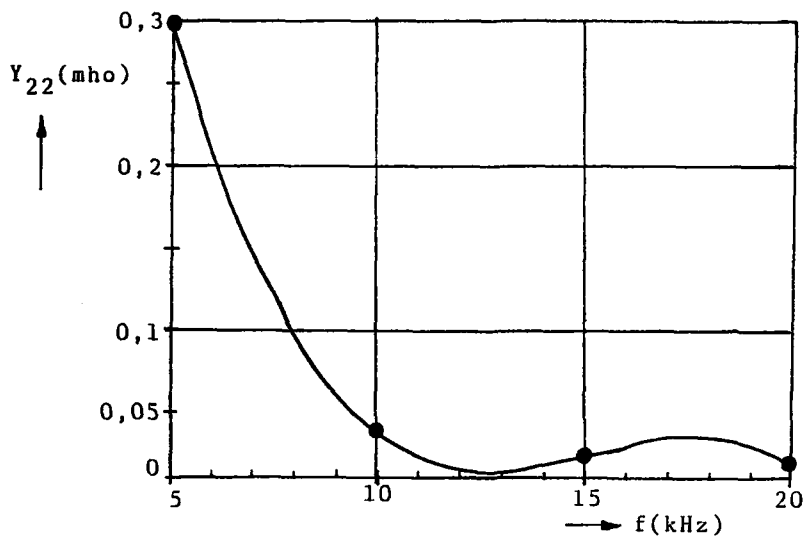
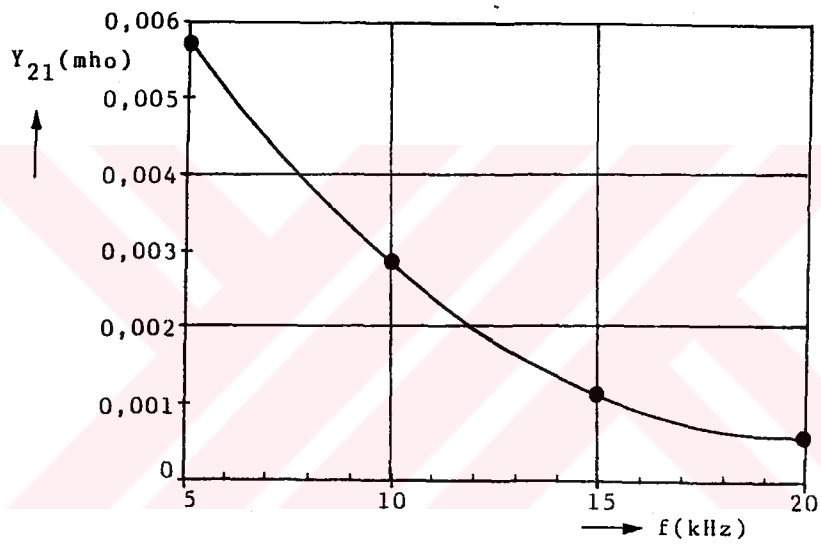
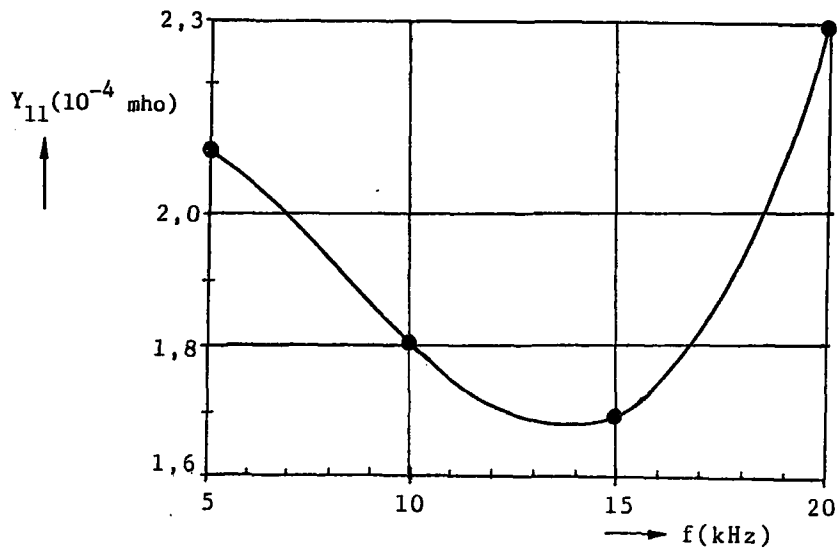


Figure 4. For 50 kVA distribution transformer, the variation of Y_{11} , Y_{21} , Y_{22} admittances with frequencies.

of this rates for studying impedance changes at communication frequencies. A simple two-part model of distribution transformers was given figure 3.

For this model, the following parameters are defined as critical communication parameters.

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &= \frac{I_1}{V_1} \text{ with } V_2=0 \text{ (short applied to secondary)} \\
 Y_{21} &= \frac{I_2}{V_1} \text{ with } V_2=0 \text{ (short applied to secondary)} \\
 Y_{22} &= \frac{I_2}{V_2} \text{ with } V_1=0 \text{ (short applied to primary)} \\
 Y_{12} &= \frac{I_1}{V_2} \text{ with } V_1=0 \text{ (short applied to primary)} \\
 (Y_{12} &= Y_{21})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

The variance of these parameters at the range of 5-20 kHz was measured for 50 kVA distribution transformer. The variation of these parameters with frequencies has been shown in figure 4. From the curves plotted after measurements it was concluded that all admittance values were inversely proportional with the frequency and that capacitive effect between turns increase with the increasing power rates of transformers due to the enlargement of conductor sections.

Finally, it has been concluded that distribution system could be employed for communicative purposes on conditions that impedance changes at high frequencies should be sufficiently estimated and data transmitters and receivers should accordingly be designed.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Genel olarak enerji dağıtım sistemi, ana istasyon (transformatör merkezi), alt istasyonlar (dağıtım merkezleri) ile bunlara bağlı dağıtım hatları ve yüklerden oluşur. Bu istasyonlarda bağlama elemanları ile, ölçü, kontrol ve koruma cihazları bulunur. Son yıllarda, enerji dağıtım sistemi üzerinde otomatik besleme, yük yönetimi ve gözetimi, uzaktan sayaç okunması ve benzeri işlemlerin gerçekleştirilerek sistem otomasyonunun sağlanması yönünde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu arada otomasyonun sağlanmasında enerji dağıtım hatlarının aynı zamanda iletimde kullanılabilmesini sağlamak için araştırmalar devam etmektedir. Bütün bu çalışmaların amacı, sistemi daha verimli, kullanışlı ve ekonomik hale getirmeye yöneliktir.

Enerji dağıtım sistemi otomasyonu ile ilgili ilk çalışmalar, 1970'li yıllarda başlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde Rockwell Firması ilk olarak otomatik sayaç okuyucularla ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla yapılan ilk çalışmalarda, sayaçtan elde edilen bilgiler, doğrudan telefon hattı kullanılarak merkeze iletilmiştir. Ancak bu yol oldukça pahalıya mal olmuştur. Bu yüzden, daha sonraları bina veya site dışına konan sayaçlarla bina içindeki abonelerin sarfettiği enerjilerin uzaktan okunması yoluna gidilmiş, buradan yine telefon hattı ile çok sayıda aboneden toplanan bilgiler merkeze iletilmiştir [1]*. Bu yol birinci yola göre oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuş, ancak buna rağmen sonraki çalışmalar, bilginin enerji dağıtım hattı üzerinden yüksek verim

*[] Parantez içinde verilen sayılar kaynak numaralarıdır.

ile iletilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Enerji dağıtım hatlarının iletişim amacıyla kullanılmasındaki amaç, daha elverişli ve ekonomik bir enerji dağıtım sistemi otomasyonunun gerçekleştirilmesidir. Henüz enerji dağıtım hatları üzerinden bilgi iletiminde istenen düzeyde yüksek verim elde edilememiştir. Ayrıca iletişimdeki verimin zamana bağlı olarak değiştiği, örneğin sabahın erken saatlerindeki iletişim verimi ile günün ortalarındaki verim arasında farklılıklar olduğu görülmektedir [2]. Bu durum enerji dağıtım hatları üzerinden bilgi iletiminde belirli bir standartın oluşmasını güçleştirmektedir.

Dağıtım hatları üzerinden bilgi iletimini engelleyici birçok faktör bulunmaktadır. Bunların başlıcaları gürültü, propagasyon düzensizlikleri, hatların karışması, cihaz güvenilirliği, parazit ve empedans değişimleridir. Bu faktörler aynı zamanda diğer radyo, televizyon, telefon v.s. gibi bilinen iletişim yöntemlerinde de olumsuzluklara neden olmaktadır. Ancak yıllardır yapılan çalışmalar ile bu olumsuzluklar en az düzeye indirilmiş ve bu iletişim yöntemlerinde ortak belirli bir standart oluşturulmuştur.

Dağıtım hatları üzerinden iletişimde, özellikle dağıtım sistemi empedans değişimlerinin olumsuz etkisi oldukça önemlidir. İletişim frekanslarında dağıtım hatlarına bağlı yüklerin değişken oluşu, dağıtım hatlarının farklı kesit ve özellikte iletken ve kablolardan oluşması, dağıtım transformatörlerinin iletişim frekanslarında değişik özellikler göstermesi dağıtım hatlarının iletişimde kullanılabilmesini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden dağıtım sisteminin matematiksel modellenmesi ve empedans değişimlerinin deneysel incelenmesi, dağıtım hatlarının iletişimde kullanılabilmesini belirlemek bakımından gerekli ve önemli olmaktadır.

Dağıtım sistemi empedans değişimlerinin analizi amacıyla Ken C. SHUEY, dağıtım transformatörleri üzerine deneysel çalışmalar yapmış ve 5-20 kHz arası frekanslarda

25 kVA gücündeki dağıtım transformatörünün davranışını incelemiştir [3]. Ayrıca Roger M. VINES, H. Joel TRUSSELL, Ken C. SHUEY ve J.B. O'NEAL, 15 kVA, 25 kVA ve 37,5 kVA güçlerindeki dağıtım transformatörlerinin yüklü ve yüksüz durumlarında sekonder empedanslarının ölçümleri üzerine çalışmıştır [4]. Henüz literatürde 50 kVA ve daha büyük güçteki dağıtım transformatörleriyle ilgili iletişim frekanslarında deneysel çalışmalara rastlanmamaktadır.

Dağıtım hatlarının empedans değişimlerinin incelenmesi ile ilgili oldukça farklı ve değişik deneysel çalışmalar vardır. Farklı yük durumlarına göre tüketici empedans değişimleri ile ilgili ölçümler Roger M. VINES, H. Joel TRUSSELL, Ken C. SHUEY ve J.B. O'NEAL [4] ve F.K. AMOURA, J.B. O'NEAL [5] tarafından yapılmıştır. Ayrıca A.G. BURR ve R.F. BURBIDGE farklı zamanlardaki değişik yük durumları için dağıtım hattı üzerinde 0-180 kHz frekans aralığındaki propagasyonu inceleyerek bilgisayar modelleme üzerine çalışmışlardır [6]. Enerji dağıtım sistemindeki belirsizliklerin oldukça fazla oluşu yapılan deneysel çalışmalar ve araştırmalar arasında bir ilişki kurmayı güçleştirmektedir.

Bu çalışmada enerji dağıtım hatları matematiksel olarak 50 Hz güç frekansı için bara empedans matris yöntemi ile incelenmektedir. Bu yöntemin yeni bir uyarlaması ile de iletişim frekanslarında enerji dağıtım sisteminin matematiksel modeli oluşturularak analiz yoluna gidilmiştir. Bugün için en çok kullanılan dağıtım transformatörleri 50 kVA ve daha büyük güçlerdedir. Bu yüzden dağıtım transformatörleriyle ilgili deneysel çalışmalarda 50 kVA, 100 kVA ve 250 kVA güçlerindeki transformatörler kullanılmıştır.

Mevcut enerji dağıtım sisteminin iletişim frekanslarındaki empedans değişimlerinin matematik model yardımıyla elde edilmesi ve matematiksel sonuçların deneysel sonuçlarla uyuşması ile enerji dağıtım sisteminin bilgi iletimi amacıyla kullanılması sağlanabilecektir.

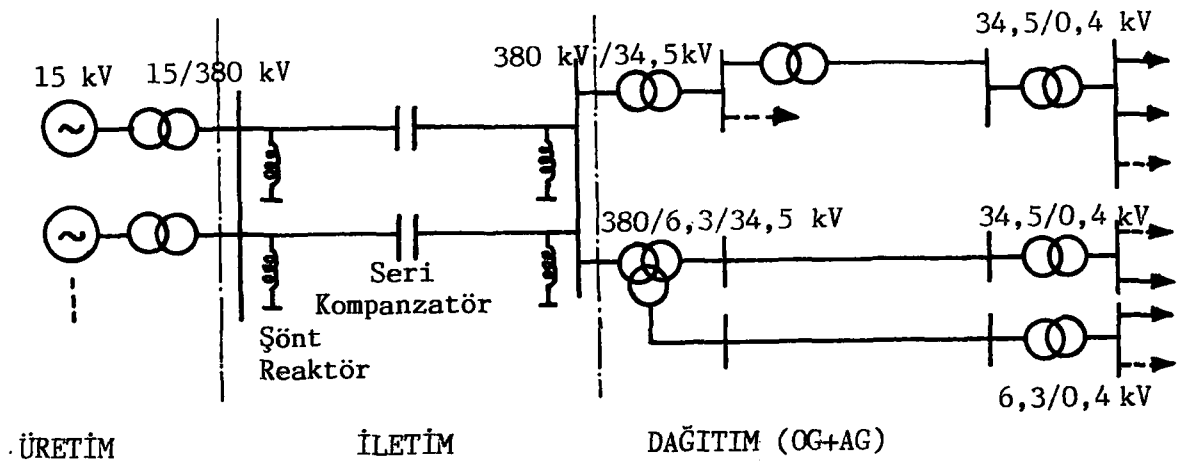
BÖLÜM 2

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ VE OTOMASYONU

2.1. Enerji Dağıtım Sistemi

Ülkelerin yaşam standartlarının yükselmesine paralel olarak gelişen endüstriyel teknolojilerin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı, her geçen gün artmaktadır. Yeni enerji kaynakları bulmak, enerjileri birbirine dönüştürmek, verimliliği ve güvenilirliği arttırmak, bu arada da çevreyi gerek kirletmemek, gerekse doğal yapısını bozmaya çalışmak bütün dünyanın uğraştığı bir problemdir. Bunun için en çok kullanılan ve en elverişli enerji türü elektrik enerjisidir.

Bir elektrik enerji sistemi üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur [7]. Şekil 2.1'de basit bir elektrik enerji sistemi örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrik enerji sistemi.

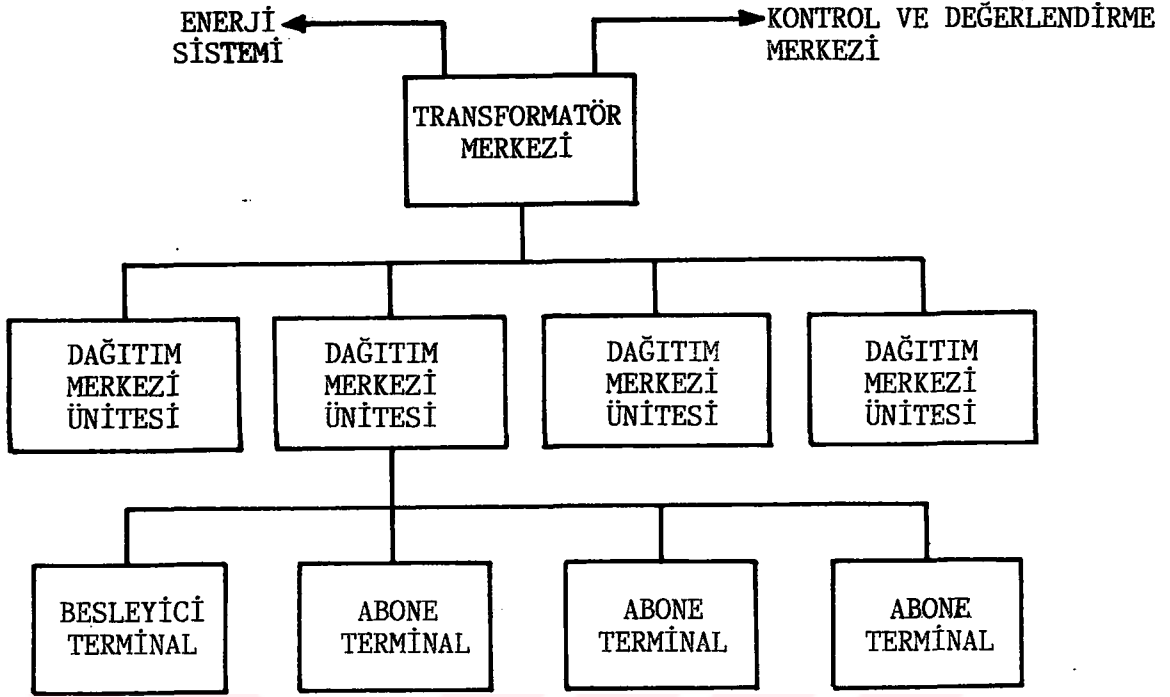
Üretim tesisleri; hidrolik, termik ve nükleer santraller gibi bilinen klasik santrallerden oluşur. Ayrıca bunların dışında magnetohidrodinamik, güneş enerjisi, gelgit enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yeni kaynaklarda yer almaya başlamıştır. Üretim tesislerinde 11-25 kV gerilimle üretilen elektrik enerjisi transformatörler aracılığı ile 154-380 kV ve daha yüksek iletim gerilimlerine dönüştürülerek tüketim merkezlerine iletilir.

Üretilen enerjiyi dağıtım tesislerine taşıyan veya diğer üretim tesislerine bağlayan iletim hatları ile, seri ve şönt kompanzasyon tesisleri, iletim tesislerini oluştururlar.

Dağıtım tesisleri ise, bir tüketim bölgesine iletilen elektrik enerjisini, tüketicilere kadar ulaştırmak için yapılan tesislerdir. Tüketim bölgesi şehir, kasaba, köy, sanayi tesisi ya da fabrika olabilir. Dağıtım sistemi genellikle bir veya iki gerilim kademeli orta gerilim şebekesi, transformatör merkezleri, alçak gerilim şebekeleri ile yük ve besleme bağlama elemanları, ölçü, kontrol ve koruma cihazlarından oluşurlar.

Alçak gerilimli üç faz dağıtım hatları, üç fazın iletkenleri, bir genel aydınlatma ve bir de nötr iletkeni olmak üzere beş iletken oluşur.

Şekil 2.2'de enerji dağıtım sisteminin şematik yapısı verilmiştir. Gerilimin yükseltilmesi veya alçaltılması, gelen ve giden hatların baralar üzerinden birbirlerine ve transformatörlere bağlanması ve ayrılması, transformatörlerin ve hatların kontrol, kumanda ve korunması görevlerini yapmak üzere kurulan tesis, transformatör merkezidir. Eğer merkezde, transformatör olmayıp, sadece gelen ve giden hatların baralar üzerinden birbirlerine bağlanması ve ayrılması, hatların kumanda, kontrol ve korunması yapılıyorsa bu dağıtım merkezi bir alt istasyon ünitesidir.



Şekil 2.2. Enerji dağıtım sisteminin şematik yapısı.

Transformatör ve dağıtım merkezlerinde başlıca; transformatörler, bağlama cihazları, akım ve gerilim ölçü transformatörleri ve çoğunlukla sekonder devreye konan kumanda, kontrol, ölçme ve koruma cihazları bulunur [8]. Ayrıca bu merkezlerde bağlama cihazları olarak ayırıcılar, sigortalı ayırıcılar, yük ayırıcıları ve kesiciler kullanılır.

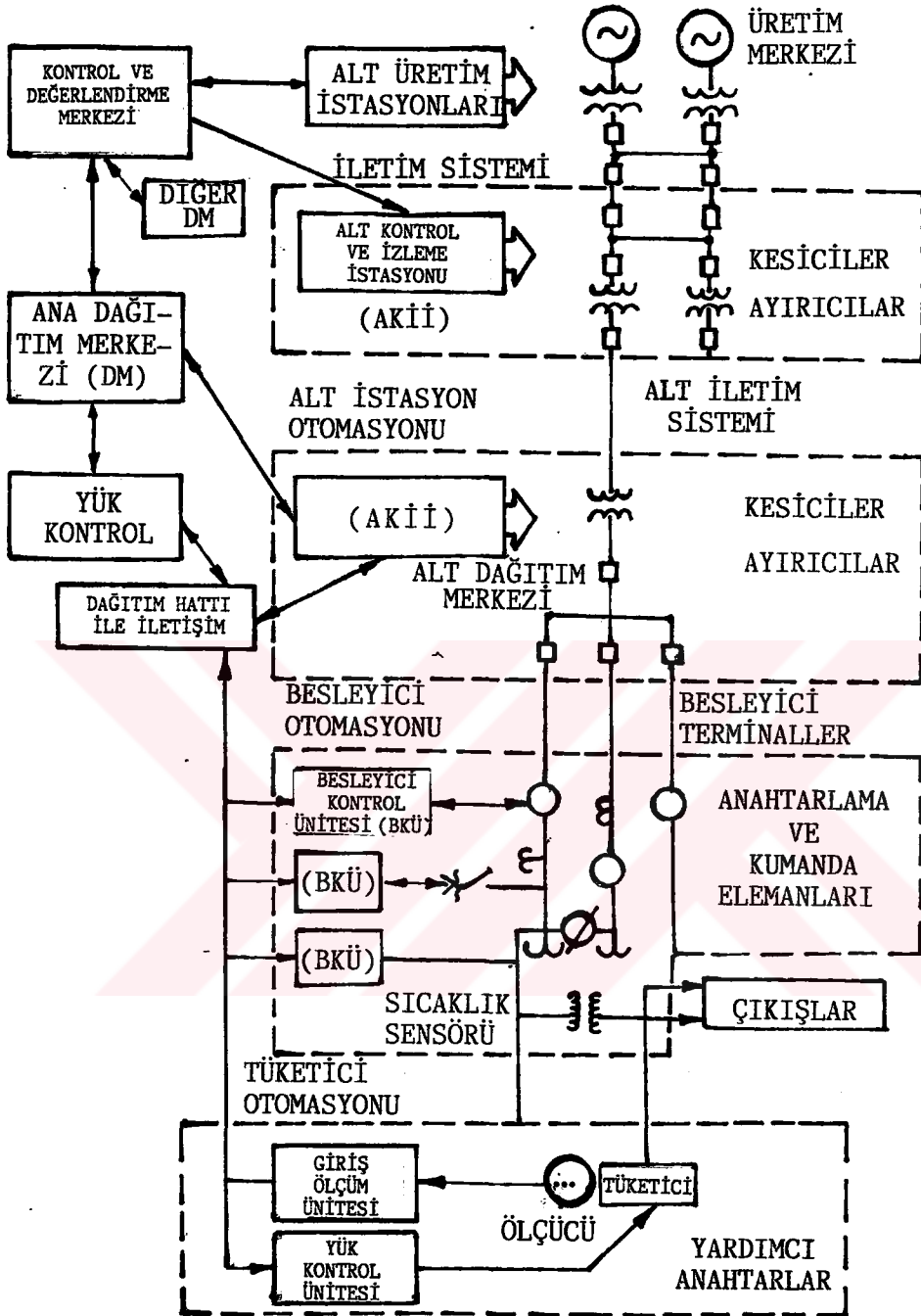
Enerji dağıtım sistemlerinde yükler; direnç, endüktans veya kapasitans özelliklerini taşıyabilirler [9]. Uygulamalarda dağıtım sistemlerine ait hatlarda daha çok endüktif yüklerle karşılaşilmektedir. Tek fazlı sistemlerde akkor flamanlı lambalar, ark lambaları ve kısa hatlar direnç özelliği gösteren yükler olarak kabul edilir. Bunun dışındaki yükler yani floresan, civa buharlı ve sodyum buharlı lambalar ile bütün motorlar bir endüktif yük durumundadırlar.

Alçak gerilimli hatlarda hattın kapasitesi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Yüksek gerilimlerde hatların

kapasitelerini de ayrıca değerlendirmek gerekir. Eğer dağıtım hatları yalnız yeraltı kablolarından yapılmışsa, hattın direncinin yanında kapasitif ve endüktif reaktansları da hesaplanmalıdır.

2.2. Enerji Dağıtım Sistemi Otomasyonu

Enerji dağıtım sistemi otomasyonunu geręekleřtirmek amacıyla bilgi iletiminin, enerji dağıtım hatları üzerinden sağlanmasıyla ilgili yapılan çalışmalar oldukça büyük gelişmeler kaydetmiştir. Bugün bazı ülkelerde, otomasyon amaçlı dağıtım merkezleri arasındaki iletişim, dağıtım hatları üzerinden geręekleřtirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Dağıtım merkezleri ile tüketiciler arasındaki iletişimin dağıtım hatları üzerinden sağlanması yönündeki çalışmalara ise devam edilmektedir. Dağıtım merkezleri ile tüketiciler arasındaki iletişimin yüksek verimde, hızlı ve ekonomik olarak geręekleřtirilmesi durumunda, uzaktan sayaç okunması, yk yönetimi ve gözetimi, otomatik besleme gibi birçok fonksiyon işlenerek sistem otomasyonu sağlanabilecektir. şekil 2.3'de bir enerji sisteminin yapısı ve kontrol hiyerarşisi şematik olarak gösterilmiştir [10]. Dağıtım sistemi otomasyonunda kontrol hiyerarşisinin oldukça önemli yeri vardır. şekilde görüldüğü gibi sistemin kontrolu ile ilgili bütün bilgiler kontrol ve değerlendirme merkezinde toplanmaktadır. Kontrol ve değerlendirme merkezindeki bilgi işlem ünitesinde, sistem otomasyonu için gerekli işlemler ile tüketicilerle ilgili faturaların hesabı gibi işlemler yapılır. Dağıtım merkezleri ile kontrol ve değerlendirme merkezi arasındaki iletişim, telefon hattı veya mikrodalga tekniği ile geręekleřtirilebilir. Dağıtım merkezlerinde bulunan bilgisayarlar, kontrol için değerlendirme merkezinden aldıkları bilgileri besleme ve abone terminallerine, besleme ve abone terminallerinden aldıkları bilgileri değerlendirme merkezine aktarırlar. Ayrıca dağıtım merkezlerindeki bilgisayarların bağımsız olarak bazı fonksiyonları geręekleřtirme özelliği vardır. Dağıtım merkezleri



Şekil 2.3. Enerji sistemi yapısı ve kontrol hiyerarşisi.

ile tüketiciler arasındaki iletişimin dağıtım hattı üzerinden gerçekleşmesi ile enerjinin daha elverişli ve verimli kullanımı sağlanacaktır. Ayrıca kontrolün daha da yaygınlaştırılması ile üretim merkezinin, bağlama cihazlarının, dağıtım merkezlerindeki ölçü, kontrol ve koruma cihazlarının ve tüketicilerin kontrolü ile, enerji üretimi, iletimi ve dağıtımını otomasyonu yani kısaca sistem otomasyonu gerçekleştirmiş olacaktır.

Enerji dağıtım sistemi otomasyonunun gerçekleştirilmesi ve yüksek verimli çalışmasının bağlı olduğu bazı önemli faktörler şunlardır [2]:

- Bilgisayarın bellek kapasitesi (Büyüklüğü ve hızı),
- Bilgisayar programının gelişmiş olup olmadığı (Software karmaşıklığı),
- Enerji dağıtım hattı üzerinden iletişimin doğruluğu, hızı ve verimi,
- Ana ve yardımcı bilgisayarlar arası bilgi işleme ilişkisi.

Bu faktörler içerisinde en önemlisi, dağıtım hattı üzerinden iletişimin doğruluğu, hızı ve verimidir. Dağıtım hatları üzerinden iletişimde istenen verimin elde edilebilmesi ve sistem otomasyonunun sağlanabilmesi için öncelikle gerçekleştirilmesi istenen fonksiyonlardan bazıları şunlardır [11]:

- Dağıtım merkezi yük yönetimi ve gözetleme,
- Uzaktan sayaç okunması, abone kesme ve bağlama, faturalama,
- Yük denetimi ve dağıtımını,
- Bölgesel otomatik besleme, koruma, otomatik kesme,
- Transformatör gözetleme, volt/VAR kontrolü v.s.,
- Bilgi toplama ve sistem planlama.

Bu faktörler birbirinden bağımsız değildir. Faktörler arasındaki bağımlılık nedeniyle de sistem veriminin

belirlenmesinde bazı yöntemler geliştirmeye gerek vardır. Bu yöntemlerin geliştirilmesinde şu özellikler gözönünde bulundurulur [12]:

- Hangi fonksiyonların veriminin belirleneceğini saptamak,
- İşlem yapılacak fonksiyonlar için ne kadar zaman aralığına izin verildiğini belirlemek,
- Bu zaman aralığı içerisinde işlem yapılan fonksiyonlar için maksimum verimin ne olacağını saptamak.

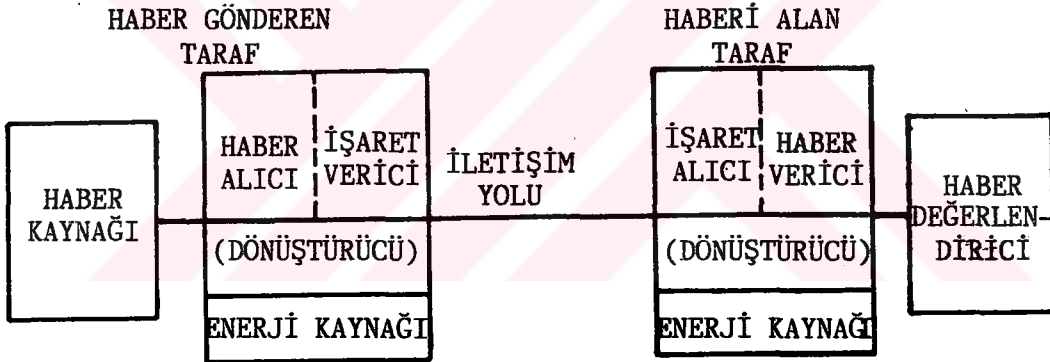
Her sistem için farklı çözüm yolları ile istenen verimi elde etmek mümkündür. Önemli olan elde edilen son değer ne olduğudur. Örneğin birbirinden farklı iki sistemden birinde farklı frekans bölgelerinde aynı anda yüksek hızlı iletişim, diğerinde ise aynı frekans bölgesinde farklı zamanlarda daha düşük hızlı iletişim tercih edilerek istenen verime ulaşılabılır. Ayrıca sistem otomasyonunun sağlanmasında ve verimin belirlenmesinde kuruluş ve işletim maliyetinin etkisinin de gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

BÖLÜM 3

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ OTOMASYONUNUN SAĞLANMASINDA İLETİŞİM

3.1. İletişim ve İletişimde Verim

İletişim, bir işaretin veya çeşitli özellikteki bir haberin bir yerden başka bir yere gönderilmesi olarak tanımlanabilir. Bir haberin bir yerden diğer yere gönderilmesi için kullanılacak sistem, haberin çeşidine göre değişmekle beraber, prensip olarak Şekil 3.1'deki blok şema ile gösterilebilir.



Şekil 3.1. İletişim sistemi.

Haber kaynağı telefon tekniğinde aboneler, radyoda konuşmacılar ve müzik aletleri, televizyonda insanlar, eşyalar, resim v.s. dir. Elektriksel olmayan haberler elektriksel akım ve gerilim haline yani işarete dönüştürüldükten sonra iletim yolu üzerinden gönderilebilirler. Alıcı tarafta alınan işaret tekrar dönüştürücüden geçirilerek haber şekline dönüştürülür ve değerlendiriciye verilir. İyi bir iletişim sisteminden beklenen koşullardan bazıları şunlardır [13]:

- İletilecek işaretin frekans band genişliğinin yeterli olması,
- İletişim yolu tarafından, işaretlerin bozulmaması,
- İletişim kaybının veya zayıflamanın az olması,
- Habere ait işaret ile bozucu işaret oranının yeterli olması,
- Çok kanallı haber naklinde kanalların birbirini bozmaması.

Enerji dağıtım sistemi otomasyonu amacıyla, dağıtım hatlarının iletişim yolu olarak kullanılması durumunda, iletişim kaybı, yolun ve tüketicilerin özelliğinden dolayı, büyük olmaktadır. Bu nedenle de, özellikle sayısal bilgi iletimiyle ilgili verimin belirlenmesi gerekmektedir. Dağıtım hatları üzerinden iletişimde hatlar üzerinden gönderilen işaretler genellikle kodlanmış sayısal bilgi niteliğindedir. Sayısal bilgi iletimiyle ilgili verim aşağıdaki kavramlarla karakterize edilebilir. Bu kavramlar genellikle diğer bilgi iletim sistemlerinin verimini belirlemede de kullanılır [2].

- Bilgi bitlerinin transfer oranı (TRIB)

Bilgi bitlerinin transfer oranı ile ilgili Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü [2] tarafından

$$TRIB = \frac{N_1}{T_1} \quad (3.1)$$

formülü önerilmektedir. Burada

N_1 : Alıcının kabul ettiği bit sayısı

T_1 : Kabul edilen bu bitleri almak için gerekli ortalama zaman

TRIB kısaca saniyede ne kadar bilginin alındığını göstermektedir. İki mesaj arasındaki boşluk için gereken zaman da T_1 'e dahildir.

- Kalıcı hata oranı (RER)

Alıcıya gönderilen bilgi içindeki bit veya karakter hatasının olasılığıdır ve

$$RER = \frac{\text{Alıcı kaynağa gönderilen hatalı bitlerin sayısı}}{\text{Alıcı kaynağa gönderilen bitlerin toplam sayısı}}$$

şeklinde tanımlanır.

- Cevap süresi

Bu ortalama bir zaman olup, mesajın alınışından verilişine kadar geçen zamanı kapsar. Cevap süresi, bilgi bitlerinin kaynaktan çıkışından başlayarak alıcıya ulaşarak değerlendirilmesinden sonra tekrar kaynağa gelinceye kadar geçen zaman aralığıdır ve propagasyon süresini de içine alır.

- Güvenilirlik

Bir cihazın belli bir zaman aralığı boyunca arıza yapmadan çalışma olasılığıdır. Genellikle güvenilirliğin ölçümünde sistemin arızasız çalıştığı ortalama zaman kullanılır (MTBF).

- Kullanılabilirlik

İletim yolunun bilgi iletişimini gerçekleştirebilmesi için kullanabileceği zaman bölümüdür. Kullanılabilirliğin ölçütü

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad A < 1 \quad (3.2)$$

formülü ile verilmiştir. Burada,

MTTR: Onarım için geçen ortalama zamanı

MTBF: Yukarıda verildiği gibi sistemin arızasız çalıştığı ortalama zamanı

göstermektedir.

- Yanlış Alarm Olasılığı

Gönderilen mesajların alıcılara yanlış ulaşması olasıdır. Bunun birçok sebebi olabilir. Yanlış alarmin oluşmasına yol açan nedenlerden biri gürültüdür. Gönderilin mesaj gürültü nedeniyle yanlış adrese de gidebilir.

- İstenilen Zamanda Cevabın Geri Gelmemesi Olasılığı

Buna mesajın kaybolması olasılığı da denir. Gönderilen mesaj gerekli cevap süresi içinde alıcı tarafından kabul edilmemiş olabilir. Gönderici mesajın alınmadığını biliyorsa kaybolan mesajı alıcıya tekrar gönderir.

- İlk Denemede Başarı Yüzdesi

Bu oran, ilk girişimde kabul edilerek işlenen mesajların ortalama cevap süresi içindeki yüzdesidir. İlk denemede başarılı yüzdelere ulaşıldıysa tekrar mesaj gönderilmez. Örneğin beş alıcıya mesaj gönderilmiş bunlardan dördü mesajı almışsa buradaki oran yüzde seksendir.

3.2. İletişimi Olumsuz Yönde Etkileyen Faktörler

Enerji dağıtım hatlarının iletişim amacıyla kullanılması durumunda iletişimi olumsuz yönde etkileyen en önemli faktör hatların empedans değişimleridir. Bu bakımdan iletişim frekanslarında dağıtım hatlarının empedans değişimleri matematiksel ve deneysel olarak incelenmesi gerekir. Diğer faktörleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [14].

- Gürültü
- Propagasyon Düzensizlikleri
- Hatların Karışması
- Cihaz Güvenilirliği
- Parazit

Bu çalışmada empedans değişimleri ele alınacak ve diğer faktörler için aşağıda verilen kısa açıklamalar ile yetinilecektir.

3.2.1. Gürültü

Enerji dağıtım sistemlerindeki gürültü dört ayrı kategori içerisinde değerlendirilir [15].

3.2.1.1. 50 Hz Güç Frekansı İlişkili Gürültü

Bu bazı güç kaynaklarının anahtarlama sistemlerinin ve SCR (tristör) lerin sebep olduğu bir gürültüdür. Bilindiği gibi SCR, gerilimin belirli bir değeri geçmesiyle ilettime geçer veya tetiklenir. Gerilim alternatif olduğundan 50 Hz veya 50 Hz'in katlarında SCR ilettime geçer. Dolayısıyla 50 Hz ve bunun katlarında gürültüye neden olur. Bu gürültü 50 Hz güç frekansı ile eş zamanlıdır. SCR ler tüm enerji dağıtım sistemlerinde bulunan elemanlardır. Dağıtım merkezleri besleyici terminallerinde daha çok bu tip gürültü oluşur. 50 Hz'in katlarındaki çizgilerden oluşan bir spektruma sahiptir [16].

3.2.1.2. Düz Spektrumlu Gürültü

Bu gürültü genellikle güç frekansı ile senkronize çalışmayan yükler nedeniyle oluşur. Elektrik matkabında kullanılan universal motor bu gürültüye iyi bir örnektir. Bu motorlarda motorun hızı yüklerle kontrol edilir ve motorlar yükün belirlediği motor hızına bağlı olarak çeşitli aralıklarda devrenin açılıp kapanmasını sağlayan fırçalara sahiptir. Bu gürültünün düz bir spektruma sahip olduğu düşünülebilir [17]. Dağıtım hattı üzerinden iletim sistemlerinde bu gürültü dar bir band genişliğinde beyaz gürültü olarak gözönüne alınmaktadır. Bu gürültünün düz olarak kabul edildiği frekans bandı 5-15 kHz frekans aralığıdır.

3.2.1.3. Darbe Gürültü

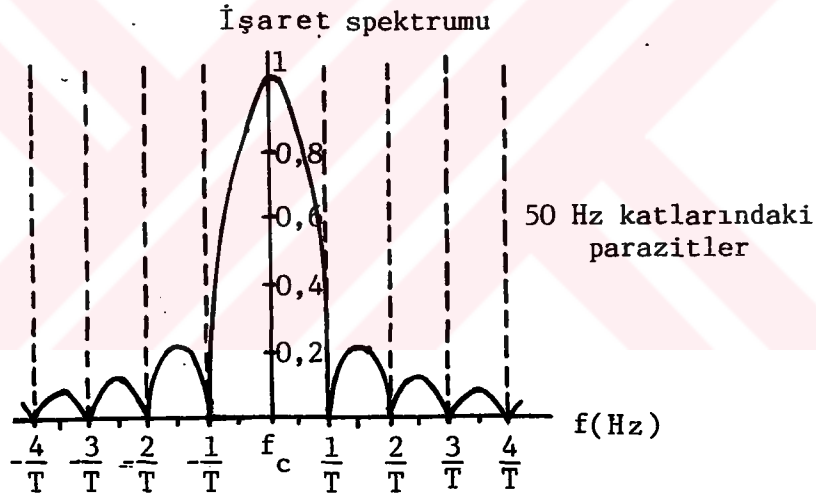
Aydınlatma, termostatlar ve diğer anahtarlama olayları darbe gürültüsüne neden olur. Ayrıca güç faktörünü iyileştirmek için kullanılan kapasite grupları da darbe gürültüsünü oluştururlar.

3.2.1.4. Senkronize Olmayan Periyodik Gürültü

Bu gürültü 50 Hz güç frekansı ile ilişkili olmayan çizgisel spektrumlu bir gürültüdür. Bu tip gürültünün en yaygın kaynağı da TV alıcılarıdır. Bunlar TV nin yatay tarama frekansı olan 15750 Hz'in katlarında gürültü üretirler.

Gürültüden daha az etkilenecek bilgi iletmek için kullanılabilecek bazı teknikler şöyle sıralanabilir [14]:

- 50 Hz ile ilişkili gürültünün iki spektral hattı arasına iletilen işaret koyulur. Bu durumda 50 Hz güç frekansı ile alıcı ve ileticinin senkronize olması gerekir. Şekil 3.2'de işaret spektrumunun oluşum biçimi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. İşaret spektrumunun oluşturulması.

- Dağıtım hattı üzerinde tekrarlayıcılar kullanılarak işaret gürültü seviyesinin üstünde kuvvetlendirilir.

- Darbe gürültüsünün etkisini azaltmak için gönderilen işaretlerin genliği darbe gürültü genliğinden farklı olacak şekilde kırpılır veya değiştirilir.

- Dar band genişliğinde yüksek güçlerde iletim yapılır.

3.2.2. Propagasyon Düzensizlikleri

Enerji dağıtım sistemini oluşturan ve 50 Hz güç frekansında enerji iletiminde kullanılan alüminyum

iletkenler ve kablolar iletişim frekanslarında propagasyon düzensizliklerine yol açarlar. Bu düzensizliklerin ana kaynağı hat boyunca oluşan duran dalgalardır. Dağıtım hattının Z_0 karakteristik empedansından farklı bir empedansla sonlandırılması halinde hat üzerinde yansıyan dalgalar oluşur. Gelen ve yansıyan dalgaların girişimi de duran dalgaları meydana getirir [18]. Hat üzerinde oluşan duran dalgalar iletişim frekanslarındaki sinyalin yayılmasına engel olur.

Duran dalga karakterinin belirlenmesinde duran dalga oranından yararlanılır. Hat üzerinde gerilimin maksimum olduğu noktadaki genliğinin minimum olduğu noktadaki genliğine oranı, gerilim duran dalga oranı olarak tanımlanır. Akım duran dalga oranını da benzer şekilde tanımlamak mümkündür. Değerce, gerilim duran dalga oranı akım duran dalga oranına eşittir. Yansımasız bir hattaki duran dalga oranı bire eşittir [18]. Enerji dağıtım hatlarına bağlı yüklerin belirsizliği ve değişkenliği, hatları karakteristik empedansı ile sonlandırmayı zorlaştırır. Özellikle iletişim frekanslarında işaretin seviyesini küçültmeye çalışan kompleks duran dalgaların etkisi oldukça büyüktür. Duran dalga karakterlerini tahmin etmek zordur. Dağıtım hatlarının özellikle yer altı kesimleri oldukça problemlidir. Ayrıca gün boyunca değişen yükler nedeniyle duran dalga karakterleri de zamanla değişim gösterir. Düzensiz propagasyonu belirli bir ölçüde önlemek ve duran dalgaların etkisini azaltmak için şu teknikler kullanılabilir [14]:

- İki farklı bölge arasında, farklılığın oluşturduğu etkiler tekrarlayıcı kullanarak azaltılabilir. Tekrarlayıcılar dağıtım hattı primerinde yer alır.

- Çoklu iletişim frekansları kullanılır. Duran dalga karakterleri frekansla değişir. Herhangi bir frekans üzerindeki etkisi çok olan duran dalga, frekans değiştiğinde daha az etkili olmaktadır.

- Duran dalgalar nedeniyle oluşan işaret seviyesindeki zayıflama daha yüksek verici gücü kullanarak azaltılabilir.

3.2.3. Hatların Karışması (Diyafoni)

İletişim frekanslarında işaret ileten devreye bir veya birkaç komşu devreden istenmeyen enerji geçişi nedeniyle işaretin bozulması olayına diyafoni denir. İstenmeyen enerji geçişi yüzünden hem bilgi ileten devredeki, hem de bozucu işaretin ait olduğu devredeki bilgi iletim kalitesi bozulur [13].

Diyafoni anlaşılır ve anlaşılmaz olmak üzere iki kısma ayrılır. Anlaşılır diyafonide, bozucu işaret asıl bilginin iletildiği devre üzerinde tamamen veya kısmen anlaşılabilir. Alıcı komşu devredeki bilgiyi kendine aitmiş gibi alır. Anlaşılmaz diyafoni de bozucu işarete ait frekans bandının kayması veya ters dönmesi sonucu bozucu işaret anlaşılmaz. Aynı zamanda iletilen asıl bilgi de bozulmuş olur. Anlaşılır diyafoninin bozuculuğu anlaşılmaz diyafoniden daha fazladır. Bilgi ileten bir sistemde bilgi iletimi için geçerli olan yasalar, bozucu işaretlerin iletimi bakımından da geçerlidir.

Bozucu işaret genliğinin asıl işaret genliğine oranına "parazit-işaret oranı" veya "bozma oranı" denir. İletim distorsiyonları ne kadar az ise bozma oranındaki değişme (hat boyunca), o kadar az olur. Ölçü yapılan uçtaki nominal işaret seviyesi arasındaki farka "diyafoni zayıflaması" denir [19].

Diyafoniye azaltmak için çeşitli çarelere başvurulur. Komşu devreler arasındaki endüktif veya kapasitif kuplajı minimuma indirmek için bir devrenin iki iletkenini içeren düzlem, komşu devre iletkenleri düzlemine dik seçilir. Böylelikle bir devrenin gösterdiği yüzey küçülür ve kuplaj azalmış olur. Diyafoniye azaltmanın bir

başka yolu çaprazlamadır. Hat boyunca eşit aralıklarla tellerin direk üzerindeki fiziksel yerleri değiştirilerek çaprazlama yapılır.

3.2.4. Cihaz Güvenilirliği

Bir cihazın belirli bir süre içinde arıza yapmadan çalışabilme olasılığı cihaz güvenilirliği olarak tanımlanmaktadır. Kısaca güvenilirlik bir cihazın arızasız çalışma kabiliyetinin bir ölçütüdür. Dolayısıyla cihaz veriminin ve kalitesinin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biridir. Güvenilirliği matematiksel olarak tanımlıyabilmek için arıza oranını bilmek gerekir. Bir cihazın arıza oranı ise çalışma sürecinde güvenilirlik testleri veya gözlemlerle deneysel olarak elde edilir. Bir cihazda çalışma ömrü süresince üç tip arıza görülebilir. Birinci tip arızalar cihazın yaşamının ilk devresinde oluşur. Cihazın üretimi sırasında yetersiz kalite kontrol tekniklerinden kaynaklanır. Bu arıza tipi, kusurların giderilmesi işlemiyle ortadan kaldırılabilir. İkinci tip arızalar cihazların yorulması nedeniyle oluşan arızalardır. Yorulma arızaları elemanın yaşlanmasının bir belirtisidir. Bu arıza yorulmaya neden olan elemanların düzenli aralıklarla bakımı ve gerektiğinde değiştirilmesiyle önlenabilir. Üçüncü tip arızalar risk arızaları olarak adlandırılır. Risk arızaları rastgele (periyodik olmayan) aralıklarda oluşur. Dolayısıyla bunların oluşmalarıyla ilgili bir tahmin yapılamaz. Yeterli miktarda uzun aralıklarla oluşma sıklığının yaklaşık sabit olduğu varsayılır. Bu arızaları elimine etmek için güvenilirlik teknikleri geliştirilmiştir. Birinci tip ve üçüncü tip arızalar rastgele oluşan ve önceden kestirilemeyen arızalardır [20].

$R(t)$: t anındaki güvenilirlik,

$N_s(t)$: t anındaki sağlam eleman sayısı,

$N_o(t)$: t anındaki bozuk eleman sayısı olmak üzere güvenilirliğin matematiksel olarak tanımı

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_o(t)} \quad (3.3)$$

formülü ile ifade edilir [20].

Güvenilirlik fonksiyonunun zamana göre türevinin eksi işaretlisi $f(t)$ ani hata yoğunluk fonksiyonu olarak tanımlanırsa

$$-f(t) = \frac{dR(t)}{dt} \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilir. $\lambda(t)$ ani hata oranı $f(t)$ nin $R(t)$ ye bölümü ile,

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

elde edilir. $\lambda(t)$ nin $[0-t]$ zaman aralığındaki integrali alınır,

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_1^R \frac{dR(t)}{dR}$$

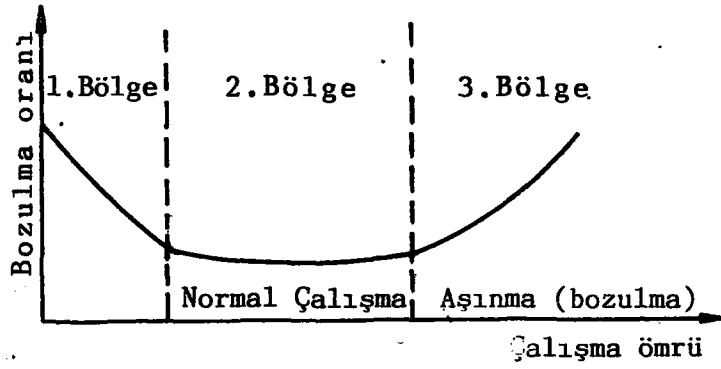
Güvenilirliğin zamana göre değişimi

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (3.5)$$

olarak bulunur. Eğer ani hata oranı sabit ve zamana bağımlı değilse,

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

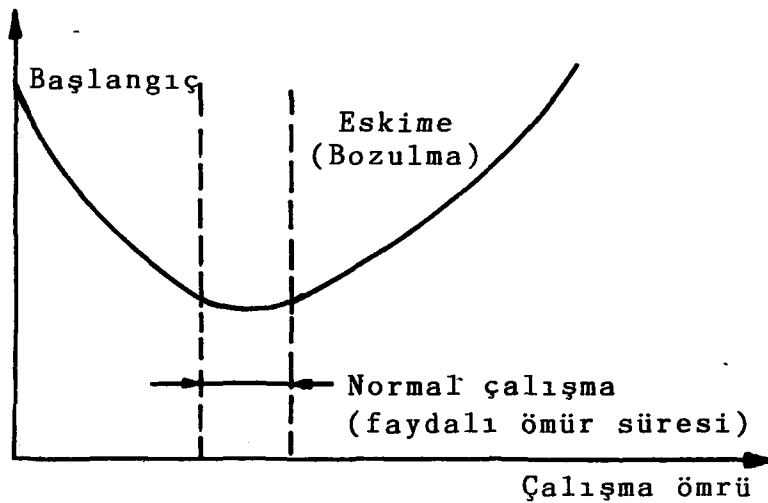
ifadesi elde edilir. Birçok eleman özellikle elektronik elemanlar zamana göre değişmeyen sabit bir hata oranına sahiptir. Şekil 3.3 ve 3.4'de görülen klasik eğriler birçok eleman için geçerlidir [21].



Şekil 3.3. Çalışma ömrünün fonksiyonu olarak elektronik elemanların bozulma oranı.

Şekil 3.3'de elektronik elemanlara ait çalışma ömrünü gösteren değişimde, birinci bölge fabrika yapım hatası veya başlangıç hatası aşaması olarak bilinir. Üretim hatası ve uygun olmayan tasarım sonucu hata oranı yüksektir. İkinci bölge yararlı ömür veya normal işleme aşamasıdır. Kalite denetim çalışmalarıyla hata oranı belirli bir sabit değere düşürülür. Bu bölgede hata oranı sabit ve hataların tamamıyla rastgele olduğu kabul edilir. Üçüncü bölge bozulma veya aşınma safhasıdır. Zamanla hızla artan hata oranıyla belirginleşir. Faydalı ömür hata oranına dayanan güvenilirlik kestirimlerinin geçerli olabilmesi için, sistem ileri bozulma aşamasındaki

Bozulma oranı



Şekil 3.4. Çalışma ömrünün fonksiyonu olarak mekanik elemanların tipik bozulma oranı.

elemanları içermemelidir. Tersı durumda güvenilirlik kestirimi geçersiz ve aşırı iyimser olur [21].

Hata yoğunluk fonksiyonu $f(t)$; $R(t)$ ani hata oranı,

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

olmak üzere

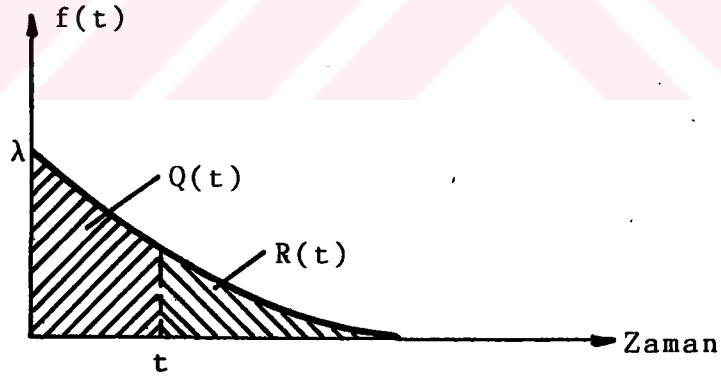
$$f(t) = - \frac{d R(t)}{dt}$$

diferansiyelinin zamana göre azalan bir değişim gösterdiğini belirtmek üzere eksi işareti alınarak,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.

Şekil 3.5'de $f(t)$ hata yoğunluk fonksiyonunun değişimi verilmiştir.



Şekil 3.5. Hata yoğunluk fonksiyonu.

t anındaki hata olasılığı $Q(t)$ olmak üzere

$$Q(t) = \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.8)$$

t anındaki sağlam kalma olasılığı; $R(t)$ olmak üzere

$$R(t) = \int_t^{\infty} \lambda \cdot e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} \quad (3.9)$$

olarak bulunur. Faydalı ömür döneminde, herhangi bir t zaman aralığındaki hata olasılığı önceki işleme süresinden bağımsızdır. Diğer bir şekilde ifade edilirse, elemanın faydalı ömrü boyunca, eşit işleme dönemleri için güvenilirlik sabittir [22]. Eğer x, olasılık yoğunluk fonksiyonu f(x) olan, sürekli bir rastlantı değişkeniyse umulan değeri,

$$E(x) = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) \cdot dx$$

olarak tanımlanabilir. Buradan,

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda e^{-\lambda t} \cdot dt \quad (3.10)$$

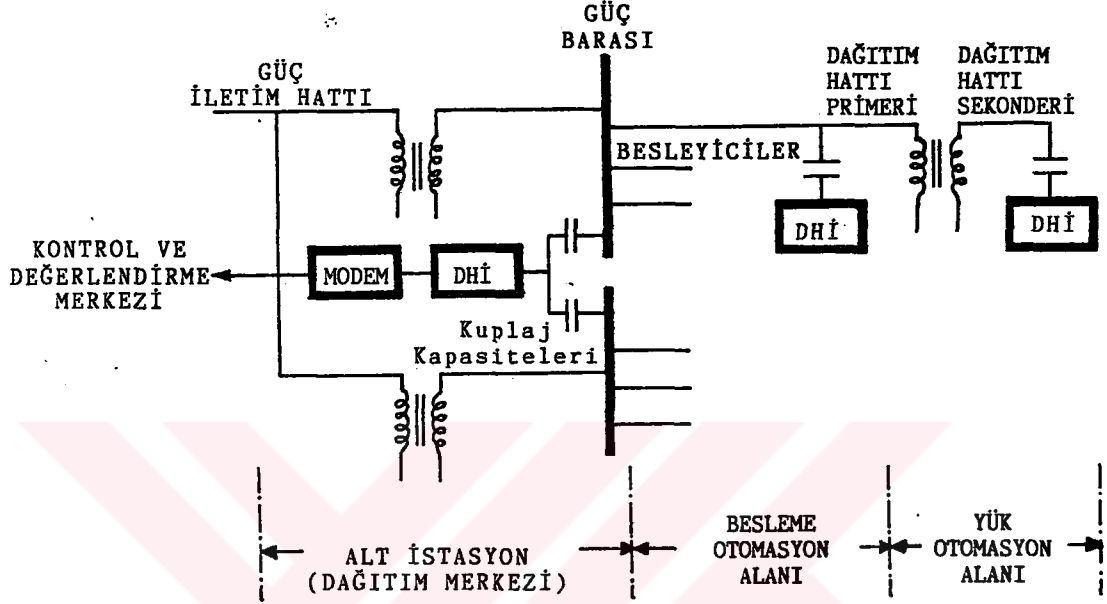
ifadesi elde edilir. Kısmi integrasyon ile $E(t)=1/\lambda$ olarak bulunur. $E(t)$ güvenilirlikte ortalama arıza oluşma süresi olarak adlandırılır. Faydalı ömür hata oranıyla ters orantılıdır.

3.2.5. Parazitler

Bozucu işaretler (parazitler) iletim sistemine dışarıdan giren veya sistemin içerisinde oluşan ve iletilen bilgi ile bir ilgisi olmayan işaretler olarak tanımlanır. Bu işaretler de zamanın fonksiyonları ile temsil edilirler. Fakat biçimleri asıl işarettten farklıdır. Bozucu işaretleri doğuran sebepler olarak, aralarında elektrik veya magnetik bağlaşma bulunan enerji dağıtım hatları, dağıtım sistemindeki iletişimle ilgili akım kaynakları atmosferik boşalmalar, iletkenlerin veya devre elemanlarının atom yapısındaki değişiklikler, kontak açılıp kapanmaları sırasındaki geçici olaylar ve çevre gürültülerini saymak mümkündür. Bozucu işareti matematiksel olarak tanımlamak ve tahmin etmek çok zordur [13].

3.3. İletişimin Enerji Dağıtım Hattı Üzerinden Gerçekleştirilmesi

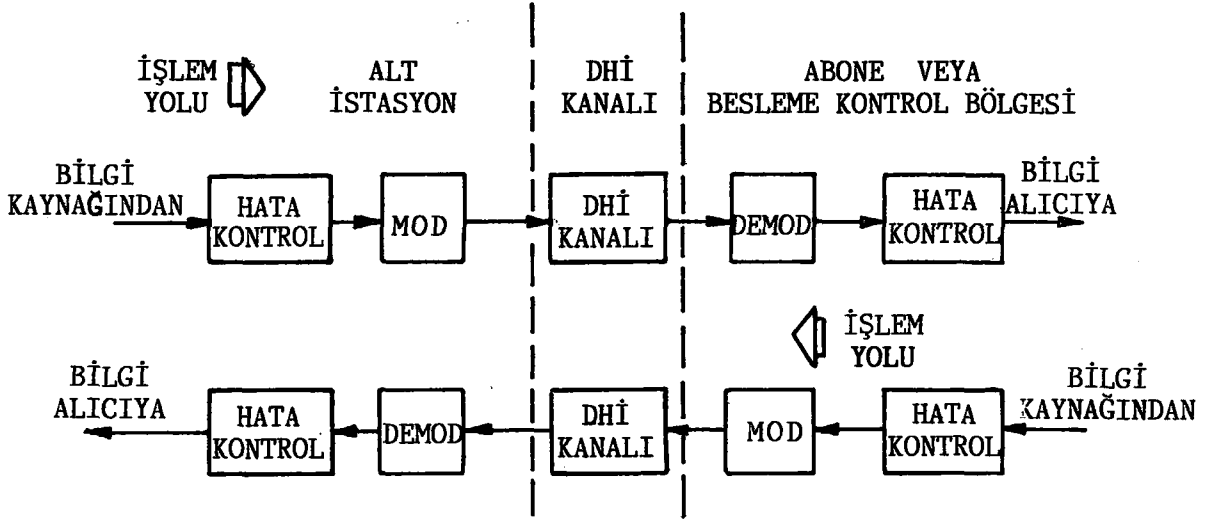
Enerji dağıtım hattı üzerinden iletişimin sağlanması Şekil 3.6'da şematik olarak gösterilmiştir [2].



Şekil 3.6. Dağıtım hattı üzerinden iletişimin sağlanması.

Kontrol ve değerlendirme merkezinden telefon hattı veya mikrodalga tekniği ile dağıtım merkezine iletilen kodlanmış sayısal bilgiler, modülatör ile dağıtım hattı üzerinden iletişim için uygun sinyallere dönüştürülür. Bu sinyaller Dağıtım Hattı üzerinden İletişim (DHİ) ünitesi aracılığıyla enerji dağıtım hattına aktarılır. Enerji dağıtım hattı üzerindeki iletişim sinyallerinin alınarak tekrar sayısal bilgiye dönüştürülmesi demodülatör ile sağlanır. Modülatör ve demodülatör aynı ünite içerisinde MODEM olarak gösterilmiştir. Enerji dağıtım hattı üzerinden bilgi iletimini engelleyici değişik türde parazitler mevcuttur. Bu parazitlerin sinyaller üzerine etkilerini anlayabilmek ve bu etkilerden sinyalleri koruyabilmek için hata kontrol ölçümleri gereklidir. Enerji

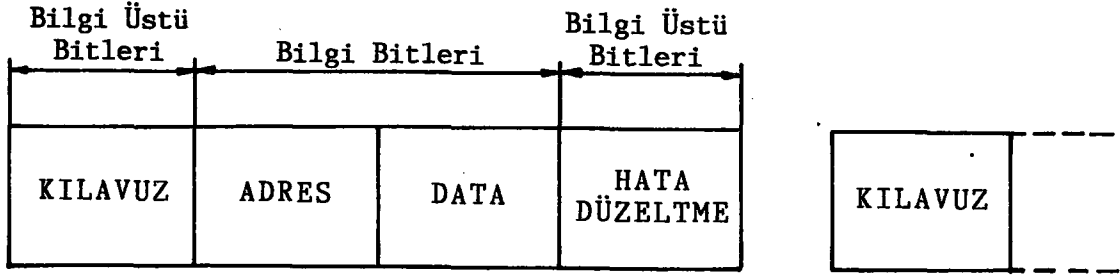
dağıtım hattı üzerinden iletişim sistemindeki sayısal iletişim elemanları Şekil 3.7'de blok şema olarak verilmiştir.



Şekil 3.7. Sayısal iletişim elemanları.

Hata kontrol elemanı ile, alınan sinyallerdeki hataların nelere bağlı olarak değiştiği, yani hata kontrol fonksiyonunun ne olduğu belirlenir. Enerji dağıtım hattı üzerinden iletişimde kullanılan en uygun sayısal modülasyon teknikleri PSK (Faz değiştirmeli anahtarlama) veya DPSK (Diferansiyel faz değiştirmeli anahtarlama) dır. Bu modülasyon tekniklerinde modülasyon oranının nisbeten düşük olması ve bunun sonucu olarak sinyal enerjisinin taşıyıcı frekans civarında çok dar bir bantta kalması nedeniyle sinyal propagasyonu ile modüle edilmemiş taşıyıcı işaretin propagasyonunun birbirinden farksızlığı, Bell Telefon ve Amerikan Bilim ve Mühendislik tarafından ortaklaşa gerçekleştirilen bir dizi testlerle doğrulanmıştır [23]. Rockwell firmasında araştırmalarında aynı teknikleri kullanarak çalışmalar yapmıştır.

Dağıtım hattı üzerinden iletilen sinyalin oluşum biçimi Şekil 3.8'deki gibidir.



Şekil 3.8. Tipik sinyal oluşum biçimi.

Kılavuz bitler alıcıyı sinyale hazırlamak için kullanılır. Adres dağıtım hattına bağlı alıcılardan hangisinin gönderilen dataya cevap vereceğini belirler. Data tüketicideki alıcının hangi fonksiyonu gerçekleştireceğini bildirir. Ayrıca alıcı tarafta sinyalin doğru alınıp alınmadığını belirlemek ve belirli tolerans içerisinde kalan hataları düzeltmek için hata düzeltme bitleri kullanılır. Kılavuz bitler ve hata düzeltme bitlerine bilgi üstü bitleri denir. Adres ve data bitleri birlikte sinyal (mesaj) bitini oluşturur.

BÖLÜM 4

ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİNİN İLETİŞİM FREKANSLARINDA MODELLENMESİ

4.1. Empedans Değişimleri Yönünden Enerji Dağıtım Sisteminin Yapısı

Enerji dağıtım sisteminin aynı zamanda iletişim aracı olarak kullanılabilmesi için, sistemin empedans değişimleri yönünden analiz edilmesi ve sistemin buna göre yeniden düzenlenmesi gerekir. Bir enerji dağıtım sistemi empedansı; tüketiciye giden dağıtım hatları, dağıtım transformatörünün sekonder sargıları, giriş kabloları, ev tesisat hatları ve diğer elektriksel yüklerin karakteristikleri tarafından belirlenir. Dağıtım sistemi üzerindeki birçok elemanın değerinin belirsizliği ve zamana bağlı değişimi, enerji dağıtım sistemi empedansının hesabını güçleştirmektedir.

Enerji dağıtım sistemi empedans değişimlerinin analizinde bara empedans matrisi yaklaşımı kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemin üstünlükleri şöyle sıralanabilir [24]:

- Sistemin empedans değişimlerini gösteren tam bir model kurmak mümkündür.

- Dağıtım sistemindeki elemanların değişimlerinin etkileri ayrı bir alt matrisle hesaba katılarak belirlenir. Sınırlı sayıda bir alt matris için çok az sayıda matematiksel işlem yapmak gerekir. Tüm sistemin empedans matrisini yeniden kurmak gereksizdir.

- Herhangi bir bölgedeki akımdaki değişimlerin gerilime olan etkisi, geçiş empedansı aracılığıyla belirlenir. Bu yüzden empedans matrisini herhangi bir kısım için yeniden kurmaya gerek

yoktur. Diğer yandan alıcı ve vericilerin bölgelerine bağımlılığı söz konusu ise matrisi yeniden kurmak gerekir [5].

Enerji dağıtım sistemi içerisinde yer alan dağıtım transformatörlerinin 50 Hz güç frekansındaki hesaplarında genellikle π ve T eşdeğer devreleri kullanılmaktadır. Dağıtım transformatörünün iletişim frekanslarındaki analizi için basit modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde tanımlanan parametrelerin ölçüm yoluyla belirlenmesi ile transformatörün analizi yapılabilmektedir.

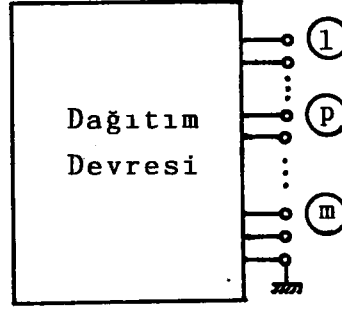
4.2. Bara Empedans Matrisi Yaklaşımı

Bu yöntem ile giriş çıkış ilişkileri yani bütün girişlerden çıkışlara geçiş fonksiyonları tüm sistem için hesaplanabilir. Bir üç fazlı şebekenin işletme denklemi

$$E_{\text{bara}}^{R,S,T} = Z_{\text{bara}}^{R,S,T} \cdot I_{\text{bara}}^{R,S,T} \quad (4.1)$$

şeklinde gösterilebilir.

$E_{\text{bara}}^{R,S,T}$ toprağa göre bara gerilimlerinin üç faz gerilim vektörüdür. $Z_{\text{bara}}^{R,S,T}$ işletme noktası için geçiş empedansı matrisi diye tanımlayabileceğimiz devrenin matematiksel modelidir. $I_{\text{bara}}^{R,S,T}$ devredeki bütün noktalarda giren akımların akım vektörüdür. Basitçe yazınımlar için R,S,T indisleri terkedilerek üç faz büyüklükleri E,I,Z şeklinde kısaltılmış olarak belirtilecektir. Ayrıca matris büyüklüklerin belirtilmesinde büyüklüğü tanımlayan harfin altına ~ işareti konacaktır. Şekil 4.1'deki m düğümlü bir dağıtım devresinin çalışma denklemini (4.2)'deki gibi açık biçimde yazabiliriz [25].



Şekil 4.1. Bölgesel dağıtım şebekesi.

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_p \\ \vdots \\ E_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1p} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2p} & \dots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pp} & \dots & Z_{pm} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mp} & \dots & Z_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Devrede yalnızca I_p akımı varsa, diğer akımlar sıfır olur. ve gerilimler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} E_1 &= Z_{1p} \cdot I_p \\ \vdots & \\ E_p &= Z_{pp} \cdot I_p \\ \vdots & \\ E_m &= Z_{mp} \cdot I_p \end{aligned} \quad (4.3)$$

Bara empedans matrisinin bileşenlerini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

1- Z_{pp} biçimindeki köşegen terimleri herhangi bir p barasındaki üç faz işletme noktası empedansını gösterir.

2- Köşegen dışındaki bileşenler $\tilde{Z}_{pj}$ p inci ve j inci baralar arasındaki üç faz geçiş empedansıdır.

3- Herhangi bir gerilim ya da akım vektörü elemanı R,S,T fazlarına karşılık düşen bir 3x1 sütun vektör olarak

$$\tilde{E}_j = \begin{bmatrix} E_j^R \\ E_j^S \\ E_j^T \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$\tilde{I}_p = \begin{bmatrix} I_p^R \\ I_p^S \\ I_p^T \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

şeklinde gösterilir. Sistem köşegen ve köşegen dışı alt matrislerine ayrılır. Her bir alt matris, sistemde herhangi bir giriş noktasını herhangi bir çıkışa bağlayan bir transfer fonksiyonu matrisidir. Bara empedans elemanları hesaplandıktan sonra i. nokta ile j. noktadaki üç fazlı gerilim, 3x3 geçiş empedans alt matrisi $\tilde{Z}_{ji}$ ile $\tilde{I}_i$ çarpılarak

$$\tilde{E}_j = \tilde{Z}_{ji} \cdot \tilde{I}_i \quad (4.6)$$

şeklinde belirlenir. (4.6) denklemini açık biçimde yazarak iletişim frekanslarında geçerli olacak olan üç faz bara empedans matrisi denklemleri

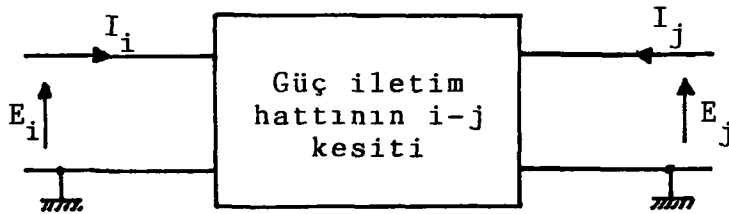
$$\begin{bmatrix} E_j^R \\ E_j^S \\ E_j^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ji}^{RR} & Z_{ji}^{RS} & Z_{ji}^{RT} \\ Z_{ji}^{SR} & Z_{ji}^{SS} & Z_{ji}^{ST} \\ Z_{ji}^{TR} & Z_{ji}^{TS} & Z_{ji}^{TT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_i^R \\ I_i^S \\ I_i^T \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

şeklinde yazılabilir.

Bara empedans matrisi her adımda bir eleman ekleyerek adım adım oluşturulur. Bu eklenen elemanlar ya dallar ya da kırışlardır. Kırışlar ya toprağa olan bağlantılardır ya da baralar arası bağlantılardır. Dallar sadece bara empedans matrisinin oluşturulmasında gözükür.

4.3. Bara Empedans Matrisi Yönteminin İletişim Frekanslarına Uygulanması

İletişim frekansları için bir güç iletim hattının dağılmış parametrelili durumuna ilişkin iki kapılı modeli Şekil 4.2'deki gibi gösterilir ve Wedepohl sürekli-hal çözüm yöntemi kullanılarak iki kapılı modelin davranışı incelenir [26].



Şekil 4.2. İletişim frekansları için güç iletim hattının i-j kesitinin iki kapılı gösterilişi.

$$\tilde{E}_j = \tilde{S} [\cosh(\gamma r)] \tilde{S}^{-1} \tilde{E}_i - \tilde{Z}_o \cdot \tilde{Q} [\sinh(\gamma r)] \tilde{Q}^{-1} \tilde{I}_i \quad (4.8)$$

$$\tilde{I}_j = -\tilde{Q} [\sinh(\gamma r)] \tilde{Q}^{-1} \tilde{Z}_o^{-1} \tilde{E}_i + \tilde{Q} [\cosh(\gamma r)] \tilde{Q}^{-1} \tilde{I}_i \quad (4.9)$$

olarak yazılan (4.8) ve (4.9) denklemleri ile giriş büyüklüklerinin çıkış büyüklükleri cinsinden veren Wedepohl çözüm yöntemi, tam çözüm biçimlerinden birisidir.

Burada;

$\tilde{Y}_P$ = Birim uzunluk başına enine üç faz admitans matrisi

$\tilde{Z}_P$ = Birim uzunluk başına boyuna üç faz empedans matrisi

$\tilde{Z}_o$ = Üç faz karakteristik empedans matrisi =

$$\tilde{Z}_o = \tilde{S} \gamma^{-1} \tilde{S}^{-1} \tilde{Z}_P$$

$\tilde{I}$ = Diyagonal matris

r = i - j parçasının uzunluğu

$$\tilde{P} = \tilde{Z}_P * \tilde{Y}_P$$

$$\tilde{P}^t = \tilde{Y}_P * \tilde{Z}_P$$

γ = Üç faz $\tilde{P}$ ya da $\tilde{P}^t$ matrisinin öz vektörlerinin kare kökleri

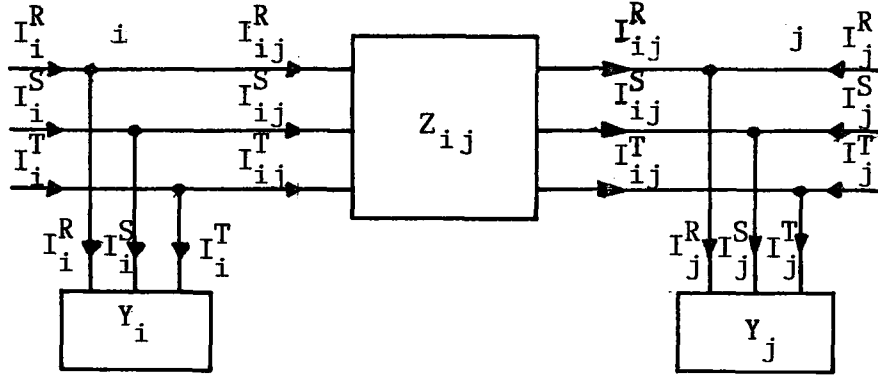
$\tilde{S}$ = $\tilde{P}$ matrisinin öz vektör matrisi

$\tilde{Q} = \tilde{P}^t$ matrisinin öz vektör matrisi

göstermektedir.

İletişim frekansları için güç dağıtım hatlarının toplu parametrelili modeli ile dağılmış parametrelili modeli kıyaslanırsa, Wedepohl sürekli-hal çözümünün uygun bir çözüm olduğu görülebilir.

Dağılmış parametrelili modelde birbiri ile dört farklı matrisle ilişkili $\tilde{E}_j$, $\tilde{E}_i$, $\tilde{I}_j$, $\tilde{I}_i$ değişkenleriyle ilgilenmek gerekir. Bu karmaşık ilişki, bu haliyle bara empedans matrisinin oluşturulması için yeterli bir algoritma çıkarma işlemini güçleştirir. Eğer dağıtım sisteminin farklı bölgeleri arasında karşılıklı bağlantı varsa problem daha karmaşık hale gelir. Bu problem, Wedepohl tam çözümünden bir üç-faz π eşdeğerini türeterek çözülür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. İletişim frekansları için dağıtım hattı i-j kesitinin π eşdeğer devresi.

Eşdeğer devrede giriş akımlarının çıkış akımlarına eşit olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul, bara empedans matrisi oluşturmada işlem yapmayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca üç-fazlı şönt elemanların bir uçlarının i veya j barasına bağlanabileceği ve diğer uçlarının da topraklanacağı kabulü yapılmıştır [5]. Bu kabul ile şönt eleman toprağa bağlı olduğu için eleman uçlarındaki gerilim düşümü ve elemandan akan akım

$$E_i = Z_i \cdot I_i \quad \text{veya} \quad I_i = Y_i \cdot E_i \quad (4.10)$$

formülleriyle hesaplanabilir.

E_i , i barasındaki üç-fazlı gerilim vektörüdür ve şönt eleman uçlarındaki üç-fazlı gerilim düşümüne eşittir. I_i , i barasındaki şönt elemanlara giren üç-faz akım vektörüdür. Z_i şönt elemanların (3x3) empedans matrisidir. Bara empedans matrisi oluşturmada yeterli işlem eşitlikleri geliştirmek, ancak (4.10) denklemlerini kullanmakla mümkün olabilir. Farklı bölgeler arasındaki karşılıklı bağlantı bu hatların geçiş empedanslarına kolayca katılamaz.

50 Hz de gerçek hattan akan akım π eşdeğerinin geçiş empedansından akan akımlara eşit kabul edilmektedir.

Bu kabul, şönt ve ortak kapasitelerden akan akımın ihmal edilebilir olmasından 50 Hz de doğru sonuca götürür. Ancak iletişim frekanslarında şönt ve ortak kapasitelerden akan akımların ihmal edilemez miktarda olması, bunların etkilerini gözönünde bulundurmayı gerektirir. Bu ise iletişim frekanslarında π eşdeğerinin geçiş ve şönt empedanslarının toplu elemanlar olarak gözönüne alınmaması gerektiği sonucunu doğurur.

4.4. İletişim Frekanslarında Enerji Dağıtım Hatları

İletişim frekanslarında enerji dağıtım hatları aşağıdaki nedenlerle dengesizdir [5].

- 1- Dağıtım hatlarının empedansları fazlara göre simetrik dağılmamıştır.
- 2- Yükler dengeli değildir. Aksine tek faz yükleri dağılmış durumdadır.
- 3- Bir kaynaktan gönderilen işaret zorunlu olarak simetrik değildir.

Bir üç fazlı dengesiz sistem için mevcut dönüşümler bağlantısız empedansları vermez. Ayrıca iletişim frekanslarında dağıtım sisteminin bütün elemanlarının empedans matrislerini köşegenleştiren hiç bir tek dönüşüm mevcut değildir. Çünkü farklı elemanların dengesizliği arasında bir ilişki yoktur. Bu sebeple gerçek üç faz büyüklüklerini kullanmak zorunludur.

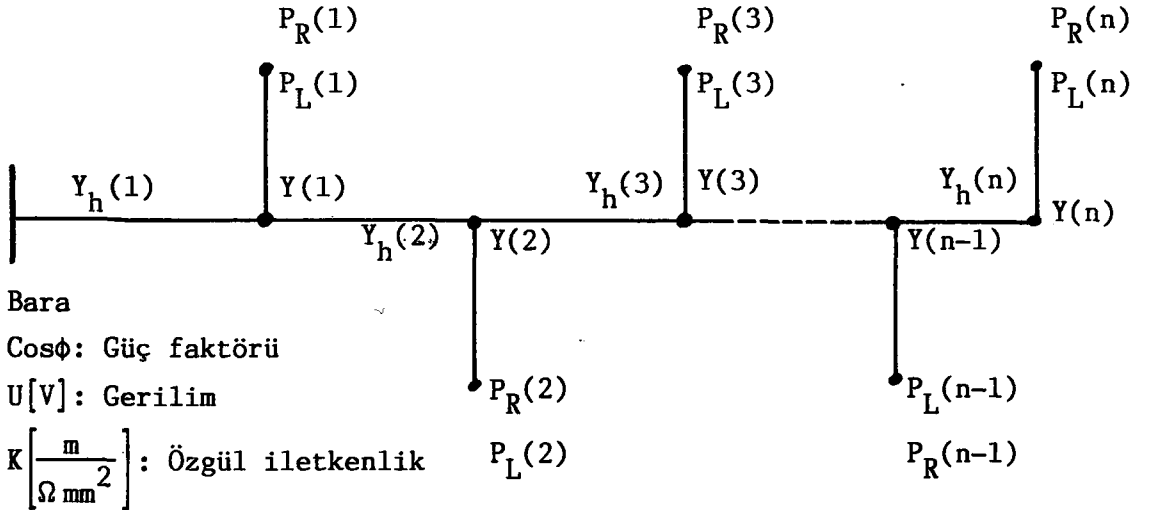
İletişim frekanslarında enerji dağıtım şebekelerinin analizinde 50 Hz güç frekansı için geliştirilen bara empedans matrisinin bir uyarlamasından yararlanılmıştır. 50 Hz de bara empedans matrisi, iletim hat parçalarının π toplu parametre eşdeğerlerini kullanarak her seferinde bir eleman eklemek suretiyle adım adım oluşturulur (Şekil 4.4). Dağıtım hatlarının 50 Hz deki ortak ve şönt kapasitelerine ilişkin empedanslar boyuna empedanslara göre yüksektir. Bu yüzden ihmal edilebilir. Birim uzunluk için π toplu parametre eşdeğeri imalatçı tablolarından hesaplanabilir. Herhangi

4.4.1. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı Bara Empedanslarının Bulunması

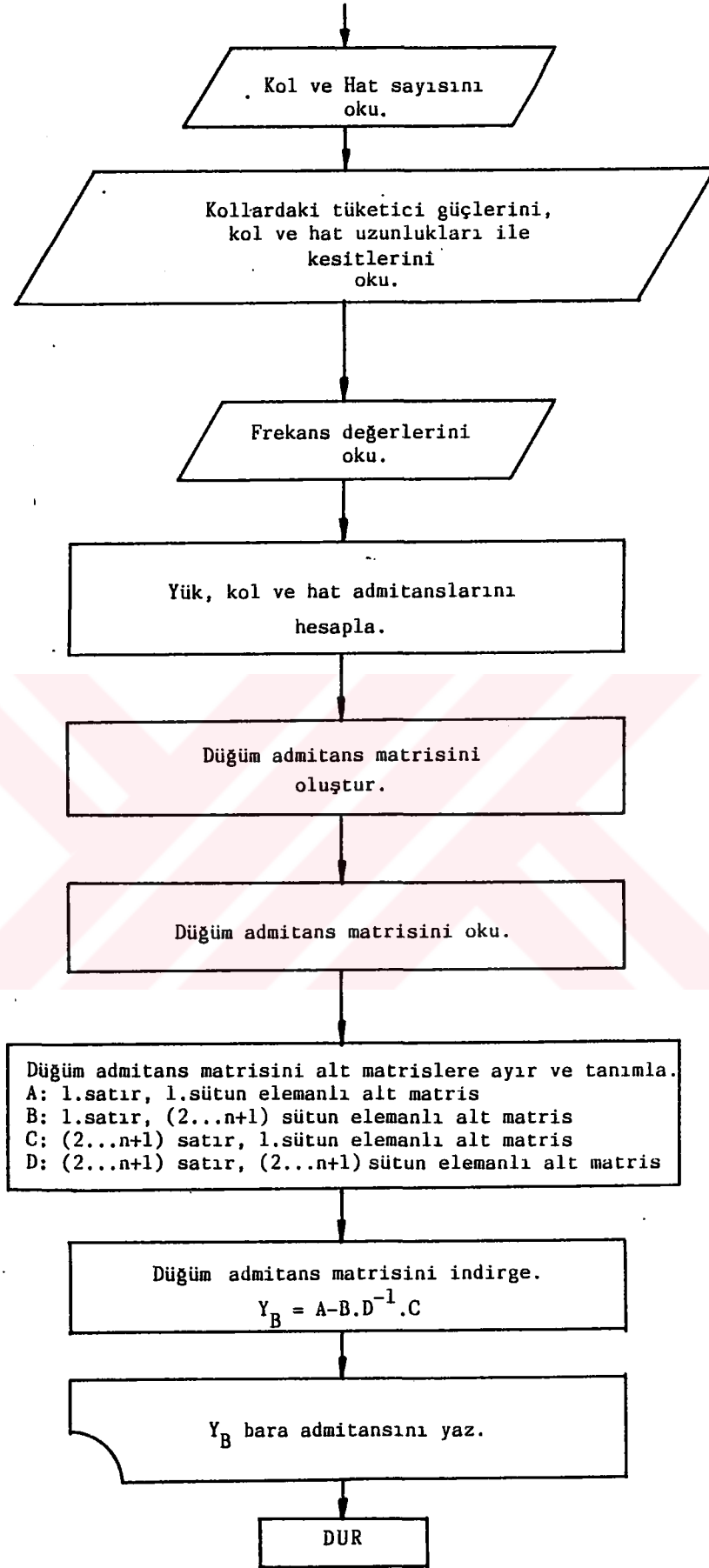
Tüketicilere ilişkin empedanslar, bara empedansının belirlenmesi bakımından özellikle önemli olmaktadır. Eğer tüketici güçleri ile hatların uzunlukları ve iletken tipleri belirli ise hattın empedans matrisini yaklaşık olarak oluşturmak mümkündür.

Dağıtım hatlarına bağlı yükler, genellikle ohmik ve endüktif özellik taşırlar. Endüktif yükün empedansı frekansla değişim gösterir. Ohmik yükün empedansı ise frekansla değişmez. Burada hatların şönt ve ortak kapasitelerinin yüksek empedans göstermeleri nedeniyle ihmal edilebilecek değerlerde olduğunu ayrıca belirtmek gerekir. Bu yüzden empedans matrisi oluşturmada yalnız endüktans ve direnç değerlerinin bilinmesi yeterli olmaktadır.

Bir faza indirgenmiş dağıtım hattı modeli Şekil 4.5'de verilmiştir. Bu dağıtım hattının empedans matrisinin hesaplanmasında kullanılan değişken değerler tüketici güçleri, hat uzunlukları ve kesitleridir. Belirli sınır değerler arasında kalması koşuluyla, güç faktörü, iletkenlerin özgül iletkenliği ve gerilim sabit alınabilir. Bara admitans matrisinin hesabı için Ek-A'da verilen



Şekil 4.5. Bir faza indirgenmiş dağıtım hattı modeli.



Şekil 4.6. Bara admitansının hesaplanmasındaki basit akış şeması.

bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programın basit akış şeması Şekil 4.6'da, ayrıntılı akış şeması Ek-A'de verilmiştir. Akış şemasında da görüldüğü gibi önce ohmik ve endüktif güç değerlerine bağlı olarak yüklerin direnç ve reaktanslarından yük admitansları hesaplanır. Yük admitansına kolun direnci ve reaktansı da ilave edilirse düğüm noktasının (Y) admitansı belirlenmiş olur. Hattın direnci ve reaktansı da ayrıca hesaplanarak aşağıdaki gibi n kollu dağıtım hattı için (n+1) satır sütunlu admitans matrisi oluşturulur. Burada bara ayrı bir düğüm noktası olarak gözönüne alındığından matristeki satır veya sütun sayısı (n+1) olmuştur.

$$\begin{bmatrix} Y_h(1) & -Y_h(1) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -Y_h(1) & Y_h(1)+Y(1)+Y_h(2) & -Y_h(2) & & & \\ 0 & -Y_h(2) & Y_h(2)+Y(2)+Y_h(3) & -Y_h(3) & & \\ & 0 & -Y_h(3) & & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & 0 \\ & \vdots & \vdots & \vdots & & -Y_h(n) \\ 0 & 0 & 0 & -Y_h(n) & Y_h(n)+Y(n) & \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

(4.12) deki matriste $Y_h(1) \dots Y_h(n)$: hat admitanslarını
 $Y(1) \dots Y(n)$: kol admitanslarını
göstermektedir.

Yukarıda elde edilen $\underline{Y}$ admitans matrisinde

$\underline{A}$: 1. satır, 1. sütun elemanlı alt matris

$\underline{B}$: 1. satır, 2...(n+1) sütun elemanlı alt matris

$\underline{C}$: (2...n+1) satır, 1. sütun elemanlı alt matris

$\underline{D}$: (2...n+1) satır, (2...n+1) sütun elemanlı alt
matris

olarak tanımlanırsa

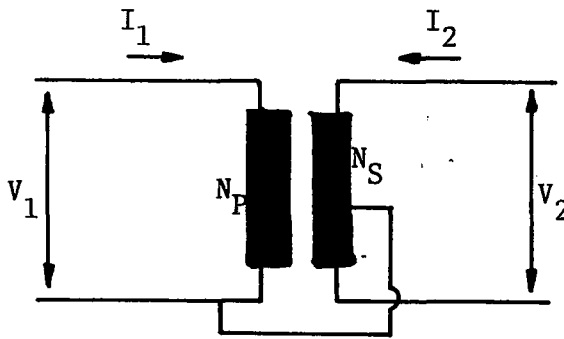
$$\underline{Y}_B = \underline{A} - \underline{B} \cdot \underline{D}^{-1} \cdot \underline{C} \quad (4.13)$$

formülü ile bara admitansı hesaplanabilir. Ek-A'daki bilgisayar programı içerisinde bara admitansı da ayrıca hesaplanmıştır.

4.5. İletişim Frekanslarında Dağıtım Transformatörleri

Dağıtım transformatörlerinin iletişim frekanslarında 50 Hz güç frekansındaki eşdeğer devreleri ile hesap yöntemlerini kullanmak çok zordur. Bunun başlıca sebepleri, iletişim frekanslarındaki çalışma akım ve gerilimlerinin 50 Hz deki değerlere göre önemli oranda küçük kalmaları ve frekans yükseldikçe sargılardaki ve sargılar arasındaki endüktif ve kapasitif etkilerin artmasıdır. Aynı zamanda transformatörün yapılış biçimine bağlı olarak da değişen bu etkileri belirlemede elverişli bir yol, iletişim frekanslarındaki deneysel incelemelerdir.

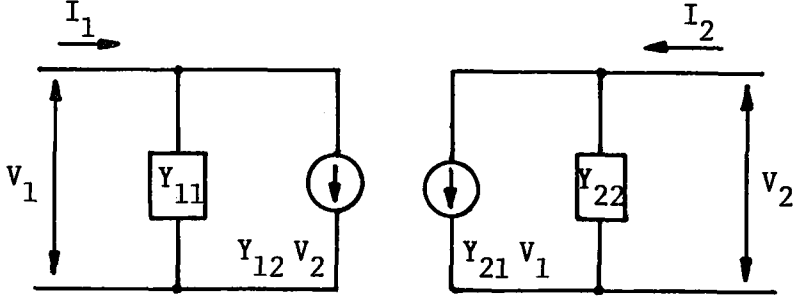
Üç fazlı bir dağıtım transformatörü kolayca incelenebilmesi bakımından Şekil 4.7'deki gibi bir faza indirgenmiş biçimde gösterilebilir. Sargılar arasındaki



Şekil 4.7. Bir faza indirgenmiş dağıtım transformatörünün şematik gösterilişi.

simetri nedeniyle bu gösteriliş biçiminin doğruluğu çok sayıda transformatörden elde edilen deney sonuçlarıyla saptanmıştır [3]. Transformatörün bu gösteriliş biçimine

uygun iki kapılı bir modeli Şekil 4.8'deki gibi verilmiştir.



Şekil 4.8. İki kapılı transformatör modeli.

Modelde gösterilen parametreler transformatörün iletişim frekanslarındaki giriş-çıkış değişkenleri arasındaki ilişkileri belirler. Bu parametreler klasik usulde kısa devre ölçümleri ile bulunabilir. Bu ölçümlerle

$$Y_{11} = \frac{I_1}{V_1} \quad V_2=0 \text{ iken (sekonder kısa devre)}$$

$$Y_{21} = \frac{I_2}{V_1} \quad V_2=0 \text{ iken (sekonder kısa devre)}$$

(4.14)

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \quad V_1=0 \text{ iken (primer kısa devre)}$$

$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \quad V_1=0 \text{ iken (primer kısa devre)}$$

$$(Y_{12} = Y_{21})$$

elde edilir.

Yukarıda tanımlanan bu parametreler yardımıyla iki kapılı transformatör modelinin matematiksel tanımı şu denklemlerle ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Bu denklemlerdeki I_1 , I_2 , V_1 , V_2 giriş-çıkış akım ve gerilim değerleridir.

Y_{11} : Primer admitansı

Y_{21} : Sekonderden primere geçiş admitansı

Y_{12} : Primerden sekondere geçiş admitansı

Y_{22} : Sekonder admitansı

Yukarıda tanımlanan admitans parametrelerinin frekansla değişimleri kritik iletişim parametreleri olarak ifade edilebilir.

BÖLÜM 5

İLETİŞİM FREKANSLARINDA ENERJİ DAĞITIM SİSTEMİ EMPEDANS DEĞİŞİMLERİNİN DENEYSEL BELİRLENMESİ

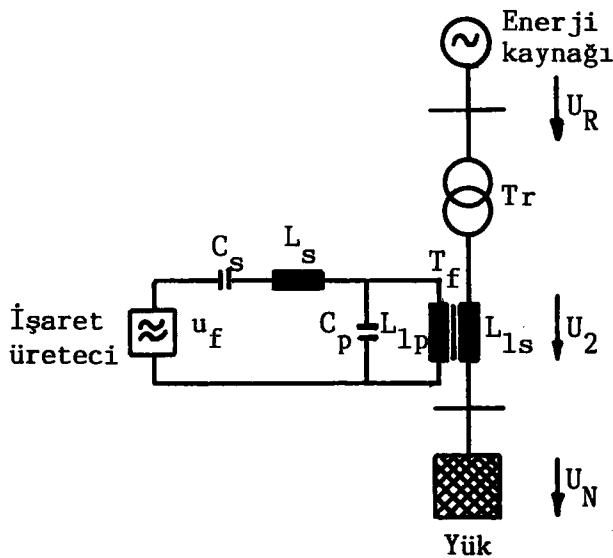
5.1. İletişim Frekanslarındaki İşaretin Hatta Verilişi

Enerji dağıtım hattı üzerinden iletişim frekanslarındaki işareti iletmek için başlıca iki yolu vardır [28]:

- Seri bağlama ile işaretin iletimi,
- Paralel bağlama ile işaret iletimi.

5.1.1. Seri Bağlama İle İşaretin Hatta Verilişi

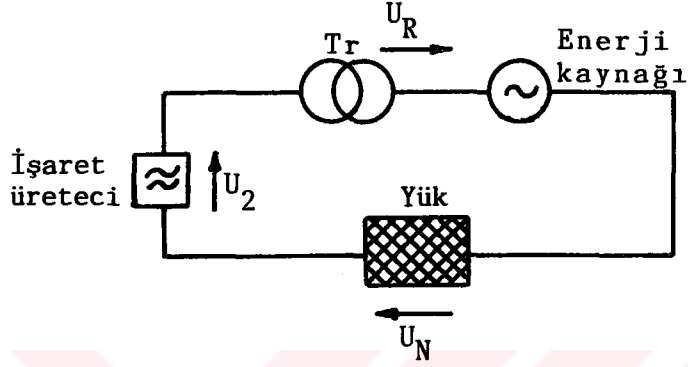
Seri bağlama ile işaretin hatta verilişi Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilmiştir. T_f ile gösterilen yalıtım transformatörünün sekonderi hatta seri olarak bağlanmıştır. Devrede kullanılan L_s , C_s , C_p gibi elemanlar ile empedans uygunluğu sağlanarak hatta u_f işareti maksimum seviyede aktarılır ve primerdeki elemanlarla bir rezonans devresi oluşturulur.



Şekil 5.1. Seri bağlama ile işaretin hatta verilişi.

Şekildeki devrede U_2 : İletişim frekanslarındaki gerilimi, U_N : Kontrol edilen yüke aktarılan iletişim frekanslarındaki gerilimi, U_R : İletişim frekanslarında enerji kaynağı tarafında oluşan gerilimi gösterir.

Şekil 5.2'de seri bağlaşma ile işaret iletim devresinin eşdeğeri verilmiştir.

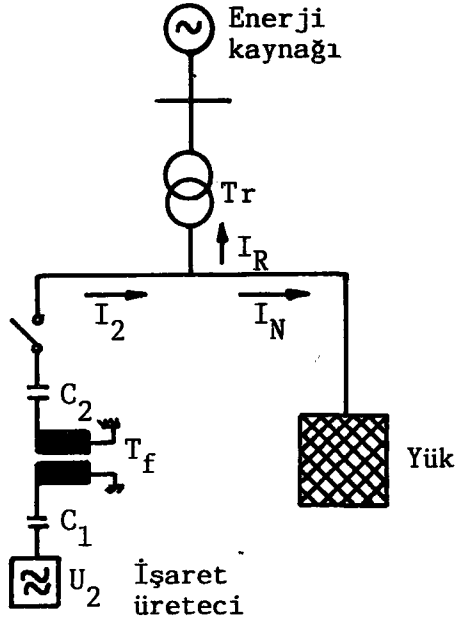


Şekil 5.2. Seri bağlaşma ile işaret iletim devresinin eşdeğeri.

Seri bağlaşma ile işaret iletiminde kullanılan T_f yalıtım transformatörünün sekonderinden geçen akım yük durumuna bağlı olarak büyük değerler alabilir. Bu nedenle transformatörün sargıları uygun tel kesitinde ve dönüştürme oranında olmalı, iyilik faktörü yani Q değeri yüksek karbon çekirdekten yapılmalıdır.

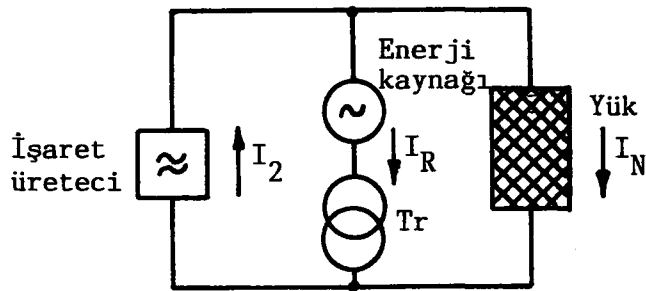
5.1.2. Paralel Bağlaşma İle İşaretin Hattı Verilişi

Paralel bağlaşma ile işaretin hatta verilişi Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilmiştir. Burada, I_2 : İletişim frekanslarındaki hatta verilen akımı, I_N : Kontrol edilen yüke aktarılan iletişim frekanslarındaki akımı, I_R : İletişim frekanslarında enerji kaynağı tarafına akan akımı göstermektedir.



Şekil 5.3. Paralel bağlaşma ile işaretin hatta verilişi.

Şekilde de görüldüğü gibi T_f ile gösterilen yalıtım transformatörü hatta paralel bağlanmıştır. C_2 nin değeri 50 Hz güç frekansında büyük empedans, iletişim frekanslarında ise küçük empedans gösterecek şekilde seçilir. Şekil 5.4'de paralel bağlaşma ile iletim devresinin eşdeğeri verilmiştir.



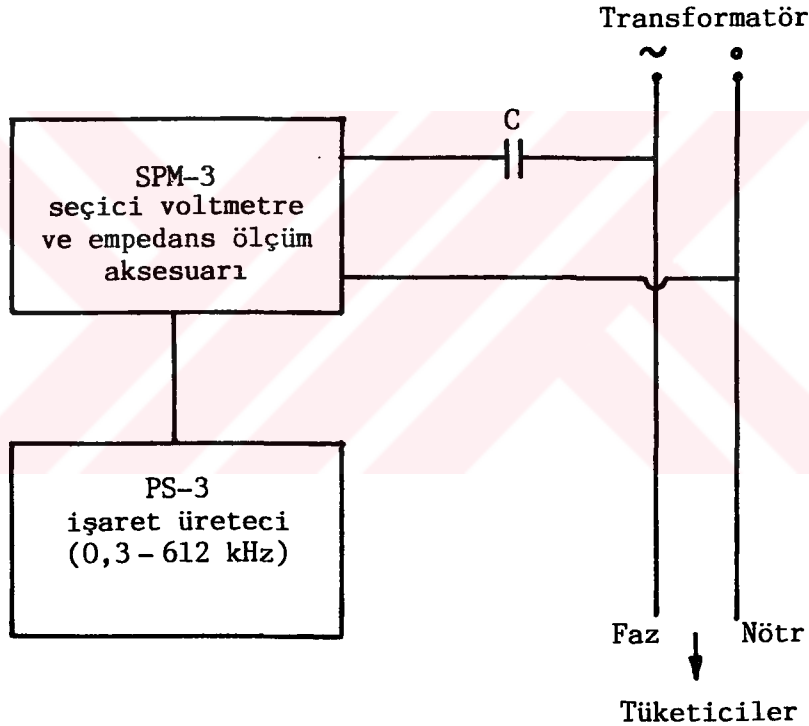
Şekil 5.4. Paralel bağlaşma ile işaret iletim devresinin eşdeğeri.

Paralel bağlaşmada işaret üreticine; alıcı, dağıtım transformatörü ve generatörün empedansları paralel gelir. Bu yüzden işaretin daha yüksek verimde iletilebilmesinin sağlanması için bu empedansların bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca iletişim frekanslarındaki akımın bir kısmının,

dağıtım transformatörü ve generatöre doğru akması da bunların empedanslarının bilinmesini gerekli kılmaktadır.

5.2. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı Empedansının Ölçümü

Enerji dağıtım hattı empedans ölçümünde iletişim frekanslarındaki işaretin hatta verilişi C bağlama kapasitesi üzerinden sağlanmaktadır. Şekil 5.5'de ölçmenin yapılışı ve kullanılan aygıtlar şematik olarak gösterilmiştir. John A. MALAC ve John R. ENGTROM, bazı Avrupa ülkelerinin 0,02-30 MHz frekanslardaki enerji hattı empedanslarını benzer yolla ölçmüşlerdir [29].

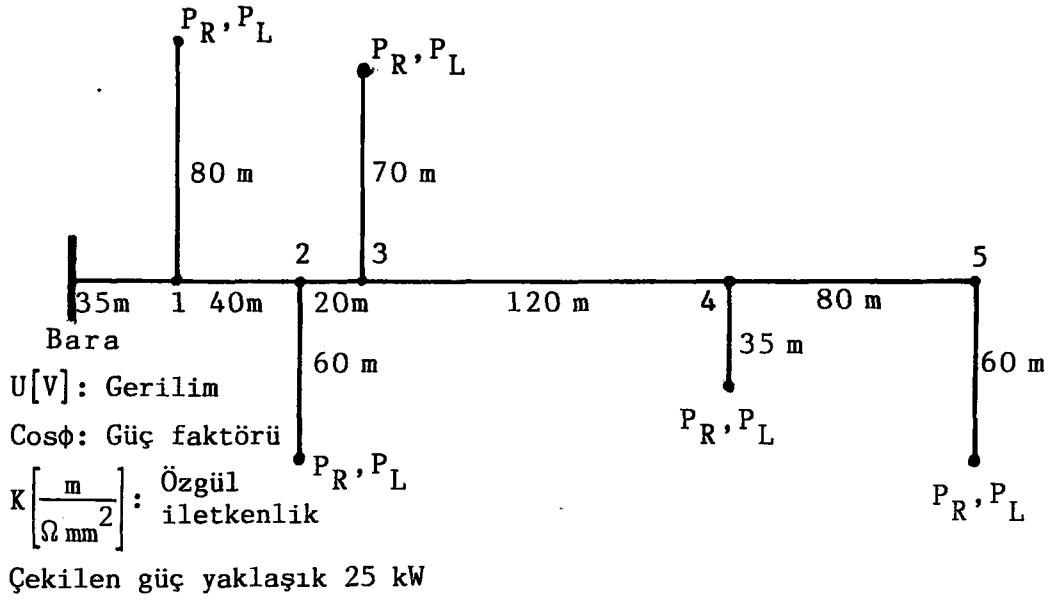


Şekil 5.5. Enerji dağıtım hattı empedansının ölçülmesi.

Ölçmede kullanılan aygıtlar, 0,3 - 612 kHz frekanslarda çalışan işaret üretici ile seçici voltmetre ve empedans ölçüm aksesuarlarıdır.

Bara empedansı ölçülen dağıtım hattı modeli, Şekil 5.6'da gösterildiği gibi, bir faza indirgenmiş ve ana dağıtım hattına bağlı beş koldan oluşmaktadır. Ayrıca

dağıtım hattına bağlı kolların uzunlukları da yaklaşık olarak bilinmektedir. Dağıtım hattına bağlı yüklerden



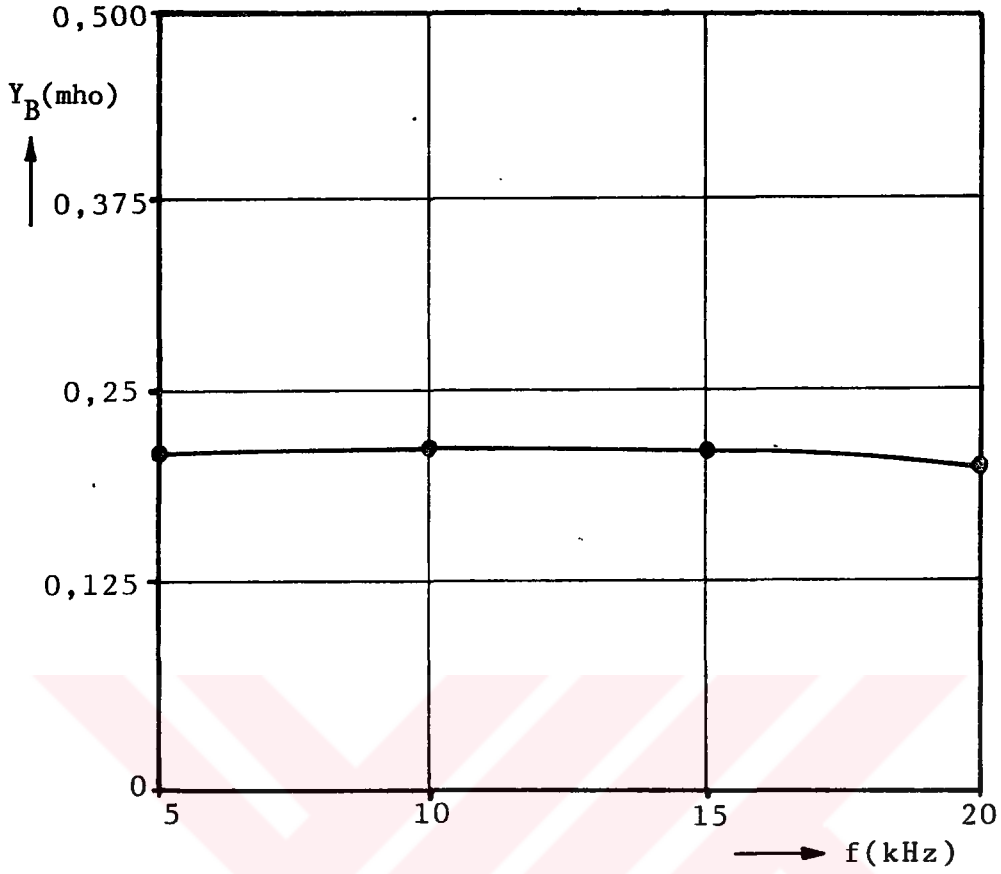
Şekil 5.6. Ölçme yapılan dağıtım hattı modeli.

çekilen güçler ohmik ve endüktif olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Endüktif güç nedeniyle güç faktörünün de ayrıca bilinmesi gerekmektedir. Ölçme noktası olarak transformatörün çıkışındaki yük barası kullanılmıştır. Ölçme anında dağıtım hattından çekilen gücün yaklaşık 25 kW kadar olduğu görülmüştür. Tablo 5.1'de hattın ölçülen admitans değerlerinin frekansla değişimleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Bara admitansı ölçü değerlerinin frekansla değişimleri.

f(kHz)	5	10	15	20
$Y_B(\text{mho})$	0,21	0,23	0,22	0,20

Tablo 5.1'den alınan değerlerle bara admitansının frekansla değişimi Şekil 5.7'de çizilmiştir.



Şekil 5.7. Hattın admitansının frekansla değişimi.

Hattın empedans ölçüm değerlerinden yararlanılarak hattaki dönüş kaybı faktörünün belirlenmesi mümkündür. Z_R : ölçülen empedans, Z_0 : standart direnç olmak üzere; hat sonundaki yansımaya katsayısı,

$$k_R = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0}$$

olur. Yansımaya katsayısı k_R , hat sonundaki empedans uygun-suzluğunun bir ölçüsüdür. Empedans uygun-suzluğunu ifade eden ve dB olarak

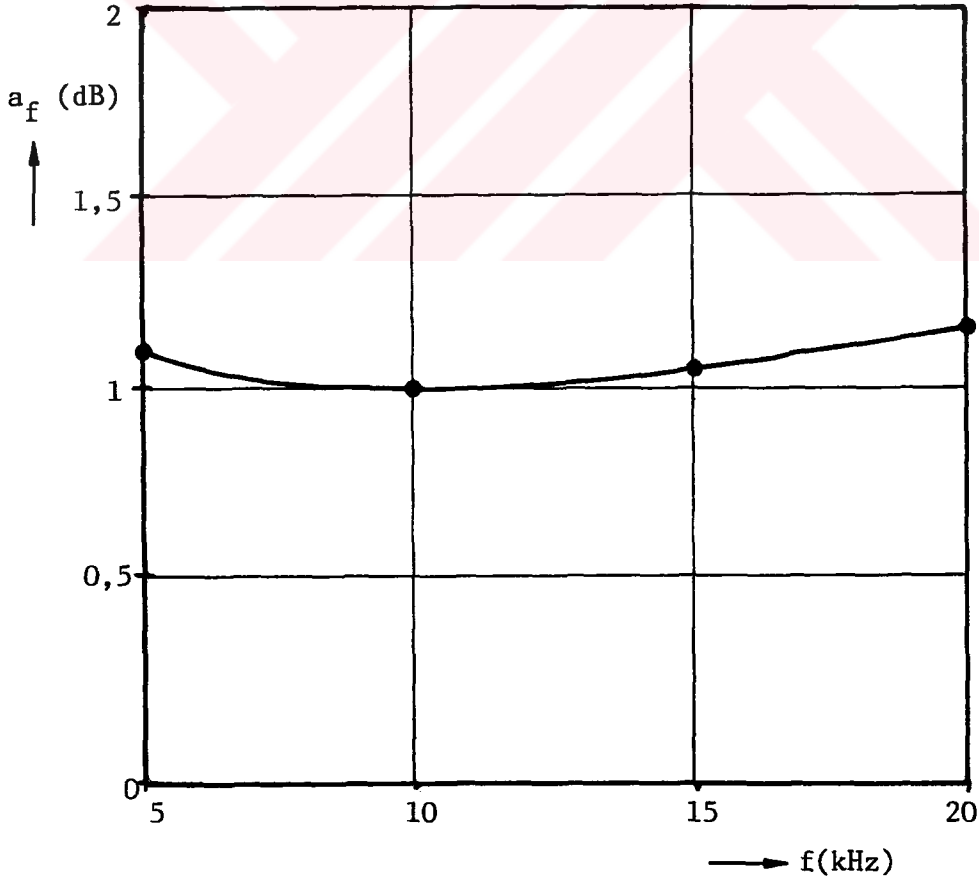
$$a_f(\text{dB}) = 20 \log\left(\frac{1}{k_R}\right) = 20 \log \frac{Z_R + Z_0}{Z_R - Z_0} \quad (5.1)$$

tanımlanan a_f katsayısına uygun-suzluk zayıflaması veya

dönüş kaybı faktörü denir. İyi bir empedans uygunluğu için a_f nin mümkün merteye büyük olması istenir. İdeal halde ($Z_R=Z_0$ için) a_f sonsuzdur. Ölçmede Z_0 olarak 75 ohm luk standart direnç kullanılmıştır. Z_R ölçülen hat empedans veya bara empedans değerleridir. Tablo 5.2'de ölçülen empedans değerlerinden ve (5.1) bağıntısından yararlanarak hesaplanan a_f dönüş kaybı faktörünün frekansla değişim değerleri verilmiştir. Şekil 5.8'de dönüş kaybı faktörünün frekansla değişimi çizilmiştir.

Tablo 5.2. Dönüş kaybı faktörünün frekansla değişim değerleri.

f(kHz)	5	10	15	20
a_f (dB)	1,1	1	1,05	1,15



Şekil 5.8. Dönüş kaybı faktörünün frekansla değişimi.

5.3. Dağıtım Transformatörleri Ölçümleri

Dağıtım transformatörünün iletişim frekanslarındaki empedans değişimlerinin analizi amacıyla Şekil 4.6'da verilen iki kapılı model kullanılmıştır. Bu model de tanımlanan büyüklükler deneysel ölçümlerle belirlenmektedir. Ölçmede kullanılan aygıtlar işaret üretici (0-1 MHz) ve kuvvetlendiricisi ile iki kanallı 20 MHz'lik osiloskop ve yardımcı ölçme aksesuarlarıdır. Ölçme ile iletişim büyüklüklerinin belirlenmesinde giriş çıkış değişkenleri olan akım ve gerilimlerin ölçülmesi yeterli görülmüştür. Ölçülen değerler osiloskoptan okunan değerlerdir.

5-20 kHz iletişim frekansları için belirlenen koşullar altında yani sekonder kısa devre iken I_1 ve V_1 in ölçümü ile

$$Y_{11} = \frac{I_1}{V_1}$$

Sekonder kısa devre iken I_2 ve V_1 in ölçümü ile

$$Y_{21} = \frac{I_2}{V_1}$$

Primer kısa devre iken I_2 ve V_2 nin ölçümü ile

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2}$$

Primer kısa devre iken I_1 ve V_2 nin ölçümü ile

$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2}$$

kritik iletişim büyüklükleri belirlenebilir.

BÖLÜM 6

SAYISAL VE DENEYSEL UYGULAMALAR

6.1. İletişim Frekanslarında Dağıtım Hattı Bara Empedansının Matematiksel Olarak Bulunması ve Ölçme Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Dağıtım hattı empedansının matematiksel olarak hesaplanabilmesi amacıyla bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritma Şekil 5.6'daki ölçme yapılan hattın empedansının hesabında kullanılmıştır. Empedansı hesaplanmak istenen hatta bağlı kollarda, çekilen güçlerin minimum ve maksimum yüklenme koşullarına bağlı olarak değiştiği kabul edilmiştir. Ayrıca bara empedansı hesaplanan ve ölçülen hatta bağlı direnç, endüktans gibi devre elemanlarının deri olayı nedeniyle frekansla değişimleri oldukça küçüktür. Çünkü alçak frekanslarda ($f \leq 20$ kHz) deri olayının etkisi ihmal edilebilmektedir [18]. Bara empedansı hesabı için geliştirilen ve Şekil 4.6'da basit akış şeması verilen algoritmaya ilişkin bilgisayar programı ve çıktıları Ek-A'da verilmiştir.

Algoritmadaki işlem sırası aşağıdaki gibidir. Gerilim U , omik yükün çektiği yük P_R ile gösterilirse yükün direnci

$$R = \frac{U^2}{P_R} [\Omega] \quad (6.1)$$

endüktif yükün çektiği aktif güç P_L , güç faktörü $\cos \phi$ için endüktif yük empedansının modülü

$$|Z_L| = \frac{U^2}{P_L} \cos \phi [\Omega] \quad (6.2)$$

formülleri ile hesaplanmaktadır. Buradan endüktif yükün

gerçek bileşeni

$$R_L = |Z_L| \cdot \cos\phi \quad (6.3)$$

ile, sanal bileşeni

$$X_L = |Z_L| \cdot \sin\phi \quad (6.4)$$

ile, endüktif yük empedansı

$$Z_L = R_L + j X_L \quad (6.5)$$

olarak elde edilir. Toplam yük empedansı

$$Z_y = \frac{Z_L \cdot R}{Z_L + R} \quad (6.6)$$

şeklinde bulunabilir.

$C[m]$; kol uzunluğu, $K \left[\frac{m}{\Omega \text{ mm}^2} \right]$; özgül iletkenlik,
 $S[\text{mm}^2]$: kol kesiti olmak üzere kolların direnci

$$R_k = \frac{C}{K \cdot S} [\Omega] \quad (6.7)$$

ile, endüktansı

$$L_k = \frac{10^{-7}}{2} \cdot C [H] \quad (6.8)$$

ile, 50 Hz için kol reaktansı

$$X_k = 100\pi \cdot L_k \cdot [\Omega] \quad (6.9)$$

ile, kol empedansı

$$Z_k = R_k + j X_k \quad (6.10)$$

olarak hesaplanır. Buradan 50 Hz için toplam kol empedansı veya düğüm admitansı için kol empedansı ile yük admitansı

toplanarak

$$Z = Z_k + Z_y \quad [\Omega] \quad (6.11)$$

şeklinde hesaplanır. Z empedansının modül değeri

$$|Z| = \sqrt{(\text{Re}[Z])^2 + (\text{Im}[Z])^2} \quad (6.12)$$

ile, bunun tersinin alınması ile de toplam düğüm admitansı

$$|Y| = \frac{1}{|Z|} \quad [1/\Omega] \quad (6.13)$$

olarak bulunur.

İletişim frekanslarındaki düğüm admitansının bulunuşunda ise aşağıdaki işlem sırası izlenir.

50 Hz için yukarıda hesaplanan X_L reaktansı yardımıyla endüktif yükün L_f endüktansı

$$L_f = \frac{X_L}{100\pi} \quad (6.14)$$

den hesaplanarak f_m iletişim frekanslarındaki X_{fL} reaktansı

$$X_{fL} = 2\pi f_m L_f \quad [\Omega] \quad (6.15)$$

olarak hesaplanır. Buradan endüktif yük empedansı

$$Z_{fL} = R_L + j X_{fL} \quad (6.16)$$

ile toplam yük empedansı da

$$Z_{fy} = \frac{Z_{fL} \cdot R}{Z_{fL} + R} \quad (6.17)$$

formülleriyle elde edilir. f_m frekansları için kol reaktansı; L_k kol endüktansı olmak üzere

$$X_{fk} = 2\pi f_m L_k \quad [\Omega] \quad (6.18)$$

ile hesaplanarak, kol empedansı

$$Z_{fk} = R_k + j X_{fk} \quad (6.19)$$

olarak elde edilir. Toplam düğüm empedansı; yük empedansı ile kol empedansı toplanarak

$$Z_f = Z_{fy} + Z_{fk} \quad [\Omega] \quad (6.20)$$

şeklinde bulunur. Z_f empedansının modül değeri

$$|Z_f| = \sqrt{(\text{Re}[Z_f])^2 + (\text{Im}[Z_f])^2} \quad [\Omega] \quad (6.21)$$

ile, bunun tersinin alınması ile de toplam düğüm admitansı

$$|Y_f| = \frac{1}{|Z_f|} \quad |1/\Omega| \quad (6.22)$$

olarak elde edilir.

$M[m]$ hat uzunluğu, $K \left[\frac{m}{mm^2} \right]$: özgül iletkenlik, $S[mm^2]$ hat kesiti olmak üzere; hattın direnci:

$$R_\ell = \frac{M}{K \cdot S} \quad [\Omega] \quad (6.23)$$

ile, hattın endüktansı

$$L = \frac{10^{-7}}{2} \cdot M \quad [H] \quad (6.24)$$

ile hesaplanarak, hattın reaktansı

$$X_{\ell L} = 2\pi f_m \cdot L \quad (6.25)$$

olarak bulunur. Hattın empedansı da

$$|Z_{f\ell}| = \sqrt{R^2 + X_{\ell L}^2} \quad (6.26)$$

ile hesaplanır. Bunun tersi alınarak hattın admitansı

$$|Y_{f\ell}| = \frac{1}{|Z_{f\ell}|} \quad (6.27)$$

olarak elde edilir.

Yukarıda elde edilen düğüm admitansları ve hat admitanslarından yararlanarak 5 kollu dağıtım hattı için

$$\begin{bmatrix}
 Y_{f\ell}(1) & -Y_{f\ell}(1) & 0 & 0 & 0 \\
 -Y_{f\ell}(1) & Y_{f\ell}(1)+Y_f(1)+Y_{f\ell}(2) & -Y_{f\ell}(2) & 0 & 0 \\
 0 & -Y_{f\ell}(2) & Y_{f\ell}(2)+Y_f(2)+Y_{f\ell}(3) & -Y_{f\ell}(3) & 0 \\
 0 & 0 & -Y_{f\ell}(3) & Y_{f\ell}(3)+Y_f(3)+Y_{f\ell}(4) & -Y_{f\ell}(4) & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -Y_{f\ell}(4) & Y_{f\ell}(4)+Y_f(4)+Y_{f\ell}(5) & -Y_{f\ell}(5) \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -Y_{f\ell}(5) & Y_{f\ell}(5)+Y_f(5)
 \end{bmatrix}$$

matrisi oluşturulur. Bu matris daha önceki bölümde verilen (4.13) bağıntısıyla bara admitansı hesaplanır.

Bölüm 5, Şekil 5.6'daki dağıtım hattı için admitans matrisi bilgisayar yardımıyla sayısal olarak Tablo 6.1'de verilen değerler için hesaplanmıştır. Hesaplarda hattın özgül iletkenliği, güç faktörü ve gerilimi büyük yaklaşıklıkla sabit değerler olarak gözönüne alınmıştır.

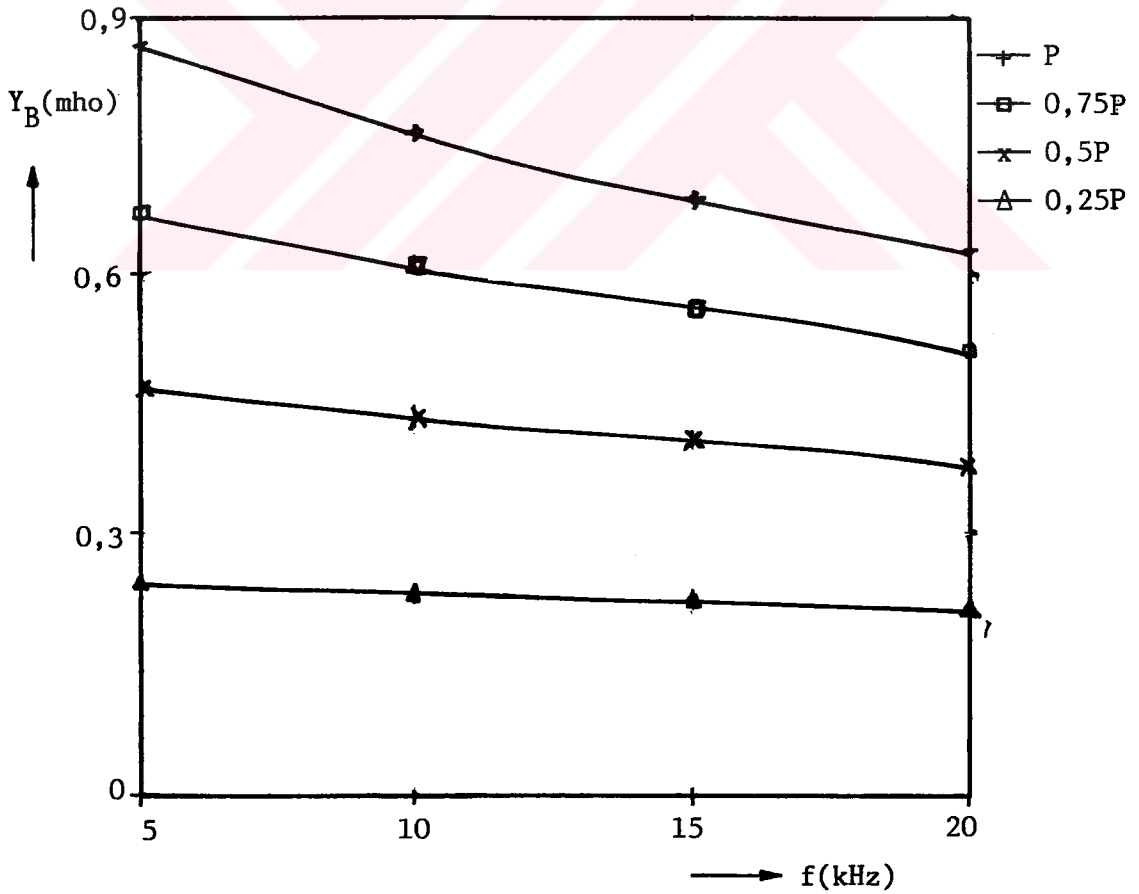
Tablo 6.1. Dağıtım hattı empedansının hesabında kullanılan değerler.

P_R Omik yükün çektiği güç W	P_L Endük- tif yükün çektiği güç W	C Kol uzunluğu m	M Hat uzunluğu m	S Hat Kesiti (mm ²)	K Kol Kesiti (mm ²)
10000	10000	80	35	42,49	21,14
12000	12000	60	40	42,49	21,14
8000	8000	70	20	42,49	21,14
10000	10000	35	120	42,49	21,14
8000	8000	60	80	42,49	21,14

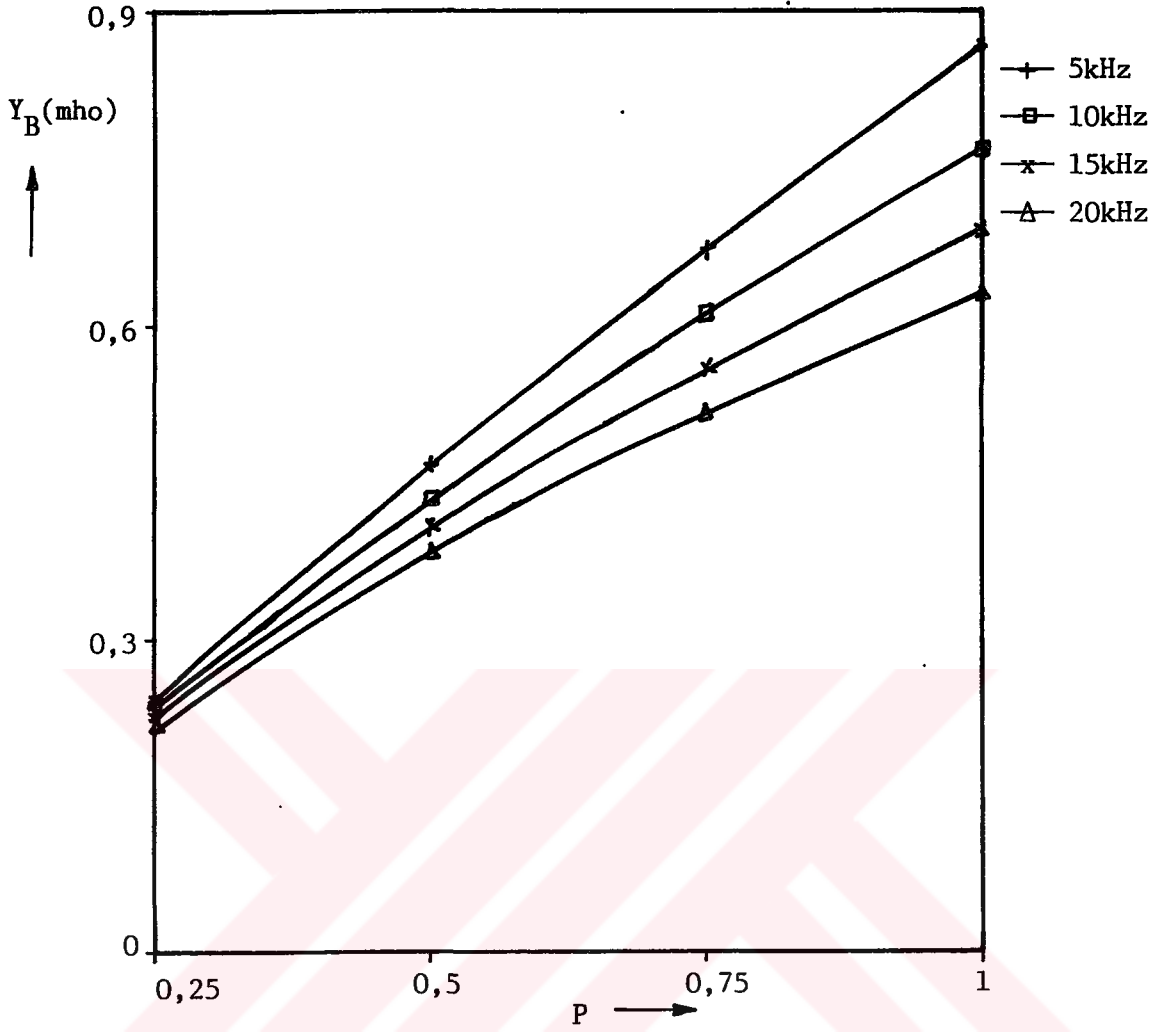
Tablo 6.1'deki güç değerleri hattan çekilebilecek maksimum güç değerleridir. Bu değerler için 5-20 kHz frekanslarda elde edilen admitans matrisleri bilgisayar yardımıyla hesaplanmış ve çıktıları Ek-1'de verilmiştir. Ayrıca çekilen güç değerlerinin % 75, % 50 ve % 25 değerlerine karşı düşen admitans matrisleri de hesaplanmıştır. Bu admitans matrislerinin indirgenmesiyle elde edilen bara admitans değerlerinin 5-20 kHz frekanslardaki değişimleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Şekil 6.1'de, Tablo 6.2'den alınan değerlerle bara admitansının frekansla değişimleri çizilmiştir. Ayrıca farklı güç değerlerindeki bara admitans değerlerinin aynı frekanslardaki değişimleri de Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Güç ve frekans değişimlerine karşı düşen Y_B bara admitans değerleri.

$f(\text{kHz})$	5	10	15	20
$Y_{B1} [\text{mho}]$ ($P_R + P_L$)	0,856	0,776	0,710	0,655
$Y_{B2} [\text{mho}]$ ($0,75 P_R + 0,75 P_L$)	0,664	0,614	0,571	0,535
$Y_{B3} [\text{mho}]$ ($0,5 P_R + 0,5 P_L$)	0,459	0,434	0,412	0,392
$Y_{B4} [\text{mho}]$ ($0,25 P_R + 0,25 P_L$)	0,238	0,31	0,224	0,218



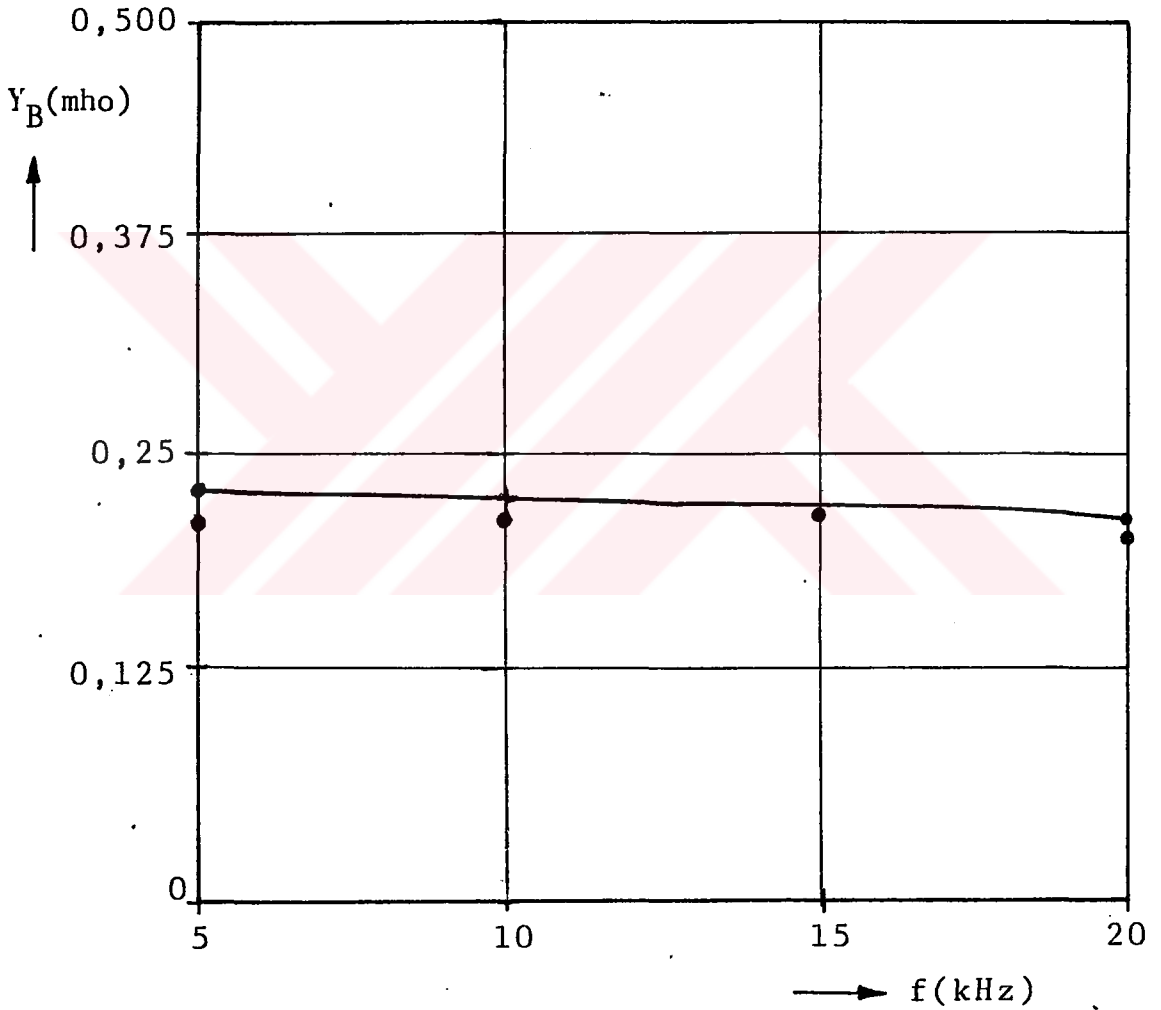
Şekil 6.1. Y_B admitans değerinin farklı güçler için frekansla değişimleri.



Şekil 6.2. Y_B admitans değerinin farklı frekanslar için güce bağlı değişimleri.

Şekil 6.1'de 0,25 P değeri için yani yaklaşık 24 kW güç çekilmesi durumuna karşılık düşen eğri ile, ölçme yolu ile bulunan eğriler karşılaştırılmıştır. Eğrilerin birbirine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Özellikle frekans yükseldikçe endüktif reaktansın artması nedeniyle ölçü ve hesap değerlerinin iyice yaklaştığı belirgindir. Şekil 6.3'de hesap ile ölçü değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Alçak frekanslarda ölçü değerlerinin hesap değerlerinden bir miktar farklı çıkmasının nedeni hesaplarda kapasitif etkilerin ihmal edilmesiyle açıklanabilir. Ayrıca frekans yükseldikçe empedans değerinin artma gösterdiği, hattan çekilen gücün artması :

durumunda ise, empedans değerinin düştüğü hesapla bulunan eğrilerden görülebilir. Hattan daha büyük değerlerde güç çekilmesi durumunda, ölçme yapma olanağı gerek ölçme aygıtlarının yetersizliği, gerekse ölçülen sistemin yüksek güç çekilmesi durumundaki belirsizliği ve koşulların elverişsizliği nedeniyle elde edilememiştir. Ancak yine de ölçmenin yapıldığı anda çekilen güce bağlı olarak ölçülen empedans değerleriyle, hesapla bulunan değerlerin karşılaştırma için yeterli olacağı görülmektedir.



Şekil 6.3. Dağıtım hattından 24 kW güç çekilmesi durumunda-
daki bara admitansının, ölçü değerleriyle
karşılaştırılması.

6.2. Dağıtım Transformatörleri Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

Dağıtım transformatörlerinin 5-20 kHz iletişim frekanslarındaki davranışını belirlemek amacıyla yapılan deneyler üç farklı güçteki transformatör üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma yapılan transformatörler 50 kVA, 100 kVA ve 250 kVA güçlerinde olup, uygulamalarda en çok kullanılan transformatörlerdendir. Tablo 6.3'de ölçme ile kritik iletişim büyüklükleri belirlenen transformatörlerin etiket değerleri verilmiştir.

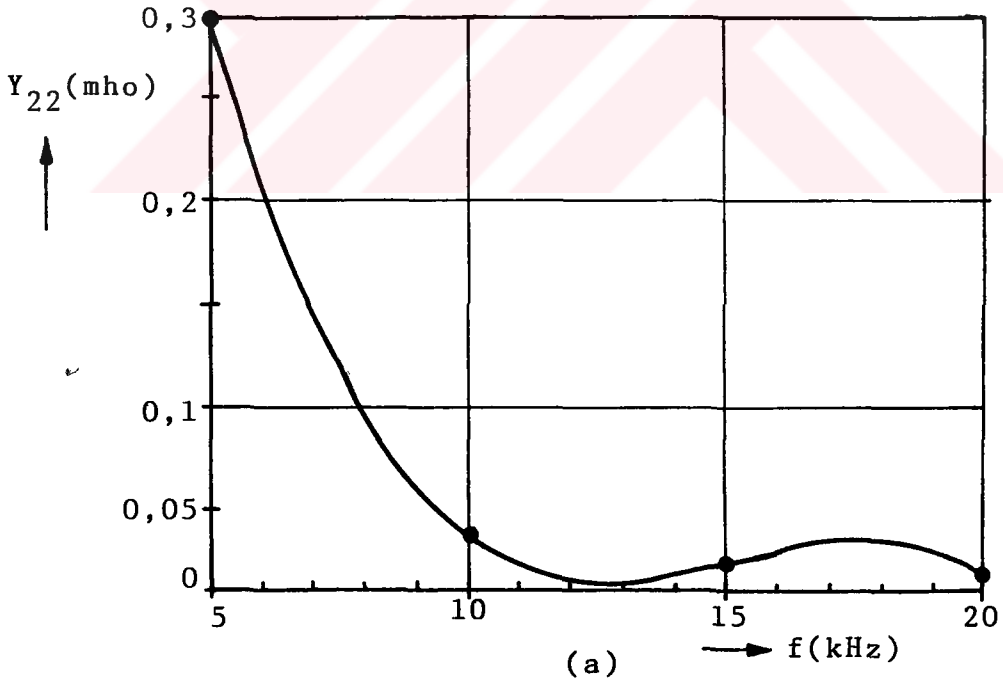
Tablo 6.3. Deneysel çalışma yapılan transformatörlerin etiket değerleri.

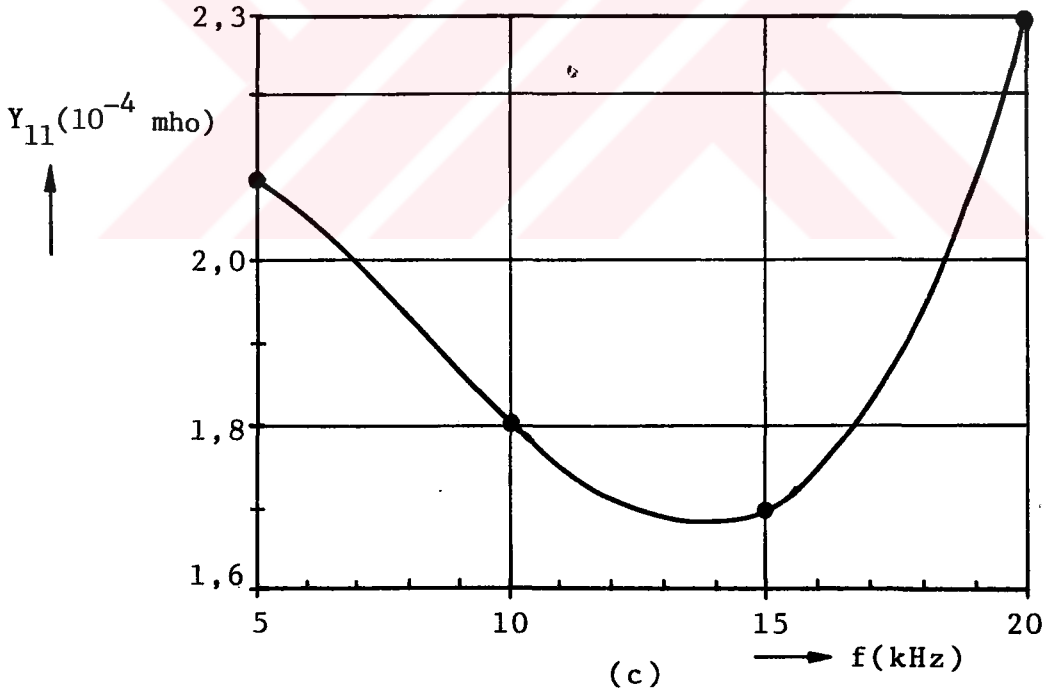
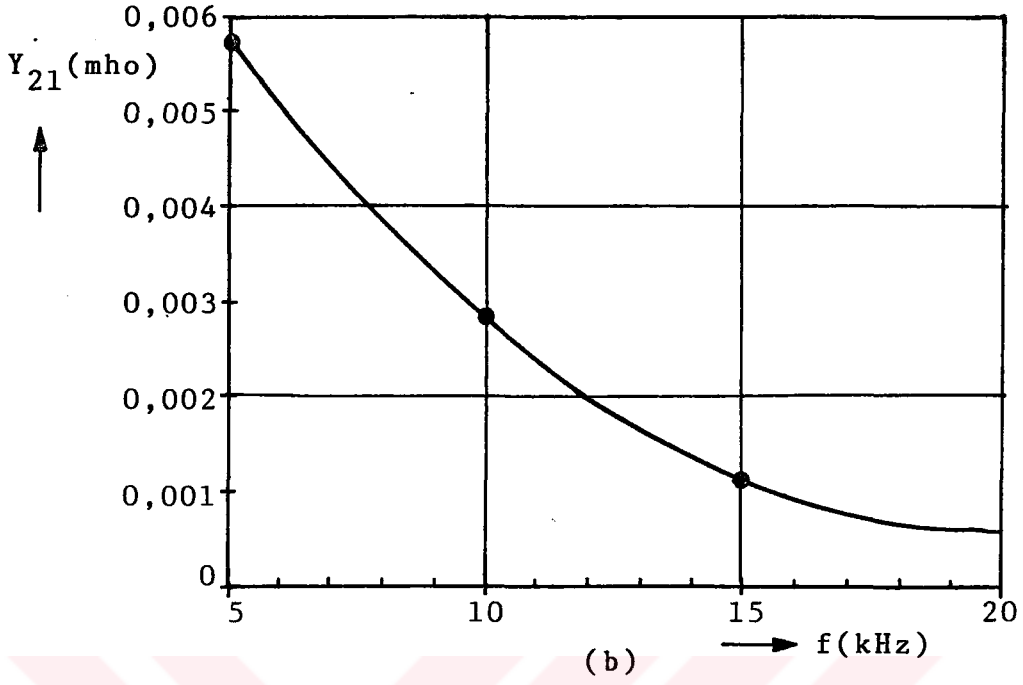
<u>Transformatör Gücü</u>	<u>Yapımcı</u>	<u>Giriş-çıkış gerilim ilişkileri</u>	<u>Seri numaraları</u>
50 kVA	ETİTAŞ	15 kV/400 V Yz 5	28542
100 kVA	AEG ETİ	6,3 kV/400 V DY 11	DT 0580
250 kVA	ETİTAŞ	15 kV/400 V DY 11	32522

Transformatörlerle ilgili ölçülen kritik iletişim büyüklükleri Tablo 6.4'de verilmiştir. Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da 50 kVA, 100 kVA ve 250 kVA güçlerindeki transformatörlerin iletişim büyüklüklerinin frekansla değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Ölçme ile bulunan kritik iletişim büyüklüklerinin frekansla değişim değerleri.

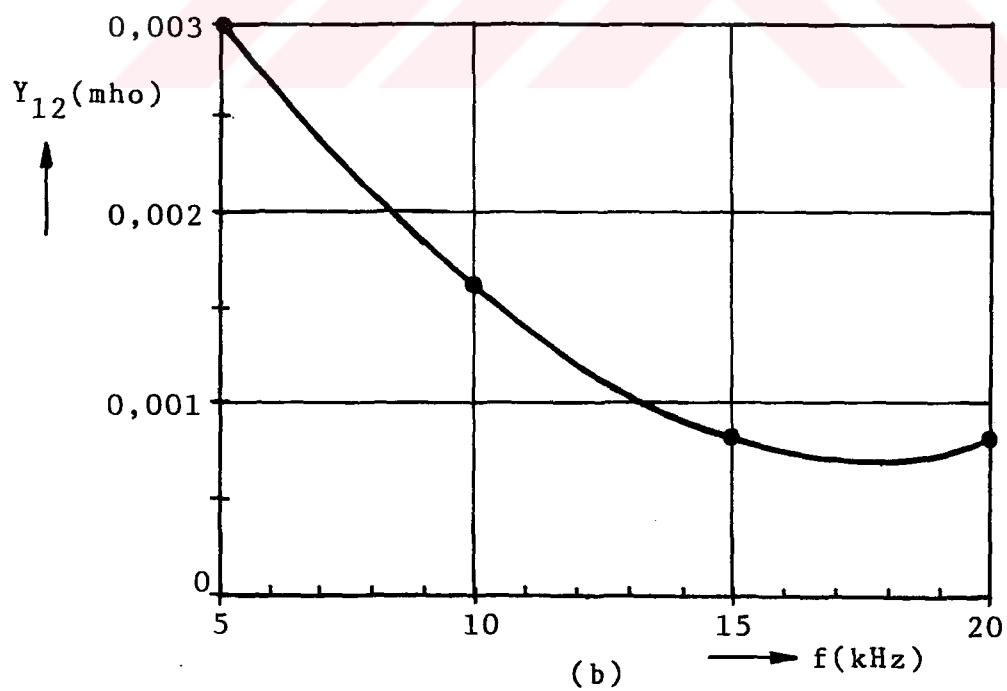
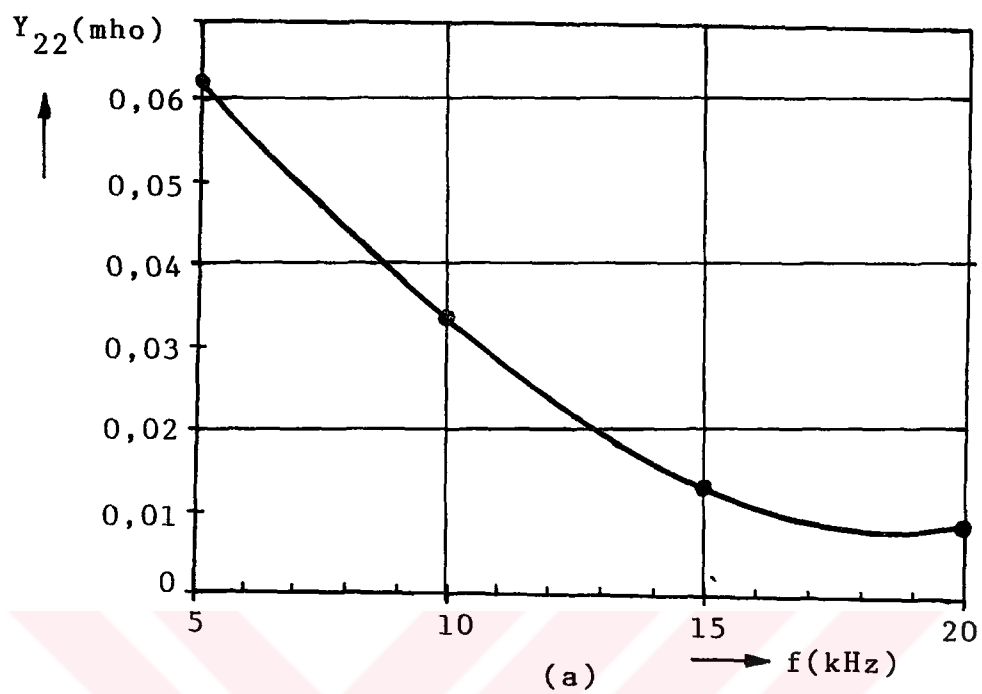
		5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
50 kVA	Y_{22} [mho]	0,29	0,036	0,023	0,016
	Y_{12} [mho]	0,0057	0,0028	0,0011	0,0006
	Y_{11} [10^{-4} mho]	2,1	1,8	1,7	2,3
100 kVA	Y_{22} [mho]	0,062	0,033	0,013	0,009
	Y_{12} [mho]	0,003	0,0016	0,0008	0,0008
	Y_{11} [10^{-4} mho]	2	1,6	3,3	4,1
250 kVA	Y_{22} [mho]	0,14	0,08	0,05	0,04
	Y_{12} [mho]	0,0028	0,0016	0,001	0,0008
	Y_{11} [10^{-4} mho]	1,4	2	2,5	3,75

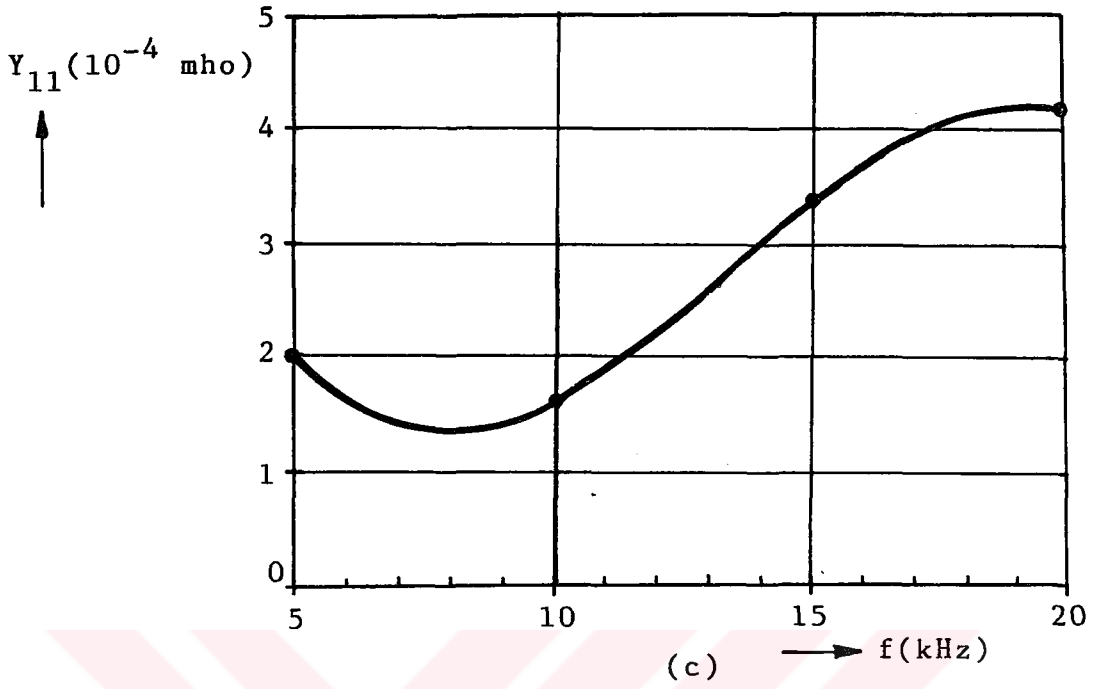




Şekil 6.4. 50 kVA'lık dağıtım transformatörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

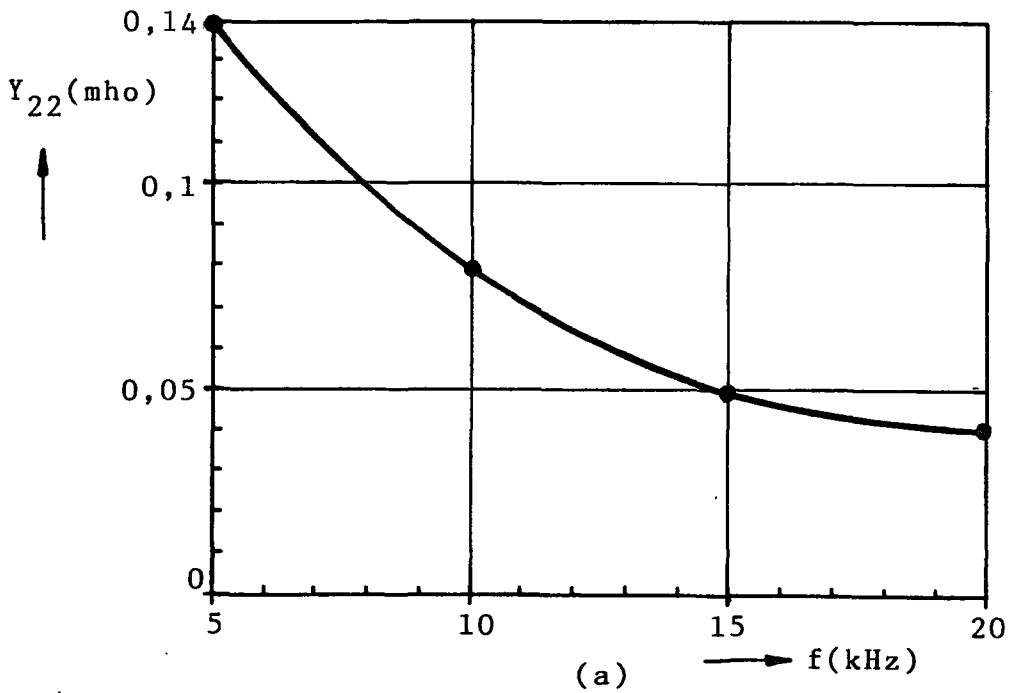
- a) Y_{22} nin değişimi,
- b) Y_{21} (Y_{12}) nin değişimi,
- c) Y_{11} in değişimi.

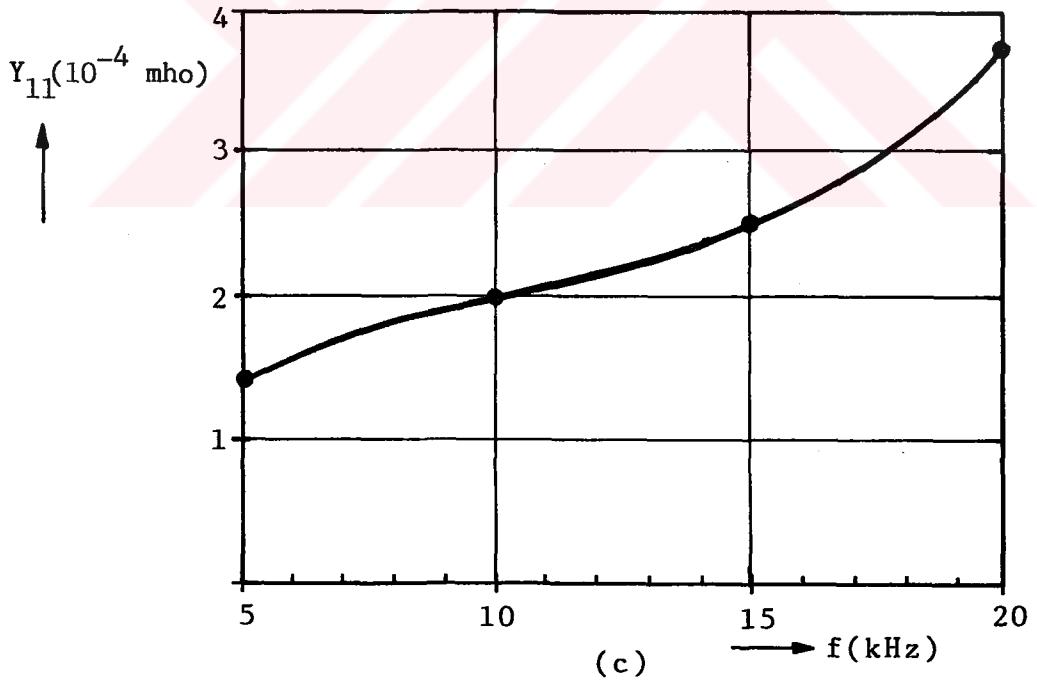
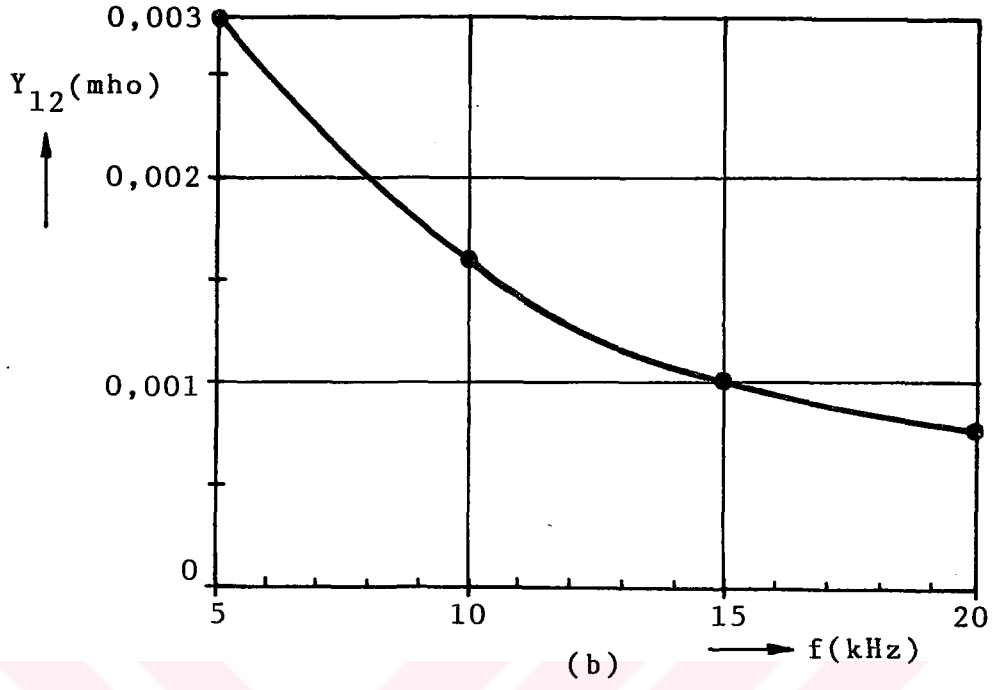




Şekil 6.5. 100 kVA'lık dağıtım transformatörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

- a) Y_{22} nin değişimi,
- b) Y_{21} (Y_{12}) nin değişimi,
- c) Y_{11} in değişimi.





Şekil 6.6. 250 kV'lık dağıtım transformörünün admitans değerlerinin frekansla değişimi.

- a) Y_{22} nin değişimi,
- b) Y_{21} (Y_{12}) nin değişimi,
- c) Y_{11} in değişimi.

Dağıtım transformatörleri ölçüleriyle belirlenen kritik iletişim büyüklüklerinin değerlendirilmesinden kısaca aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Sekonderden primere akım geçiş oranı

Akım geçiş oranının Y_{12}/Y_{22} oranı ile orantılı olduğu ölçülen büyüklüklerden çıkarılabilir. Ayrıca çalışılan alçak frekanslarda Y_{12}/Y_{22} oranının N_s/N_p sarım sayısı oranına çok yakın çıktığı görülmüştür. Ancak gerilim oranının, geçiş empedansı ve geçiş iletkenliğinin, sekonder ve primer empedanslarının genliklerine bağımlılığından dolayı çok doğru olmadığı açıktır.

- Primerden sekondere gerilim geçiş oranı

Ölçülen büyüklüklerden ve iki kapılı model için verilen denklemlerden yararlanılarak gerilim geçiş oranının $n=Y_{22}/Y_{12}$ ile orantılı olduğu ya da primerden sekondere olan sarımların oranı ile orantılı olduğu bulunabilir.

- Primer empedansı

Transformatör primer admitansı Y_{11} büyük ölçüde besleme hattının kayıplarına bağlıdır. Transformatörlerin yüksek empedanslı olarak görünmesi istenen bir özellik olup, yüksek empedans göstermeleri oranında da transformatörler arası iletişimin kolaylaşacağı ifade edilebilir.

- Sekonder Empedansı

Transformatörün sekonder empedansı, iki yöllü iletimde işaretin hatta yönlendirilişi bakımından kritik bir büyüklüktür. İletişim frekanslarındaki işaretin genliği sistemin yapısından gelen sınırlamalarla belirlenir. Alıcı duyarlılığı, modülasyon teknikleri gibi özellikler de ayrıca işaret seviyeleri üzerinde etkilidir. Sekonder empedansı genel olarak frekansla artar. Dağıtım transformatörü sekonderinden belirli seviyede iletişim frekanslarında akım akıtabilmek için ideale yakın bir akım kaynağı kullanılmalıdır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji dağıtım sistemi ile ilgili çalışmalar, mevcut sistemler yerine daha ekonomik ve modern sistemler tasarlamaya veya mevcut sistem üzerinde yapılabilecek değişikliklerle sistemi daha kullanışlı ve verimli hale getirmeye yöneliktir. İleriye dönük araştırmalar daha çok, otomasyon amaçlı olup, iletişimin dağıtım sistemi yardımıyla gerçekleştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmada, dağıtım sistemi üzerinden gerçekleştirilmesi düşünülen iletişimde empedans değişimlerinin etkisi matematiksel ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla dağıtım sisteminin değişik yüklenmelerindeki empedansı matematiksel olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için özgün bir bilgisayar algoritması geliştirilmiştir. Hesapla bulunan sonuçlar ölçü sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca daha önceki küçük güçlerde yapılan çalışmalardan [3],[4] farklı olarak 50 kVA, 100 kVA ve 250 kVA gibi dağıtım sistemlerinde en çok kullanılan transformatörlerin empedans değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalardan çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tüketici yükleri, genellikle omik ve endüktif bileşenlerden oluşur. Elektrikli ısıtıcılar, fırınlar ve akkor flamanlı lambalar ile yüksek güçlü cihazların dirençleri omik yük, motorlar, floresan lambalar endüktif yük durumundadır. Ayrıca bazı ev aletlerinin kapasiteleri de kapasitif yükün oluşmasına neden olurlar. Genellikle

omik ve endüktif yükler paralel bağlanırlar. Bu nedenle tüketici empedansı büyük oranda omik yükler tarafından belirlenir. Ayrıca transformatörün sekonder empedansı, tüketici empedansı üzerinde etkili olmaktadır.

2. Dağıtım hattı empedansının matematiksel hesabında kapasitif yükler ihmal edilmiştir. Belirli güç değeri için empedans hesabında yalnız omik ve endüktif yük değerlerinden yararlanılmıştır. Bu durumda empedans değerinin frekansa bağlı olarak artma gösterdiği görülmektedir.

3. Belirli güç değeri için dağıtım hattı empedans ölçü değerleri, hesap sonuçlarıyla karşılaştırılırsa, alçak frekanslardaki ölçü değerlerinin bir miktar daha büyük kaldığı ayrıca ölçü değerlerinin 10-15 kHz frekanslar arasında bir minimumdan geçtiği görülmektedir. Bu durum hesaplarda ihmal edilen kapasitif yüklerin 10-15 kHz frekansları arasında etkili olması ve seri rezonans oluşturması ile açıklanabilir. Frekans yükseldikçe ölçü değerleriyle hesap değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir.

4. Alçak frekanslarda dirençli ısıtıcı yükleri en önemli tüketici empedans değişimine neden olurlar. Yüklerin endüktif motorlardan oluşması durumunda tüketici empedanslarında önemli bir değişme olmaz. Frekans yükseldikçe motorların reaktans değerleri büyür, dolayısıyla reaktif güç bileşeni artar.

5. Tüketiciiyi dağıtım transformatörüne bağlayan hatların direnç ve endüktans değerleri hesaplarda görüldüğü gibi genellikle küçüktür. Alçak gerilimli hatların kapasiteleri de ihmal edilebilecek düzeylerde-dir.

6. Günün değişik zamanlarındaki enerji tüketimine bağlı olarak hattın empedansının değiştiği eğrilerden görülmektedir. Empedansın değişim göstermesi dağıtım hattı

üzerinden iletişimi olumsuz yönde etkiler. Yani iletişimdeki verim enerji tüketimine bağlı olarak değişim gösterir.

7. Hattın empedansının genellikle küçük değerlerde olması ve enerji tüketimine bağlı olarak da değişmesi, hatta işaret gönderen işaret kaynağının iç direnci küçük akım kaynağı olarak düzenlenmesini gerekli kılar.

8. Dağıtım transformatörlerinin empedans değişimleriyle ilgili ölçülen değerler, transformatörlerin gücü büyüdükçe tel kesitlerinin büyümesinin sonucu sargılar arası kapasitif etkinin artmaya başladığını göstermektedir.

9. Transformatörlerle ilgili elde edilen eğrilerden çıkarılan bir sonuç da tüm admitans değerlerinin frekansla ters orantılı olduğudur. Ancak primer admitansı farklı bir özellikte anti rezonans bir karakteristik gösterir. Anti rezonans bir özellik göstermesinin nedeni kaçak reaktans ile sargılar arası kapasitenin paralel rezonans oluşturmastır.

10. Büyük güçlü sanayi tüketicileri enerjilerini genellikle bir veya birkaç dağıtım hattı ile sağlarlar. Küçük güçlü tüketicilerin bağlandığı dağıtım hatlarında bu tür hatlara göre daha çok olumsuz etki vardır. Buna göre büyük güçlü sanayi tüketicilerini kontrol etmek, sayımlarını okumak gibi benzeri işlemler daha kolay gerçekleştirilebilecektir. Bugün bazı Avrupa ülkeleri dağıtım şebekesini kontrol etmek amacıyla dağıtım merkezleri arasındaki iletişimi dağıtım hattı üzerinden gerçekleştirmektedirler. Türkiye'deki mevcut enerji dağıtım şebekesinin kontrolü orta gerilim hattı üzerinden iletişimle sağlanabilir. Ayrıca aynı şekilde büyük güçlü sanayi tüketicilerinin kontrol edilmesi mümkündür.

11. Enerji dağıtım hattı üzerinden iletişimde hangi modülasyon tipinin daha uygun olduğu, kontrol ve ölçme amaçlı sayısal iletişimdeki iletişim hızının saptanması ve iletişimi olumsuz yönde etkileyen gürültünün deneysel belirlenmesi araştırılacak başlıca konular olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

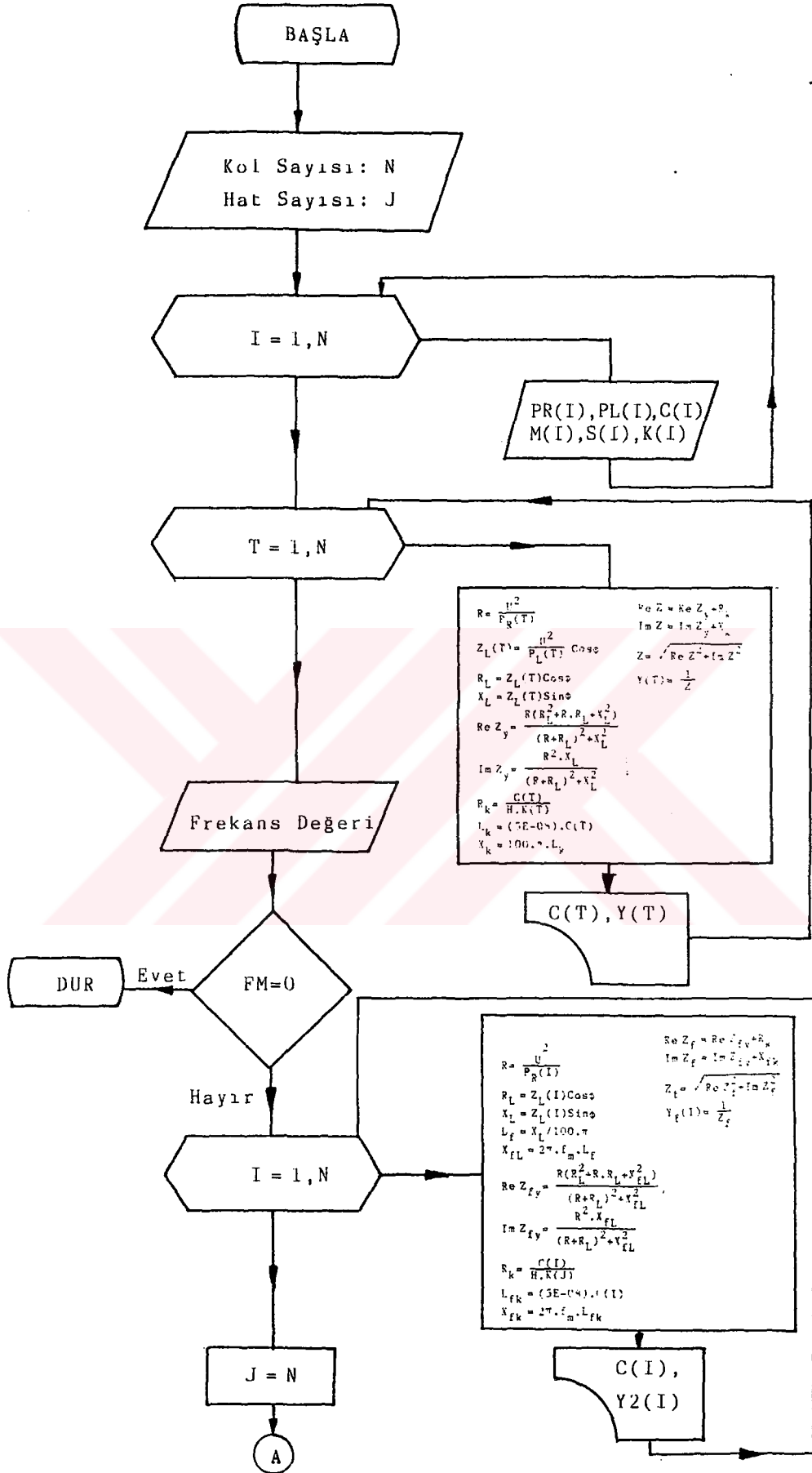
- [1] WHANG, K.W., CAGLE, G.C., SMART, J.W., "The Power Distribution System as a Communication Medium for Load Management and Distribution Automation", GLOBECOM'83, IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego, CA, pp.478-82, Vol.1, 28 Nov.-1 Dec. 1983.
- [2] O'NEAL, J.B., HAYDEN, L.E., "Important Performance Criteria for Distribution Line Carrier System", IEEE PES 1981 Transmission and Distribution Conference and Exposition, Minneapolis, Minnesota, (81 TD 703-8), September 20-25 1981.
- [3] SHUEY, C. Ken., "Distribution Transformers at Power-Line Carrier Frequencies", GLOBECOM'83, IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego, CA, USA, pp.483-6, Vol.1, 28 Nov.-1 Dec. 1983.
- [4] VINES, Roger M., TRUSSELL, H. Joel, SHUEY, C. Ken and O'NEAL, J.B., "Impedance of the Residential Power-Distribution Circuit", IEEE Vol. EMC-27, No.1, pp.6-12, February 1985.
- [5] AMOURA, F.K., O'NEAL, J.B., "Analysis of Distribution Line Carrier Propagation Using the Bus Impedance Matrix", Center for Communications and Signal Processing, Electrical and Computer Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, NC 1988.
- [6] BURR, A.G., BURBIDGE, R.F., "Computer Modelling of the LV Distribution Network for Mainsborne Signalling", IEE Proceedings, Vol.134, Pt.C, No.1, pp.83-95, January 1987.
- [7] ALPERÖZ, N., "Elektrik Enerjisi Dağıtımı", Nesil Matbaacılık Yayıncılık San. Tic. A.Ş., İstanbul, 1987.
- [8] HENRIET, P., Çev. TARKAN, N., "Elektrik İletim Şebekelerinin İşlemesi ve Korunması", İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, İstanbul, 1982.

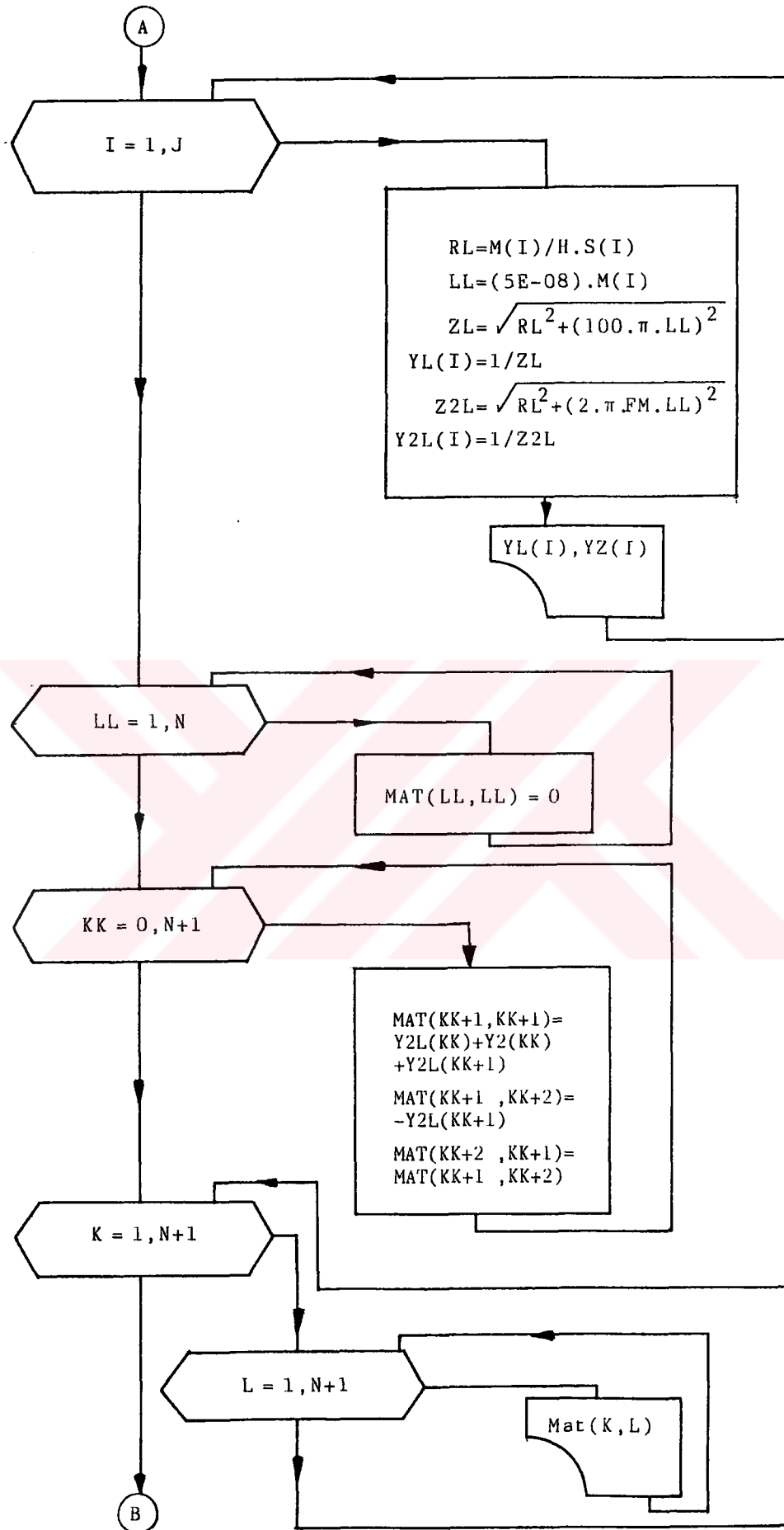
- [9] UÇKU, K., "Elektrik Enerjisi Dağıtımı ve Projesi", A.D.M.M.A. Yayını, Ankara, 1974.
- [10] FERNANDES, R.A., BUNCH, J.B., CHESTNUT, H., "Evaluation of a Conceptual Distribution Automation System", IEEE Vol. PAS-101, No.7, pp.2024-2031, July 1982.
- [11] RUSSELL, D.B., "Communication Alternatives for Distribution Metering and Load Management", IEEE Vol. PAS-99, No.4, pp.1448-1455, July/Aug. 1980.
- [12] KÖKLÜKAYA, E., "Enerji Dağıtım Hatlarının Bilgi İletimi Amacıyla Kullanılması ve Gerçekleşme-sindeki Güçlükler", II. Elektromekanik Sempozyumu, Bursa, 1988.
- [13] SÜDER, Z., "Telekomünikasyon Tekniğinin Temelleri", İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Yayınları Ders Notu, 1982.
- [14] O'NEAL, J.B., "Overview of Power Distribution Line Carrier Communications Systems", GLOBECOM'83, IEEE Global Telecommunications Conference, Conference Record, San Diego, CA, USA, pp.464-467, 28 Nov.-1 Dec. 1983.
- [15] VINES, M.R., TRUSSELL, H.J., GALE, J.L., O'NEAL, J.B., "Noise on Residential Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-26, No.4, pp.161-167, November 1984.
- [16] O'NEAL, J.B., "Substation Noise at Distribution Line Communication Frequencies", North Carolina State University, CCSP-WP-86/6, Report, July 1986.
- [17] VINCENT, W.R., CLEMMENSEN, J.M., BOLLEN, R.L., "The Measurement of Radio Noise Associated With Distribution Lines", 83 CH 1956-2/83/0000-0473, IEEE 1983.
- [18] ATALAY, H., "Transmisyon Tekniği", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makina-Elektrik Fakültesi Yayınları, No:5, 1977.
- [19] PRACHE, P.M., JANNES, J., Çev. KARAFAKİOĞLU, B., "Uzak Mesafe Yeraltı Hatları Dersleri", İ.T.Ü. Yayını, İstanbul, 1964.
- [20] BILLINTON, R., "Power System Reliability Evaluation", Gordon and Breach, New York N.Y., 1970.

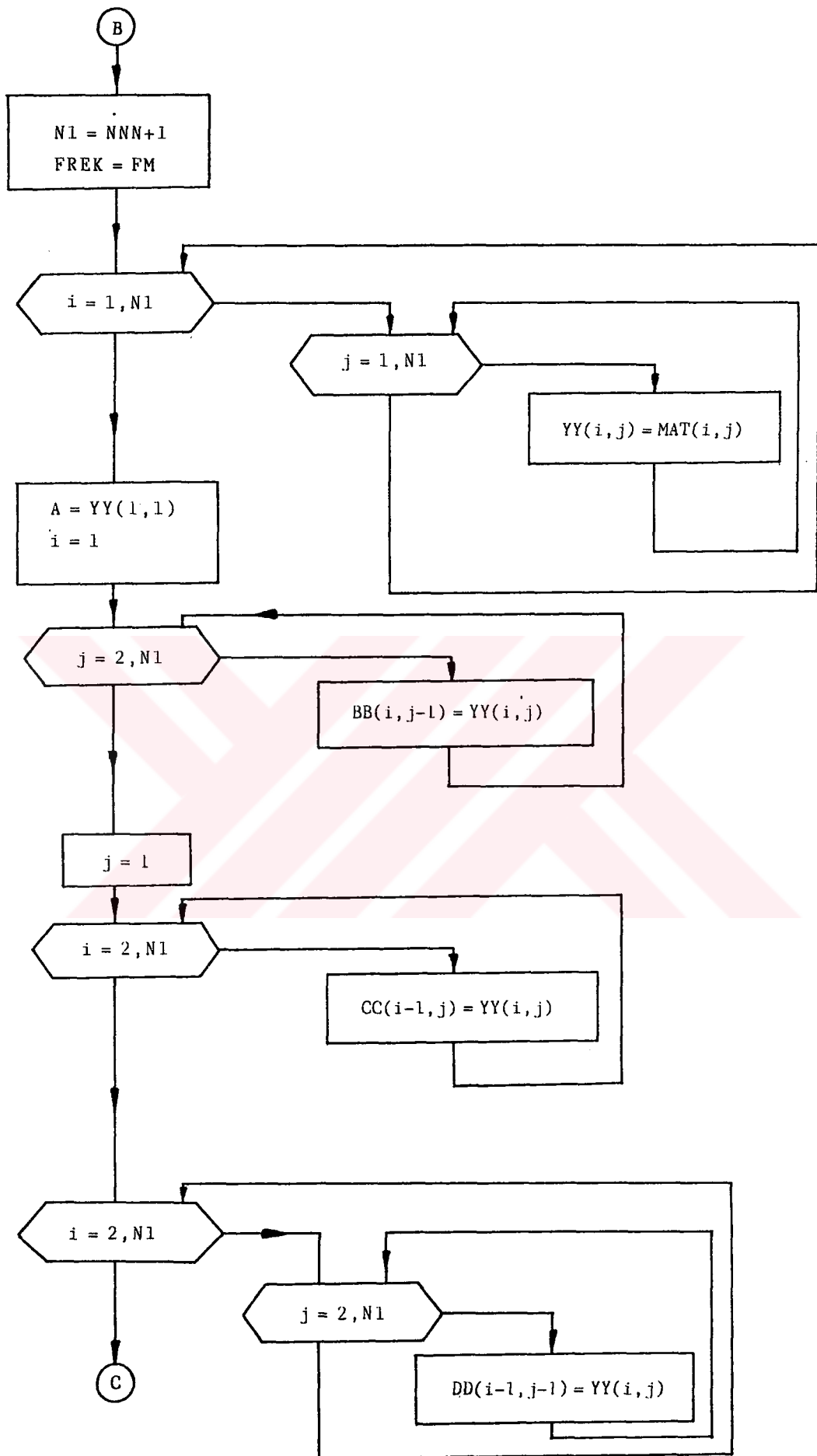
- [21] BAZOVSKY, I., "Reliability Theory and Practice", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1961.
- [22] GEORGE, R.C., CLARE, D. Mc G., "Probabilistic Methods of Signal and System Analysis", Holt, Rine hart and Winston Inc., 1971.
- [23] SHEKEL, J., "Analysis of Distribution Power-Line Carrier Propagation by Transfer Impedance", IEEE Vol. PAS-101, No.7, pp.2395-2400, July 1982.
- [24] O'NEAL, J.B., AMOURA, F.K., "Distribution Line Carrier Sensitivity Analysis Using Bus Impedance Matrix", Center for Communications and Signal Processing Department of Electrical and Computer Engineering North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7914, 1988.
- [25] GUILE, A.E., PATERSON, W., "Electrical Power Systems", Pergamon Press, 1977.
- [26] WASLEY, R.G. and MOMOH, J., "Method for Comparing Distributed and Lumped Parameter Multi-conductor Power Line Simulation Models", IEEE Transactions on PAS, pp.625-632, June 1964.
- [27] STAGG, G.W., A.H. El-Abiad, "Computer Methods in Power Systems Analysis, Mc Graw-Hill Book Co., 1968.
- [28] Brochure of LANDIS-GYR, "Ripple Control, The Series and Parallel Coupling", R/E 150-151 Cancels and Replaces AR/E 142-143, Printed in Switzerland 17205 KB.
- [29] MALACK, J.A., ENGSTROM, J.R., "RF Impedance of United States and European Power Lines", IEE Transaction on Electromagnetic Compatibilty, pp.36-38, February 1976.

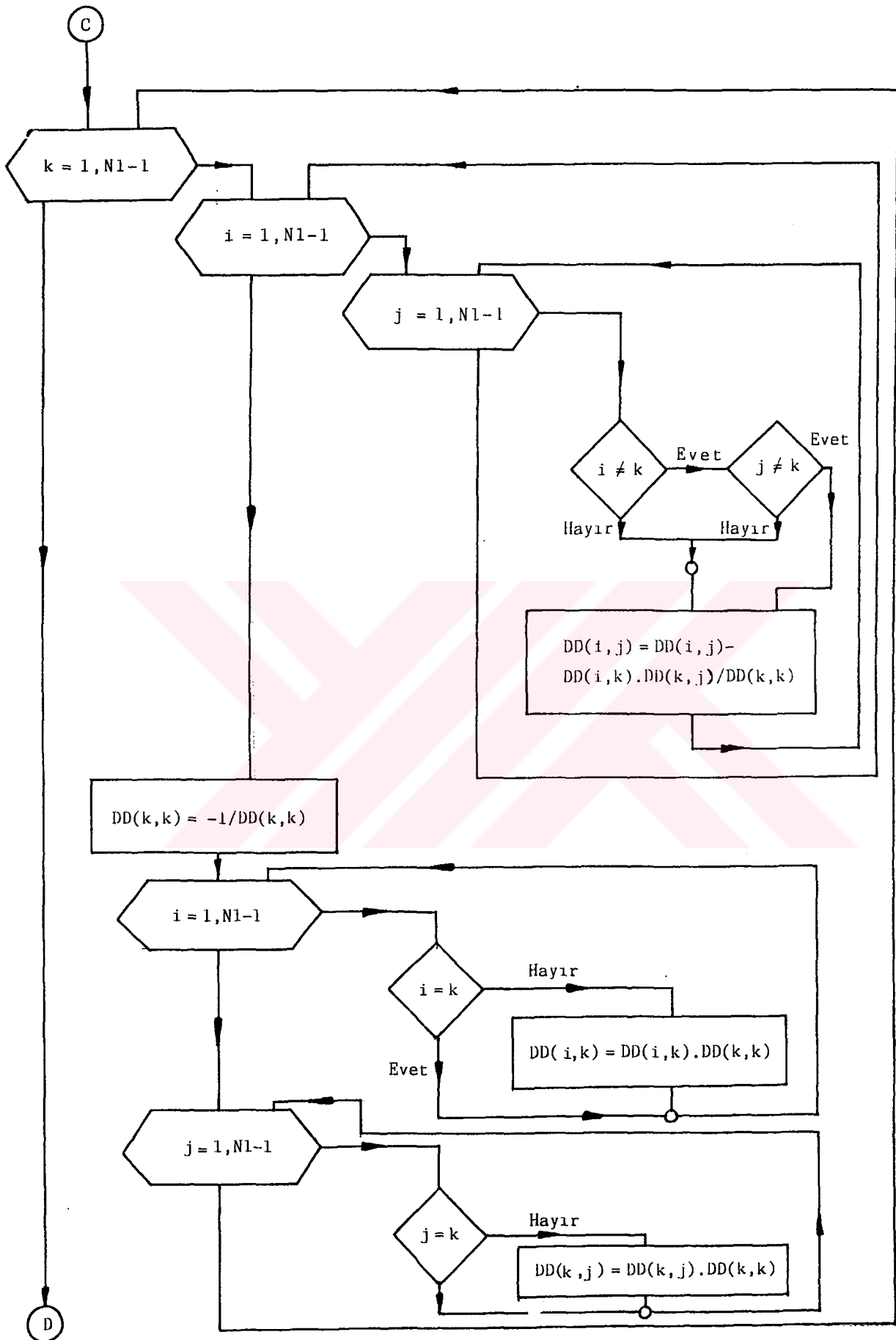
EK-A

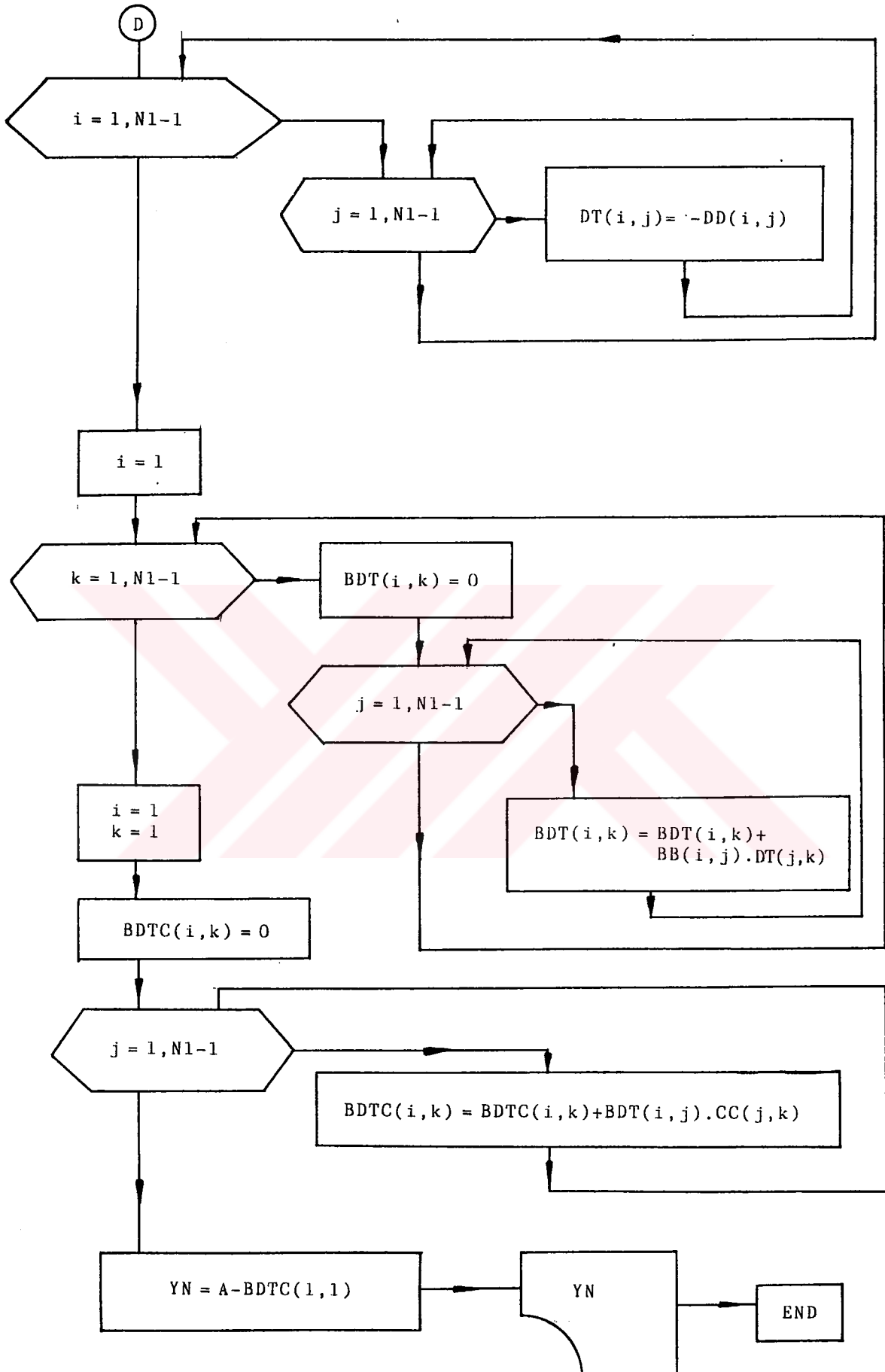
BİLGİSAYAR PROGRAMLARI,
AKIŞ ŞEMALARI VE
SONUÇLARI











```
10 REM *****
20 REM *
30 REM * ENERJİ DAĞITIM HATTI BARA ADMİTANSININ 5-20 kHz LER İÇİN HESAPLANMASI *
40 REM *
50 REM *****
60 REM -----
70 REM          PROGRAMDA KULLANILAN DEĞİŞKENLER :
80 REM PR: Omik Yukun Çektigi Güç  PL: Endüktif Yukun Çektigi Güç
85 REM C: Kol Uzunluğu  M: Hat Uzunluğu
90 REM S: Hat Kesiti  K: Kol Kesiti  Y: Kol Admitansı  FM: Frekans
100 REM Yf: FM Frekansındaki Kol Empedansı  Yfl: FM Frekansındaki Hat Admitansı
110 REM YY: Olusturulan Admitans Matrisi  YB: İndirgenmiş Admitans Matrisi
120 REM -----
130 LPRINT CHR$(15)
140 CLS
150  PI=4*ATN(1)
160 READ N
170 NNN=N
180 LPRINT "-----"
190 LPRINT "Kol Sayisi";N;"Olan Dağıtım Hattinin 5 - 20 kHz Frekanslardaki"
200 LPRINT "          BARA ADMİTANS MATRİSLERİ nin olusturulması"
210 LPRINT "-----"
220 READ J
230 LPRINT
240 U=220
250 COSF=.8
255 SINF=.6
260 H=35
270 DIM PR(10),PL(10),C(10),M(10),S(10),K(10),ZL(10),YF(10),YZL(10),YL(10),MAT(1
0,10)
280 DIM YY(40,40),BB(1,20),CC(20,1),DD(20,20)
290 DIM DT(20,20),BDT(20,20),BDTC(20,20)
300 FOR I=1 TO N
310 READ PR(I),PL(I),C(I),M(I),S(I),K(I)
320 NEXT I
330 LPRINT "   Kol          Dugum          "
340 LPRINT "Uzunlugu      Admitanslari      "
350 LPRINT "-----"
360 FOR T= 1 TO N
370 R=U^2/PR(T)
380 ZL(T)=U^2*COSF/PL(T)
390 RL=ZL(T)*COSF
391 XL=ZL(T)*SINF
392 REZY=(R*(RL*RL+R*RL+XL*XL))/((R+RL)^2+XL*XL)
393 IMZY=(R*R*XL)/((R+RL)^2+XL*XL)
400 RK=C(T)/(H*K(T))
410 LK=(5E-08)*C(T)
420 XK=100*PI*LK
430 REZ=REZY+RK
431 IMZ=IMZY+XK
```

```
432 Z=SQR(REZ^2+IMZ^2)
450 Y(T)=1/Z
460 REM LPRINT C(T);:LPRINT "      "; USING "###.#####" Y(T)
470 NEXT T
480 PRINT
490 PRINT "devam etmek icin D tusuna basiniz"
500 PRINT
510 INPUT B$
520 IF B$="d" OR B$="D" THEN 530 ELSE 520
530 READ FM:IF(FM=0) THEN END
540 LPRINT
550 LPRINT TAB(2)USING "#####";FM;:LPRINT " Hz";:LPRINT "Frekans Degeri
Icin"
560 LPRINT "-----"
580 FOR I=1 TO N
590   R=U^2/PR(I)
600   RL=ZL(I)*COSF
610   XL=ZL(I)*SINF
620   LF=XL/(100*PI)
630   XFL=2*PI*FM*LF
640   REZFY=(R*(RL^2+R*RL+XFL^2))/((R+RL)^2+XFL^2)
641   IMZFY=(R^2*XFL)/((R+RL)^2+XFL^2)
660   RK=C(I)/(H*K(I))
670   LFK=(5E-08)*C(I)
680   XFK=2*PI*FM*LFK
700   REZF=REZFY+RK
701   IMZF=IMZFY+XFK
702   ZF=SQR(REZF^2+IMZF^2)
710   YF(I)=1/ZF
720   LPRINT C(I),YF(I)
730 NEXT I
740 LPRINT
750 LPRINT "      Hat Admitanslari "
760 LPRINT " y1(50 Hz)          yf1"
770 LPRINT " -----"
780 J=N
790 FOR I=1 TO J
800   RL=M(I)/(H*S(I))
810   LL=(5E-08)*M(I)
820   ZL=SQR(RL^2+(100*PI*LL)^2)
830   YL(I)=1/ZL
840   ZFL=SQR(RL^2+(2*PI*FM*LL)^2)
850   YFL(I)=1/ZFL
860 LPRINT TAB(3)USING "###.###"; YL(I);:LPRINT TAB(25)USING "###.###"; YFL(I)
870 NEXT I
880 LPRINT
890 LPRINT "BARA ADMITANS MATRISI"
900 GOSUB 1000
910 FOR K=1 TO N+1
920 FOR L=1 TO N+1
930 LPRINT USING "####.#####";MAT(K,L);
940 NEXT L
950 LPRINT
960 NEXT K
970 GOTO 1090
```

```
980 GOTO 530
990 END
1000 FOR LL=1 TO N
1010 MAT(LL,LL)=0
1020 NEXT LL
1030 FOR KK=0 TO N+1
1040 MAT(KK+1, KK+1)=YFL(KK)+YF(KK)+YFL(KK+1)
1050 MAT(KK+1, KK+2)=-YFL(KK+1)
1060 MAT(KK+2, KK+1)=MAT(KK+1, KK+2)
1070 NEXT KK
1080 RETURN
1090 LPRINT CHR$(15)
1100 CLS
1110 REM DIM YY(20,20),BB(1,20),CC(20,1),DD(20,20)
1120 REM DIM DT(20,20),BDT(20,20),BDTC(20,20)
1130 N1=NNN+1
1140 FREK=FM
1150 FOR I=1 TO N1
1160 FOR J=1 TO N1
1170 REM H=J*10+3:L=I*2+3
1180 REM LOCATE L,H
1190 YY(I,J)=MAT(I,J)
1200 NEXT J,I
1210 A=YY(1,1)
1220 I=1
1230 FOR J=2 TO N1
1240 BB(I,J-1)=YY(I,J)
1250 NEXT J
1260 REM
1270 J=1
1280 FOR I=2 TO N1
1290 CC(I-1,J)=YY(I,J)
1300 NEXT I
1310 FOR I=2 TO N1
1320 FOR J=2 TO N1
1330 DD(I-1,J-1)=YY(I,J)
1340 NEXT J,I
1350 GOTO 1420
1360 YN=A-BDTC(1,1)
1370 LPRINT"INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI"
1380 LPRINT FREK;"Hz Frekans Icin"
1390 LPRINT"-----"
1400 LPRINT "YB=";YN
1410 GOTO 980
1420 FOR K=1 TO N1-1
1430 FOR I=1 TO N1-1
1440 FOR J=1 TO N1-1
1450 IF I=K OR J=K THEN 1470
1460 DD(I,J)=DD(I,J)-DD(I,K)*DD(K,J)/DD(K,K)
1470 NEXT J:NEXT I
1480 DD(K,K)=-1/DD(K,K)
1490 FOR I=1 TO N1-1
1500 IF I=K THEN 1520
1510 DD(I,K)=DD(I,K)*DD(K,K)
1520 NEXT I
```

```
1530 FOR J=1 TO N1-1
1540 IF J=K THEN 1560
1550 DD(K,J)=DD(K,J)+DD(K,K)
1560 NEXT J
1570 NEXT K
1580 FOR I=1 TO N1-1
1590 FOR J=1 TO N1-1
1600 DT(I,J)=-DD(I,J)
1610 NEXT J
1620 NEXT I
1630 I=1
1640 FOR K=1 TO N1-1
1650 BDT(I,K)=0
1660 FOR J=1 TO N1-1
1670 BDT(I,K)=BDT(I,K)+BB(I,J)*DT(J,K)
1680 NEXT J,K
1690 I=1
1700 K=1
1710 BDT(I,K)=0
1720 FOR J=1 TO N1-1
1730 BDT(I,K)=BDT(I,K)+BDT(I,J)*CC(J,K)
1740 NEXT J
1750 GOTO 1360
1760 DATA 5,5
1770 DATA 10000,10000,80,35,42.49,21.14
1780 DATA 12000,12000,60,40,42.49,21.14
1790 DATA 8000,8000,70,20,42.49,21.14
1800 DATA 10000,10000,35,120,42.49,21.14
1810 DATA 8000,8000,60,80,42.49,21.14
1820 DATA 50,5000,10000,15000,20000,0
```

Kol Sayisi 5 Olan Dagitim Hattinin 5 - 20 kHz Frekanslardaki
BARA ADMITANS MATRISLERI nin olusturulmasi (P)

Kol Dugum
Uzunlugu Admitanslari

50 Hz Frekans Degeri Icin

80 .4223183
60 .5089792
70 .3422849
35 .4328147
60 .343786

Hat Admitanslari
yl (50 Hz) yf1

42.478 42.478
37.169 37.169
74.337 74.337
12.390 12.390
18.584 18.584

BARA ADMITANS MATRISI

42.47841 -42.47841 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-42.47841 80.06934 -37.16861 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 -37.16861 112.01480 -74.33723 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -74.33723 87.06904 -12.38954 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 -12.38954 31.40666 -18.58431
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 -18.58431 18.92809

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

50 Hz Frekans Icin

YB= 1.837677

5000 Hz Frekans Degeri Icin

80 .2020259
60 .2429888
70 .1627383
35 .204652
60 .1631123

Hat Admitanslari	
yl (50 Hz)	yfl
42.478	16.721
37.169	14.631
74.337	29.262
12.390	4.877
18.584	7.316

BARA ADMITANS MATRISI

16.72142	-16.72142	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-16.72142	31.55470	-14.63125	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-14.63125	44.13673	-29.26250	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-29.26250	34.30232	-4.87708	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-4.87708	12.39736	-7.31562
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-7.31562	7.47874

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

5000 Hz Frekans Icin

YB= .8566761

10000 Hz Frekans Degeri Icin	
80	.2017571
60	.242709
70	.1626005
35	.2045377
60	.1629946

Hat Admitanslari	
yl (50 Hz)	yfl
42.478	8.893
37.169	7.781
74.337	15.563
12.390	2.594
18.584	3.891

BARA ADMITANS MATRISI

8.89314	-8.89314	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-8.89314	16.87639	-7.78150	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-7.78150	23.58720	-15.56299	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-15.56299	18.31942	-2.59383	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-2.59383	6.68912	-3.89075
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-3.89075	4.05374

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

10000 Hz Frekans Icin

YB= .7763405

15000 Hz Frekans Değeri İçin

90	.2014201
60	.2423758
70	.1624597
35	.2044592
60	.1628874

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	6.002
37.169	5.252
74.337	10.504
12.390	1.751
18.584	2.626

BARA ADMITANS MATRİSİ

6.00225	-6.00225	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-6.00225	11.45563	-5.25197	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-5.25197	15.99827	-10.50393	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-10.50393	12.41705	-1.75065	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.75065	4.58110	-2.62598
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-2.62598	2.78887

INDİRGENMİS BARA ADMITANS MATRİSİ

15000 Hz Frekans İçin

YB= .7102446

20000 Hz Frekans Değeri İçin

80	.2009652
60	.2419286
70	.1622747
35	.2043639
60	.1627494

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	4.521
37.169	3.956
74.337	7.913
12.390	1.319
18.584	1.978

BARA ADMITANS MATRİSİ

4.52146	-4.52146	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-4.52146	8.67871	-3.95628	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-3.95628	12.11077	-7.91256	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-7.91256	9.39360	-1.31876	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.31876	3.50127	-1.97814
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-1.97814	2.14089

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
20000 Hz Frekans Icin

YB= .6556755

Kol Sayisi 5 Olan Dagitim Hattinin 5 - 20 kHz Frekanslardaki
BARA ADMITANS MATRISLERI nin olusturulmasi (.75P)

Kol Dugum
Uzunlugu Admitanslari

50 HzFrekans Degeri Icin

80 .3201928
60 .3854914
70 .25869
35 .3261845
60 .2595457

Hat Admitanslari
yl(50 Hz)

yfl

42.478 42.478
37.169 37.169
74.337 74.337
12.390 12.390
18.584 18.584

BARA ADMITANS MATRISI

42.47841 -42.47841 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-42.47841 79.96722 -37.16861 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 -37.16861 111.89130 -74.33723 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -74.33723 86.98545 -12.38954 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 -12.38954 31.30003 -18.58431
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 -18.58431 18.84385

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
50 Hz Frekans Icin

YB= 1.425095

5000 HzFrekans Degeri Icin

80 .1523921
60 .1831858
70 .122545
35 .1538744
60 .122756

Hat Admitanslari	
yl (50 Hz)	yfl
42.478	16.721
37.169	14.631
74.337	29.262
12.390	4.877
18.584	7.316

BARA ADMITANS MATRISI

16.72142	-16.72142	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-16.72142	31.50506	-14.63125	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-14.63125	44.07693	-29.26250	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-29.26250	34.26212	-4.87708	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-4.87708	12.34658	-7.31562
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-7.31562	7.43838

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

5000 Hz Frekans Icin

YB= .6649246

10000 Hz Frekans Degeri Icin

80	.1522525
60	.1830367
70	.1224665
35	.1538011
60	.1226861

Hat Admitanslari	
yl (50 Hz)	yfl
42.478	8.893
37.169	7.781
74.337	15.563
12.390	2.594
18.584	3.891

BARA ADMITANS MATRISI

8.89314	-8.89314	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-8.89314	16.82689	-7.78150	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-7.78150	23.52752	-15.56299	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-15.56299	18.27929	-2.59383	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-2.59383	6.63838	-3.89075
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-3.89075	4.01343

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

10000 Hz Frekans Icin

YB= .6148129

15000 Hz Frekans Değeri İçin

80	.1521031
60	.1828882
70	.1224027
35	.1537631
60	.1226368

Hat Admitansları

y1 (50 Hz)	yf1
42.478	6.002
37.169	5.252
74.337	10.504
12.390	1.751
18.584	2.626

BARA ADMITANS MATRİSİ

6.00225	-6.00225	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-6.00225	11.40631	-5.25197	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-5.25197	15.93878	-10.50393	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-10.50393	12.37699	-1.75065	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.75065	4.53040	-2.62598
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-2.62598	2.74862

INDİRGENMİS BARA ADMITANS MATRİSİ

15000 Hz Frekans İçin

YB= .571806

20000 Hz Frekans Değeri İçin

80	.1519053
60	.182694
70	.1223223
35	.153721
60	.1225766

Hat Admitansları

y1 (50 Hz)	yf1
42.478	4.521
37.169	3.956
74.337	7.913
12.390	1.319
18.584	1.978

BARA ADMITANS MATRİSİ

4.52146	-4.52146	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-4.52146	8.62965	-3.95628	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-3.95628	12.05154	-7.91256	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-7.91256	9.35365	-1.31876	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.31876	3.45062	-1.97814
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-1.97814	2.10072

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
20000 Hz Frekans Icin

YB= .5350399

Kol Sayisi 5 Olan Dagitim Hattinin 5 - 20 kHz Frekanslardaki
BARA ADMITANS MATRISLERI nin olusturulmasi (.5P)

Kol Dugum
Uzunlugu Admitanslari

50 Hz Frekans Degeri Icin

80 .2158122
60 .2595457
70 .1737966
35 .218515
60 .1741821

Hat Admitanslari
yl (50 Hz) yfl

42.478 42.478
37.169 37.169
74.337 74.337
12.390 12.390
18.584 18.584

BARA ADMITANS MATRISI

42.47841 -42.47841 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-42.47841 79.86284 -37.16861 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 -37.16861 111.76540 -74.33723 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -74.33723 86.90056 -12.38954 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 -12.38954 31.19236 -18.58431
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 -18.58431 18.75849

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
50 Hz Frekans Icin

YB= .9836654

5000 Hz Frekans Degeri Icin

80 .1021794
60 .122756
70 8.202521E-02
35 .1028404
60 8.211929E-02

Hat Admitanslari

yl (50 Hz)	yfl
42.478	16.721
37.169	14.631
74.337	29.262
12.390	4.577
18.584	7.316

BARA ADMITANS MATRISI

16.72142	-16.72142	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-16.72142	31.45485	-14.63125	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-14.63125	44.01650	-29.26250	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-29.26250	34.22160	-4.87708	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-4.87708	12.29555	-7.31562
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-7.31562	7.39774

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

5000 Hz Frekans Icin

YB= .4594422

10000 Hz Frekans Degeri Icin

80	.1021165
60	.1226861
70	8.198495E-02
35	.1027975
60	.0820816

Hat Admitanslari

yl (50 Hz)	yfl
42.478	8.893
37.169	7.781
74.337	15.563
12.390	2.594
18.584	3.891

BARA ADMITANS MATRISI

8.89314	-8.89314	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-8.89314	16.77675	-7.78150	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-7.78150	23.46717	-15.56299	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-15.56299	18.23881	-2.59383	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-2.59383	6.58738	-3.89075
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-3.89075	3.97283

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI

10000 Hz Frekans Icin

YB= .4345627

15000 Hz Frekans Değeri İçin

80	.1020676
60	.1226368
70	8.196269E-02
35	.1027822
60	.0820637

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	6.002
37.169	5.252
74.337	10.504
12.390	1.751
18.584	2.626

BARA ADMITANS MATRİSİ

6.00225	-6.00225	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-6.00225	11.35628	-5.25197	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-5.25197	15.87853	-10.50393	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-10.50393	12.33655	-1.75065	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.75065	4.47942	-2.62598
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-2.62598	2.70805

İNDİRGENMİS BARA ADMITANS MATRİSİ

15000 Hz Frekans İçin

YB= .4121523

20000 Hz Frekans Değeri İçin

80	.1020064
60	.1225766
70	8.193745E-02
35	.1027683
60	8.204456E-02

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	4.521
37.169	3.956
74.337	7.913
12.390	1.319
18.584	1.978

BARA ADMITANS MATRİSİ

4.52146	-4.52146	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-4.52146	8.57975	-3.95628	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-3.95628	11.99142	-7.91256	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-7.91256	9.31326	-1.31876	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.31876	3.39967	-1.97814
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-1.97814	2.06019

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
20000 Hz Frekans Icin

YB= .3921623

Kol Sayisi 5 Olan Dagitim Hattinin 5 - 20 kHz Frekanslardaki
BARA ADMITANS MATRISLERI nin olusturulmasi (.25P)

Kol Dugum
Uzunlugu Admitanslari

50 Hz Frekans Degeri Icin

80 .1091057
60 .1310725
70 8.757643E-02
35 .1097916
60 8.767411E-02

Hat Admitanslari
yl (50 Hz) yfl
42.478 42.478
37.169 37.169
74.337 74.337
12.390 12.390
18.584 18.584

BARA ADMITANS MATRISI

42.47841 -42.47841 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
-42.47841 79.75613 -37.16861 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 -37.16861 111.63690 -74.33723 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 -74.33723 86.81434 -12.38954 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 -12.38954 31.08364 -18.58431
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 -18.58431 18.67198

INDIRGENMIS BARA ADMITANS MATRISI
50 Hz Frekans Icin

YB= .509964

5000 Hz Frekans Değeri İçin

80	5.138341E-02
60	6.169542E-02
70	4.117742E-02
35	.0515492
60	.041201

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	16.721
37.169	14.631
74.337	29.262
12.390	4.877
18.584	7.316

BARA ADMITANS MATRİSİ

16.72142	-16.72142	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-16.72142	31.40406	-14.63125	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-14.63125	43.95544	-29.26250	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-29.26250	34.18076	-4.87708	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-4.87708	12.24426	-7.31562
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-7.31562	7.35683

INDİRGENMİS BARA ADMITANS MATRİSİ

5000 Hz Frekans İçin

YB= .2384987

10000 Hz Frekans Değeri İçin

80	5.136121E-02
60	6.166949E-02
70	4.116092E-02
35	.0515295
60	4.118483E-02

Hat Admitansları

yl (50 Hz)	yfl
42.478	8.893
37.169	7.781
74.337	15.563
12.390	2.594
18.584	3.891

BARA ADMITANS MATRİSİ

8.89314	-8.89314	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-8.89314	16.72599	-7.78150	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-7.78150	23.40616	-15.56299	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-15.56299	18.19798	-2.59383	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-2.59383	6.53611	-3.89075
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-3.89075	3.93193

INDIRGENNIS BARA ADMITANS MATRISI
10000 Hz Frekans Icin

YB= .2314654

15000 HzFrekans Degeri Icin

80	5.135234E-02
60	6.166005E-02
70	.041156
35	5.152492E-02
60	4.118046E-02

Hat Admitanslari	
yl(50 Hz)	yfl
42.478	6.002
37.169	5.252
74.337	10.504
12.390	1.751
18.584	2.626

BARA ADMITANS MATRISI

6.00225	-6.00225	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-6.00225	11.30556	-5.25197	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-5.25197	15.81756	-10.50393	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-10.50393	12.29574	-1.75065	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.75065	4.42816	-2.62598
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-2.62598	2.66716

INDIRGENNIS BARA ADMITANS MATRISI
15000 Hz Frekans Icin

YB= .2247887

20000 HzFrekans Degeri Icin

80	5.134363E-02
60	.0616513
70	4.115206E-02
35	5.152224E-02
60	.0411773

Hat Admitanslari	
yl(50 Hz)	yfl
42.478	4.521
37.169	3.956
74.337	7.913
12.390	1.319
18.584	1.978

BARA ADMITANS MATRISI

4.52146	-4.52146	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
-4.52146	8.52909	-3.95628	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	-3.95628	11.93050	-7.91256	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	-7.91256	9.27248	-1.31876	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	-1.31876	3.34842	-1.97814
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-1.97814	2.01932

INDIRGENNIS BARA ADMITANS MATRISI

20000 Hz Frekans Icin

YB= .2185097

ÖZGEÇMİŞ

Y.Müh. Etem Köklükaya, 1955 yılında Isparta'da doğdu. 1972 yılında Isparta Lisesi'nden, 1978'de İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nden mezun oldu. İki yıl T.R.T.'de mühendis olarak çalıştıktan sonra, Eylül 1980'de Sakarya D.M.M. Akademisi'nde Uzman-asistan olarak göreve başladı.

1982'de Yıldız Üniversitesi'nde M.M.L.S. öğrenimini tamamlayıp, 1983 Kış yarıyılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora başladı. Bu arada 1983 yaz devresinde kısa dönem askerlik görevini Isparta'da tamamladı.

Halen İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.