

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

**1 MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**1.1 KARMAŞIK TOPRAKLAMA
SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA EMPEDANSININ
ÖLÇÜLMESİ**

Onur KATİPOĞULLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

1.2 ENERJİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

1.3 GEBZE

2003

ÖZET

Topraklama sistem emniyetinin doğru olarak değerlendirilmesi için toprak gerilim yükselmesi ile ilgili dokunma ve adım gerilimlerinin tam olarak saptanması gerekmektedir. Şimdiye kadar yapılan elektrik şebekesi topraklama sistem güvenliği hesaplanmalarında topraklama direnci temel alınmakta ve topraklama empedansının frekansa bağıllığı ihmal edilmektedir. Buna ek olarak geleneksel topraklama direnci ölçme metotlarının doğruluğu topraklama sistemlerinin büyümesi ve karmaşıklaşmasıyla beraber tartışılır hale gelmiştir.

Bu tezde geleneksel topraklama direnci ölçme metotları ile ilgili mevcut literatür taranarak sunulmuştur. Geçerli ölçüm metotları teorik ve pratik olarak karşılaştırılarak kritik edilmiştir. Bütün bu çalışmalar sonucunda, yeni bir topraklama empedans ölçme sistemi geliştirilerek gerçek topraklama sistemlerinde geleneksel metotlarla mukayese edilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, topraklama sistemini sadece topraklama direncinden ibaret kabul edilmesi önemli hatalara sebep olmaktadır. Bu hata tesis çevresindeki canlı hayatı için bir risk teşkil edebilecektir.

SUMMARY

It is appreciated that precise determination of earth potential rise and related touch and step potentials are fundamental on evaluation of the earthing system safety. Hitherto, earthing system safety assessments of electrical substations were based on, only, earthing resistance measurement. As a result, frequency dependent nature of the earthing impedance has been neglected. In addition, accuracy of the conventional resistance measurement techniques has becomes more questionable in parallel with the growing extent and complexity of earthing systems

In this thesis, a through literature survey is presented on the conventional earthing resistance measurement techniques. A critical comparison is also provided by means of theoretical analysis and actual measurements. During the course of the study, a novel earth impedance measurement system is implemented and tested in real substations. The results demonstrate that failure on recognition of frequency dependence nature of the earthing impedance will introduce significant error and may put lives of personnel and livestock at risk

TEŞEKKÜRLER

Bu tez çalışması süresince yardımını ve hoşgörüsünü esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU' na, geniş alan ölçümü için gerekli izinin alınmasında yardımcı olan Bursa TEAŞ işletmesinden görevli Elk. Müh. Mahmut CURA ve Halit SATILMIŞ' a, tüm ölçmeler anında yardımlarını esirgemeyen Özgür KARACASU, M. Erhan BALCI, İskender DÜLGER'e

Ve her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜRLER	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1 GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon ve arka plan	1
1.2 Tezin amacı	2
1.3 Tezin yapısı	3
2 TOPRAKLAMA DİRENCİ VE EMPEDANSI ÖLÇME TEKNİKLERİ	4
2.1 Giriş	4
2.2 Topraklama Direnci Ölçme Yöntemleri	4
2.2.1 Topraklama Direnç Eğrilerinin Analizi	7
2.2.2 Geniş Alanları Kaplayan Topraklama Şebekeleri için Ölçme Yöntemleri	9
2.3 Topraklama Direncinin Hesaplanması	17
2.3.1 Basit Topraklama Direnci Hesabı	17
2.3.2 Scwharz denklemleri	19
2.3.3 Topraklama direnci hesaplanma yöntemlerinin gerçek sistem için uygulanması	23
2.4 Topraklama Direnci Ölçme Ekipmanları	27
2.5 Toprak Empedansı Ölçme Ekipmanları	29
2.6 Karşılıklı Endüktans Değerinin Hesaplanması	31
2.7 Topraklama Direnç ve Empedans Standartları	32
2.7.1 UK Standartları	33
2.7.2 Amerikan Standartları	33
2.7.3 Türk standardı	34
2.8 Sonuç	34
3 TOPRAKLAMA EMPEDANS ÖLÇME TEKNİKLERİ	36

3.1	Giriş	36
3.2	‘90°’ Metodu	36
3.3	‘Sadeleştirilmiş 90°’ Metodu	38
3.4	Aynı yönde Topraklama Sistem Empedansının Ölçümü	40
3.5	Topraklama empedans ölçme sistemi	45
3.6	Sonuç	49
4	TOPRAKLAMA DİRENÇ ÖLÇME VE EMPEDANS ÖLÇME METOTLARININ GERÇEK ŞEBEKELERDE UYGULANMASI	50
4.1	Giriş	50
4.2	Topraklama direnci ölçme metotlarının gerçek sistemlerde uygulanması	50
4.2.1	Küçük yapıya sahip AG şebeke sisteminde topraklama direnç ölçümü	50
4.2.2	OG/AG indirici istasyon topraklama sistemi	54
4.2.3	Geniş alanı kaplayan topraklama sisteminde topraklama direnci ölçülmesi	58
4.3	Topraklama empedansı ölçme sisteminin gerçek sistemde uygulanması	62
4.3.1	Küçük yapıya sahip AG şebekesinde topraklama empedansı ölçülmesi	63
4.3.2	OG/AG trafo merkezinin toprak empedansı ölçümü	67
4.3.3	Geniş alan kaplayan topraklama sisteminde toprak empedansı ölçümü	72
4.4	Sonuç	77
5	SONUÇ	79
5.1	Sonuç ve tartışmalar	79
5.2	Gelecek çalışma için öneriler	81
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	87
	EK-1 ‘Eğim’ Metodu için Eğim Katsayısı Tablosu	88
	EK-2 Gürültü Sinyali için Kullanılan Filtre Programı	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1. Gerilim Düşümü Metodu için Ölçme Düzeneği	5
2. 2. Topraklama Direnci Eğrisi	6
2. 3. Curdts'un '% 61.8' Metodu İçin Test Elektrotlarının Yerleri	7
2. 4. Yardımcı Gerilim Elektrotu Yeri	9
2. 5. Dört Nokta Metodu için Ölçme Düzeneği	10
2. 6. Kesişen Eğriler Metodu Eğrileri	11
2.7. Kesişen Eğri Metodunda Topraklama Direnci- λ Değişimi Eğrileri (Referans [14]'den Alınmıştır)	12
2. 8. Kesişen Eğri Metodunun Geniş İletim Şebekesinde Uygulanması (Referans [14]'den Alınmıştır)	13
2. 9. Eğim Metodu için Yardımcı Elektrot Yerleşim Şekli	14
2. 10. 154/34.5 kV'luk Trafo Merkezi	22
2. 11. Toprak Özdirenç Değişimi ile Topraklama Direnç Değişim Eğrisi	25
2. 12. Topraklama Sisteminin Kapladığı Alan ile Topraklama Direnci Değişimi Eğrisi	26
2. 13. Topraklama Sisteminde Kullanılan Topraklama İletken Uzunluğu ile Topraklama Direnci Değişimi Eğrisi	26
2. 14. Periyodik Olarak Yön Değiştiren DC ile Örnek Topraklama Direnci Ölçme Devresi	28
3. 1. '90°' Metodu için Ölçme Düzeneği	37
3. 2. '90°' Metodu için Toprak Empedans Eğrileri (Referans [41])	38
3. 3. 'Sadeleştirilmiş 90°' Metodu için Ölçme Düzeneği	39
3. 4. Bilgisayar Modeli ve Test Elektrotlarının Yerleşimi (Referans [41])	41
3. 5. 0° Yönüne Göre Topraklama Direnci ve Topraklama Empedans Değeri Eğrileri (Referans [41])	42
3. 6. Toprak Direnci ve Toprak Empedansının Bulunması için Gerekli Yardımcı Gerilim Elektrotu Mesafesi (Referans[41])	43
3. 7. Empedans Açısı ile Yardımcı Gerilim Elektrotu Arasındaki İlişkiyi Gösteren Grafik (Aynı Hatta Ölçme için Referans [41])	44

3. 8.	Topraklama Empedansı Ölçme Düzeneği	47
3. 9.	Topraklama Empedans Ölçme Sisteminin Blok Diyagramı	48
4. 1.	Küçük Yapıya Sahip AG Topraklama Şebekesi Topraklama Direnci Ölçme Düzeneği	51
4. 2.	Küçük AG Şebekesi Topraklama Direnci Eğrisi	51
4. 3.	Küçük AG Şebekesinde Kesişen Eğriler Metodu için Ölçülen Topraklama Direnç Eğrileri	53
4. 4.	Küçük AG Şebekesi İçin Kesişen Eğriler Metoduyla Elde Edilen Topraklama Direnç Eğrileri	53
4. 5.	Trafo Merkezi için Topraklama Direnç Eğrileri	55
4. 6.	Trafo Merkezi için Kesişen Eğriler İlk Ölçme Sonucunda Metodu	56
4. 7.	Trafo Merkezinde 13.08.2003 Tarihinde Yapılan Ölçme Sonucu Elde Edilen Kesişen Eğri Metoduna Göre Ölçme Sonuçları	57
4. 8.	154/34.5 kV'luk Trafo Merkezi	59
4. 9.	154/34.5kV'luk Trafo Merkezinin Yerleşim Alanı	60
4. 10.	Ölçme Yapılan 154 kV'luk Trafo Merkezi	60
4. 11.	154 kV'luk Trafo Merkezi için Test Elektrotları Yerleşimi	61
4. 12.	154 kV'luk Trafo Merkezinin Topraklama Direnci Eğrisi	61
4. 13.	İlk Tasarlanan Topraklama Empedansı Ölçme Düzeneği	63
4. 14.	Topraklama Empedansı Ölçme Düzeneği	64
4. 15.	Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesinde Ölçülen Gürültü Sinyali	65
4. 16.	Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesinde Ölçülen Gürültü Sinyalinin Frekans Spektrumu	65
4. 17.	Küçük Yapıya Sahip AG Topraklama Şebekesinden Ölçülen Akım ve Gerilim Sinyalleri	66
4. 18.	Ölçülen Empedans Değeri Eğrisi	66
4. 19.	Küçük Yapıya Sahip Topraklama Şebekesi için Topraklama Direnci ile Topraklama Empedansının (50 Hz için) Değerleri	67
4. 20.	OG/AG Trafo Merkezi Gürültü Sinyali	68
4. 21.	OG/AG Trafo Merkezi Gürültü Sinyali Spektrumu	68
4. 22.	OG/AG Trafo Merkezinde Yapılan Ölçme Sonucu Elde Edilen Akım ve Gerilim Sinyalleri (50 Hz için)	69
4. 23.	İletim Hattına Paralel Yapılan Toprak Empedans Ölçümünden Elde Edilen Toprak Empedans Değeri Eğrileri	69

4. 24. İletim Hattına Dik Yapılan Empedans Ölçümü Sonucu Elde Edilen Toprak Empedans Eğrileri	70
4. 25. İletim Hattına Paralel Ölçüm Sonucu Elde Edilen Frekans Empedans Değişimi	71
4. 26. İletim Hattına Dik Sonucu Elde Edilen Frekans Empedans Değişimi	71
4. 27. OG Trafo Merkezi için Topraklama Direnci ve Topraklama Empedansı (50 Hz için) Değerleri	72
4. 28. 154kV'luk Trafo Merkezinde Ölçülen Gürültü Sinyali	73
4. 29. 154 kV'luk Trafo Merkezinde Ölçülen Gürültü Sinyalinin Frekans Spektrumu	73
4. 30. 154 kV'luk Trafo Merkezinden Topraklama Şebekesine Enjekte Edilen Test Akımı	74
4. 31. 154 kV'luk Trafo Merkezinde 350 m'ye Yerleştirilmiş Yardımcı Gerilim Elektrotundan Ölçülen Gerilim Sinyali	74
4. 32. 154 kV'luk Topraklama Sisteminin Topraklama Empedans Değeri Değişim Eğrileri	75
4. 33. 154 kV'luk Topraklama Sistemi için Frekans Topraklama Empedans Değeri Değişimi	76
4. 34. 154 kV'luk Topraklama Sisteminin Topraklama Direnci ve Topraklama Empedans (50 Hz için) Değerleri	76

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1. Farklı Standartlar için Topraklama direncinin Hesaplanmasında Kullanılan Denklemler	21
2. 2. Topraklama Direnci Hesap Sonuçları	24
4. 1. Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesi için Dört Nokta Metoduyla Ölçme Sonuçları	52
4. 2. Küçük AG Şebekesi için Eğim Metodu Sonuçları	54
4. 3. Trafo Merkezi için % 61.8 Metoduyla Elde Edilen Direnç Değerleri	55
4. 4. Trafo Merkezi için Dört Nokta Metodu Ölçme Sonuçları	56
4. 5. Trafo Merkezinde Yapılan Eğim Metodu Sonuçları	57
4. 6. 154kV'luk Trafo Merkezi için %61.8 Metodu Sonucu Elde Edilen Direnç Değeri	62
4. 7. 154 kV'luk Trafo Merkezi için 'Eğim' Metodu Sonucu	62

2 GİRİŞ

2.1 Motivasyon ve arka plan

Günümüz topraklama sistemleri genellikle geniş alanları kaplayan kompleks bir yapıya sahiptirler. Daha önceleri topraklama sistemleri basit yapıdaki sistemlerd ve geleneksel olarak topraklama sistemleri dizaynında sadece topraklama direncinin belirlenmesi yeterli kabul edilmekte idi. Fakat geniş alanları kaplayan topraklama sistemlerinde sadece topraklama direncinden söz etmek oldukça yanlış sonuçlar doğurabilir. İnsan yaşam alanlarının genişlemesi ve elektrik enerji ihtiyacının artması ile birlikte birçok iletim istasyonu şehir içlerinde kalmıştır. Dolayısıyla insan hayatı için de tehlike olabilecek topraklama sistemlerinin doğru olarak dizayn edilmesi çok daha önemli hale gelmiştir.

Topraklama sistemlerinde güvenlik analizleri herhangi toprak arızası anında meydana gelecek toprak gerilim yükselmesinin (Ground Potential Rise, GPR) minimum olması esasına dayanır. Topraklama standartlarında [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] toprak potansiyel yükselmesinin topraklama sisteminden akan arıza akımı ile topraklama direnci tarafından belirleneceği belirtilmektedir. Ayrıca standartlar güvenli topraklama sistemini açıklarken topraklama sisteminde *adım* (step) ve *dokunma* (touch) gerilimlerinin belirli sınırlar içinde kalması gerektiğini belirtmektedir. Topraklama sisteminde *adım* (step) ve *dokunma* (touch) gerilimleri topraklama sisteminin yapısına, şekline, toprak yapısına ve arıza akım değerine bağlıdır. Bundan dolayı topraklama sisteminin direnci bu gerilimler için önemli bir bileşendir. Topraklama direncinin doğru olarak belirlenmesi ile sistemde oluşabilecek gerilimler tespit edilerek koruma analizi yapılabilir.

Topraklama direncinin belirlenmesi amacıyla standartlarda değişik topraklama direnci hesaplama yöntemleri bulunmakla beraber topraklama direncinin sadece hesaplama ile belirlenmesi yeterli değildir. Hesaplamalarla elde edilen topraklama direnç değerleri ölçme ile desteklenmelidir. Çünkü hesaplamalarda toprak yapısı homojen olarak kabul edilmektedir. Gerçekte ise topraklama sisteminin yerleştiği alanlar genellikle homojen toprak yapısına sahip olmamaktadır. Ayrıca sadece

topraklama direncinin belirli periyotlarda ölçülmesi gerekmektedir. Standartlar topraklama direnç değerinin belirli periyotlarda kontrol edilmesini tavsiye etmektedir. Ülkemizde topraklama sisteminin denetimi '*Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği*'nde [5] hangi periyotlarda yapılması gerektiği açıkça belirtilmektedir. Fakat ölçme yaptığımız topraklama tesislerinde topraklama direnç ölçümünün sadece tesis işletmeye alınmadan önce yapıldığını ve topraklama direncinin daha sonra kontrol edilmediğini gördük. Ölçme esnasında karşılaşılan zorluklar ve risk özellikle yüksek gerilim istasyonlarında periyodik ölçüm yapılmasında engel teşkil etmektedir. Ölçüm esnasında personel emniyet ve ölçüm güvenilirliğini sağlamak için istasyon enerjisinin kesilmesi ve koruma iletkenlerinin ana topraklama şebekesinden ayrılması istenmektedir. Bu da periyodik ölçüm yapılmasını engelleyen en büyük sebeptir.

Bu çalışmada topraklama direnç ölçme yöntemleri incelenmiş ve her yöntem ile gerçek topraklama sistemlerinde ölçmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçme sonuçlarında elde edilen topraklama direnç değerlerinin standartlarda belirtilen sınırlar içinde olduğu tespit edilmiştir. Fakat topraklama direnç değerinin topraklama empedans değerinden küçük olduğu görülmüş, bundan dolayı topraklama direnç değeri ile yapılacak güvenlik tespitinin doğru sonuç vermeyeceği belirlenmiştir. Topraklama direnç ve empedans ölçme işleminde karşılaşılan en önemli sorun topraklama sisteminin etrafında insan yerleşimin fazla olmasından dolayı test elektrotları için gerekli olan mesafelere çıkılamaması olmuştur. Ayrıca topraklama tesisleri etrafındaki insan yerleşiminin fazlalığı topraklama sisteminin direncinin ve empedans değerinin doğru tespit edilmesinin önemini artırmaktadır.

2.2 Tezin amacı

Bu çalışmada topraklama sisteminin topraklama direnci ve topraklama empedansı ölçümü için daha önceden yapılan çalışmalar incelenecektir. Yapılan çalışmalar ışığında topraklama sisteminin toprak empedansının belirlenmesi amacıyla yeni ölçme düzeneği dizayn edilmiştir. Dizayn edilen ölçme düzeneği gerçek sistemde denenmiş ve sonuçlar geleneksel metotlarla karşılaştırılmıştır.

2.3 Tezin yapısı

İkinci bölümde topraklama sistemlerinde topraklama direnci ölçme metotları ayrıntılı olarak incelenmektedir. Topraklama direnci ölçmek için geliştirilen metotlar incelenmiş ve aralarındaki farklar ortaya konulmuştur. Topraklama sistemlerinde topraklama direnci ölçülmesi ile ilgili yazılan en çok kabul gören metotlar incelenmiştir. Ayrıca toprak sistemlerinde topraklama empedansı ölçme metotları ile ilgili yazılan makaleler incelenmiş ve aralarındaki farklar belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde topraklama empedansı ölçme metotları açıklanmıştır. Bu metotlar arasındaki farklar belirlenmiştir. Yeni dizayn edilen topraklama empedansı ölçme düzeneği açıklanmıştır. Toprak empedansının belirlenmesinde en büyük sorunun sistemdeki gürültü olduğu görülmüştür. Sistemde mevcut olan gürültü önceden belirlenerek sistemden elde edilen verilerden bu gürültü temizlenmiştir. Tasarlanan topraklama empedansı ölçme düzeneği gerçek topraklama sisteminde kullanılmış ve ölçme sonucu elde edilen veriler çözümlenmiştir.

Dördüncü bölümde topraklama direnç ölçme metotları ve topraklama empedans ölçme düzeneği kullanılarak gerçek topraklama sistemlerinde ölçme yapılmıştır. Yapılan ölçme sonuçları bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Topraklama direnci ve topraklama empedansı ölçme sonuçları karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölüm yapılan ölçüm ve literatür tanımlamalarından çıkarılan sonuçlar bu bölümde sunulmuş olup ayrıca ileri çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

3 TOPRAKLAMA DİRENCİ VE EMPEDANSI ÖLÇME TEKNİKLERİ

3.1 Giriş

Bu bölümde kabul gören topraklama direnci ve topraklama empedansı ölçme metotları incelenecektir. Bu güne kadar değişik test sistemleri tanımlanmış ve bu test sistemleri ölçme işlemlerinde kullanılmıştır. Kullanılan bu metotlar bu bölümde kısaca özetlenmektedir.

Topraklama direncinin doğru olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Sistemde meydana gelebilecek herhangi toprak arızası anında toprak potansiyel artışı (Ground Potential Rise, GPR) tamamen toprak direncinin büyüklüğü ile orantılıdır.

$$GPR=I \cdot Z_E$$

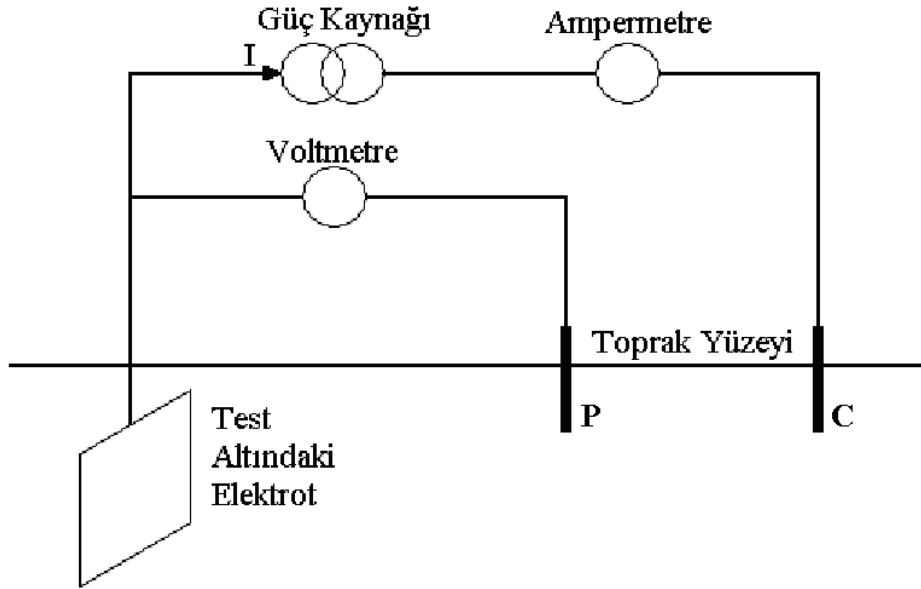
Denklem (2. 1)

Böylece herhangi bir toprak arızası anında oluşabilecek *adım* (Step) ve *dokunma* (Touch) gerilimleri hesaplanabilir hale gelir ki bu gerilimler güvenli topraklama şebekesinin temelini oluştururlar. Standartlarda [1, 2, 3, 4, 5] müsaade edilebilir dokunma geriliminin değeri adım gerilimine göre daha düşük olduğu kabul edildiğinden topraklama sisteminin dizaynı bu gerilim esas alınarak yapılmaktadır. Topraklama sisteminin etrafında meydana gelebilecek adım ve dokunma gerilimleri GPR'ın değişim oranı ile artacak ve azalacaktır. GPR değişimi direk topraklama direnci ve empedansının büyüklüğü ile ilgilidir. Bundan dolayı topraklama direncinin ve empedansının doğru belirlenmesi güvenlik analizi için en önemli şarttır.

3.2 Topraklama Direnci Ölçme Yöntemleri

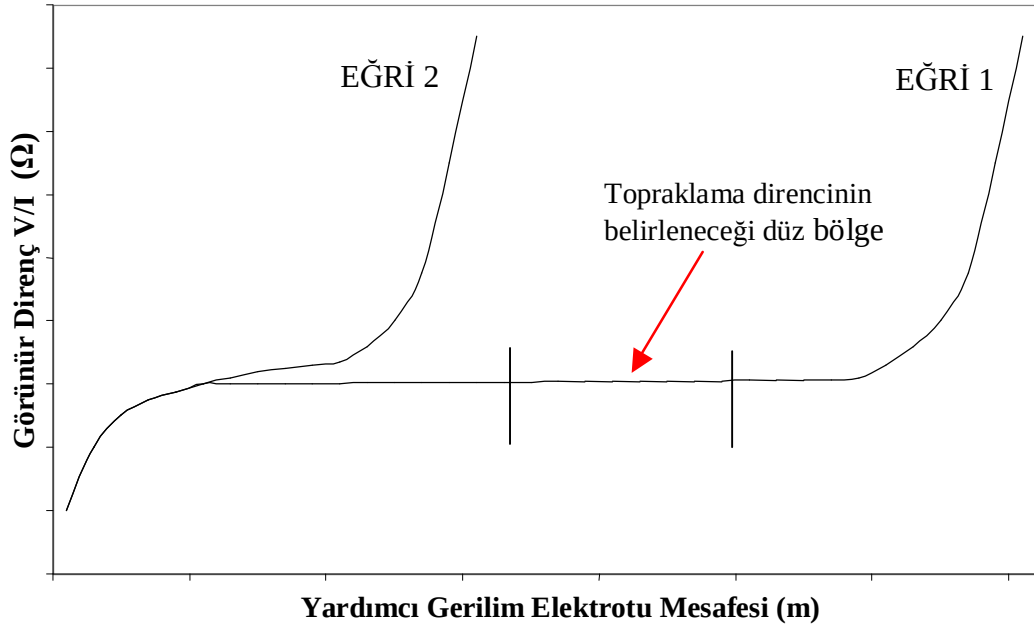
Morgan ve Taylor [8] 1930'lu yılların ortalarında topraklama direnci ölçme metotları hakkında halen kabul gören makaleler yazmışlardır. Yazarlar topraklama sisteminin topraklama direncinin ölçülmesinde en uygun metodun '*Gerilim Düşümü*'

metodu [9] olduğunu söylemişlerdir. Bu metot için kullanılan ölçme devresi Şekil 2. 1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 1. Gerilim Düşümü Metodu için Ölçme Düzenağı

Test altındaki elektrot ile belirli bir uzaklıktaki yardımcı akım elektrotu (C) arasında test akımının dolaşması gerekmektedir. Dolaşan test akımı toprak yüzeyinde bir gerilim profili oluşturacaktır. Test elektrotu ile yardımcı akım elektrotu arasındaki mesafeden değişik uzaklıklarda yardımcı gerilim elektrotu (P) ile test altındaki elektrot arasındaki gerilimin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. V/I oranı görünür direnci verdiği bilinmektedir. Yardımcı gerilim elektrotu mesafesi değişimi ile görünür direncin değişim eğrisi çizildiğinde test altındaki elektrotun mesafeye göre topraklama direnç eğrisini verecektir.



Şekil 2. 2. Topraklama Direnci Eğrisi

Şekil 2. 2’de topraklama direnci eğrisi görülmektedir. Topraklama direncinin belirlenebilmesi için, topraklama direnci eğrisinin birinci eğride görüldüğü gibi düz bir bölgeye sahip olması gerekmektedir. Bu düz bölge test altındaki elektrotun topraklama direnç değerini vermektedir. Düz bölgenin oluşabilmesi için test altındaki elektrot ile yardımcı akım elektrotu arasında açıklığın yeterli uzaklıkta olması gereklidir. Eğer test altındaki elektrot ile yardımcı akım elektrotu arasında yeterli açıklık yoksa Şekil 2. 2’de ikinci eğri görüldüğü gibi düz bölge oluşmayacak ve test altındaki elektrotun topraklama direnci tespit edilemeyecektir.

Yazarlar homojen toprak içine gömülmüş yarı küre şeklindeki elektrota göre düz bölgenin oluşumunu açıklamışlardır. Analizler sonucunda test altındaki elektrotun topraklama direnci elektrotu kapsayan sınırlı toprak hacmi içinde oluşmaktadır. Bundan dolayı, test altındaki elektrot ile yardımcı akım elektrotu arasında yeterli mesafenin bulunması durumunda yardımcı gerilim elektrotu her iki elektrotun etki bölgesinin dışında olacağından görünür topraklama direnci sabit olacaktır.

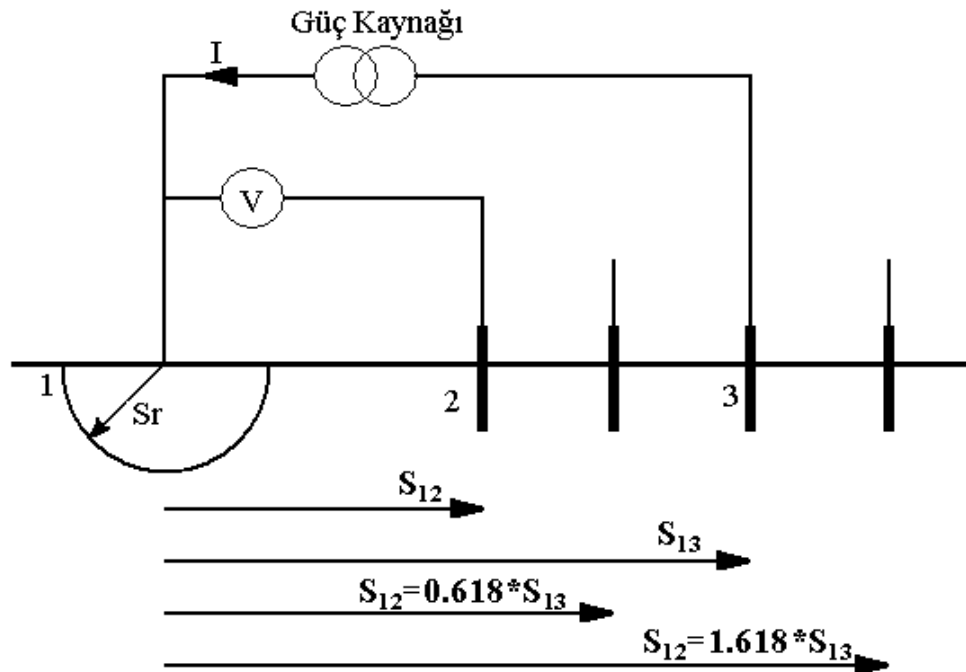
Margon ve Taylor geniş alanları kapsayan topraklama şebekelerinde pratik olarak topraklama direncinin belirlenebilmesi için çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmalar sonucunda yardımcı akım elektrotu topraklama şebekesinin en uzun

köşegeninden yedi katı uzaklıkta yerleştirildiğinde topraklama direnç eğrisinde topraklama direncini verecek olan düz bölgenin oluştuğunu belirtmektedirler. Ancak Tagg [10] aynı topraklama şebekesini paylaşan güç santralleri ve enerji iletim hatları için bu mesafenin elde edilemeyeceğini belirtmiştir.

Tagg daha sonraki makalesinde [11] topraklama direnç eğrisindeki düz bölgenin erken oluşmamasına test ekipmanlarının kararlıktan yoksun olmasının sebep olduğunu açıklamıştır. Bu sınırlamanın üstesinden gelebilmek için testin artan yardımcı akım elektrot mesafeleri için tekrarlanmasını önermektedir. Eğer farklı yardımcı akım elektrotu (C) mesafeleri için topraklama direnç eğrilerinin düz bölgelerinin önemli bölümü üst üste ise, bulunan görünür direncin elektrotun topraklama direncini verdiği kabul edilmektedir.

3.2.1 Topraklama Direnç Eğrilerinin Analizi

Curdts [12] homojen toprak içine gömülmüş yarı küre elektrotu baz alarak ‘Gerilim Düşümü’ metodu için analitik bir model geliştirmiştir.



Şekil 2. 3. Curdts'un ‘% 61.8’ Metodu İçin Test Elektrotlarının Yerleri

Şekil 2. 3'deki sistemde test altındaki yarı küre elektrotun (1) yarı çapı S_r olup yardımcı akım elektrotu (3) test altındaki elektrottan (1) S_{13} , yardımcı gerilim elektrotu (2) S_{12} mesafesi kadar uzağa yerleştirilmiştir. Curdts Denklem (2. 2)'de görünür direnç değeri R 'yi elde etmiştir. Denklem (2. 2)'de yarı küre elektrotun boyutu ve toprak öz direnci ρ değeri ifadede yer almaktadır. Ayrıca yardımcı elektrotlar yarı küre elektrotun merkezinden bağlı olduğu kabul edilmektedir. Test altındaki elektrota enjekte edilen test akımının frekansının düşük olduğu ve akım elektrotlarının düzgün olmayan akım dağılımlarından etkilenmeyecek kadar uzakta olduğu farz edilmiştir.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{S_r} - \frac{1}{S_{12}} - \frac{1}{S_{13} - S_r} + \frac{1}{S_{13} - S_{12}} \right]$$

Denklem (2. 2)

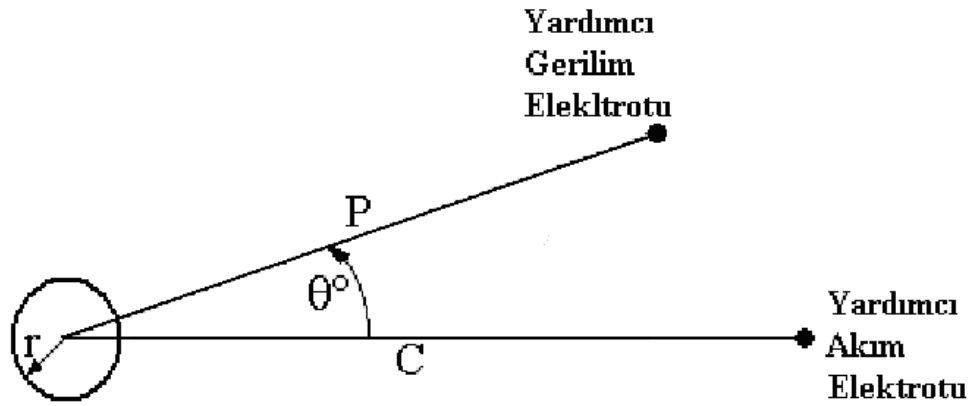
Denklem (2. 2)'in birinci terimi S_r yarı çaplı yarı elektrotun topraklama direncini göstermektedir ve bu direnç ölçülebilir. Geri kalan üç terimin karşılıklı direnç değerleri olduğu görülmektedir. Curdts özel bir yardımcı gerilim elektrotu mesafesi için karşılıklı direnç değerlerinin ortadan kalkacağını ve bundan dolayı bu noktadaki görünür direnç ölçümünün test altındaki elektrotun topraklama direncini verdiğini ispatlamıştır. Curdts bunu yarı küre elektrotun çapının yardımcı akım elektrotu mesafesi ile karşılaştırıldığında çok küçük ($S_r \ll S_{13}$) olduğundan yarı küre elektrotun yarı çapının ihmal edildiğinde ve Denklem (2. 2) tekrar formüle edilip S_{12} 'ye göre çözümlendiğinde iki kök bulunacağını ve bu köklerin $S_{12}=0.618S_{13}$ ile $S_{12}=1.618S_{13}$ olduğunu göstermiştir. $S_{12}=1.618S_{13}$ durumunda yardımcı gerilim elektrotu mesafesinin yardımcı akım elektrotu mesafesinden daha ileri pozisyonda olması gerekmektedir. Bu durum uygulama zorluğundan dolayı pratikte kabul görmemiştir.

Curdts topraklama direnç eğrisinde düz bölgeye gerek kalmadan elektrot sisteminin topraklama direncinin bulunabileceğini göstermiştir. Bu yöntem geniş alanları kapsayan topraklama sistemleri için ölçme kolaylığı sağlamaktadır. Curdts'un yeni metodunda yardımcı gerilim elektrotunun pozisyonu test altındaki elektrot ile yardımcı akım elektrotu mesafesinin % 61.8'i yardımcı gerilim elektrotu

mesafesi olarak alınmasına dayanmaktadır. Bu mesafe için yapılacak ölçme test altındaki elektrotun topraklama direncini verecektir.

3.2.2 Geniş Alanları Kaplayan Topraklama Şebekeleri için Ölçme Yöntemleri

1964 yılında Tagg geniş alanları kaplayan topraklama şebekeleri hakkında yayınladığı üç makaleden birincisini yayınladı [13].



Şekil 2. 4. Yardımcı Gerilim Elektrotu Yeri

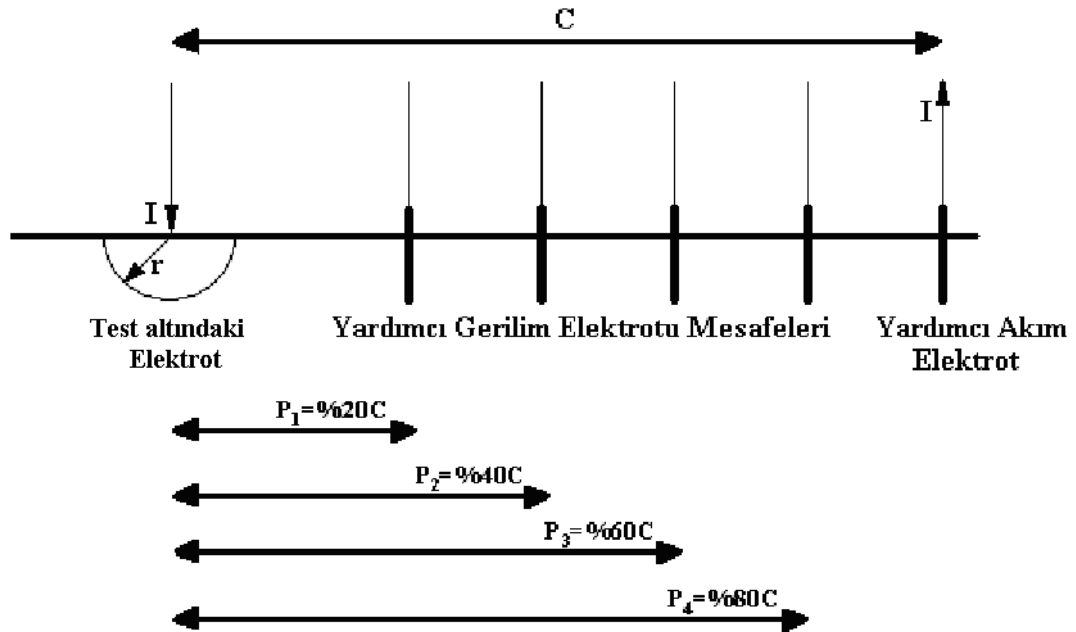
Şekil 2. 4’de görüldüğü gibi Tagg görünür direncin hesaplanmasında yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotunun aynı hat üzerinde olmadığı durumu da ele alarak daha geniş kapsamlı olarak görünür direnci hesaplamıştır. Tam olarak belirtilmese de Denklem (2. 3)’den test altındaki elektrotun yarıçapı yardımcı akım elektrotu mesafesiyle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir kadar küçük olduğu kabul edildiği anlaşılmaktadır.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{\sqrt{P^2 + C^2 - 2PC \cos \theta}} \right]$$

Denklem (2. 3)

Denklem (2. 3)'de r , yarı küre elektrotun yarıçapı, P ve C sırasıyla yardımcı gerilim elektrotu ile yardımcı akım elektrotu mesafeleri ve θ yarı küre merkezinde P ve C 'ye çizilen doğrular arasındaki açıyı ifade etmektedir. Ayrıca toprak homojen olan toprak öz direnci ρ olarak kabul edilmektedir. Tagg, Şekil 2. 4'de görülen yapıda test altındaki elektrotun gerçek topraklama direncinin ölçülebilmesi için yardımcı elektrotun yerinin tam olarak belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmalar sonucunda maksimum θ açısının $\pm 28.95^\circ$ olabileceğini ve Denklem (2. 3)'in köklerinin de tek yardımcı gerilim elektrotu mesafesinde kesiştiğini ispatlamıştır.

Tagg % 61.8 metodunun ana sorunun yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu mesafelerinin belirlenmesin ve test altındaki yarı küre elektrot sisteminin merkezinin kullanılması olduğunu belirtmektedir. Gerçek topraklama şebekesinde metot uygulandığında, test altındaki elektrot sisteminin merkezinin belirlenmesi oldukça zordur ve ayrıca yardımcı gerilim elektrotu mesafesinin ($P = \% 61.8C$) doğru olarak belirlenmesi de güçleşmektedir. Tagg bu problemten dolayı yeni bir teknik olan 'Dört Nokta' metodunu geliştirmiştir [13].

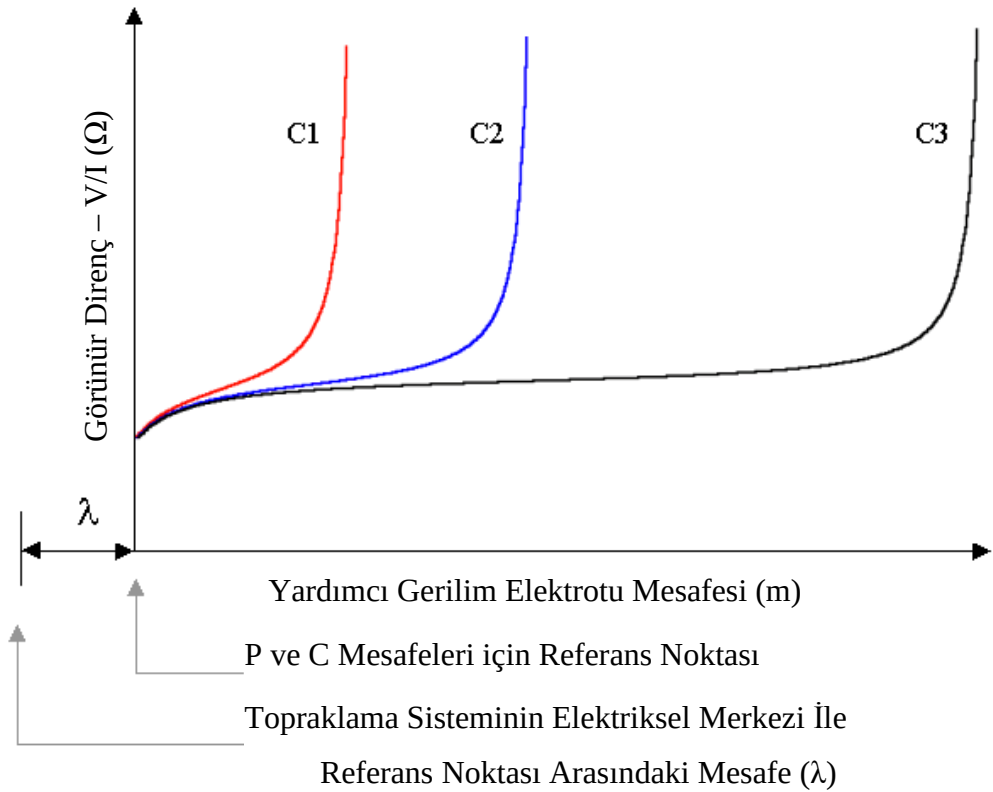


Şekil 2. 5. Dört Nokta Metodu için Ölçme Düzenegi

Bu metotta yarı küre elektrotun elektriksel merkezinin bilinmesi gerekmeden test altındaki yarı küre elektrotun topraklama direncinin bulunması hedeflemiştir. Bu

metodun ölçme sistemi Şekil 2. 5' de görüldüğü gibidir. Yeni metotta sabit yardımcı akım elektrotu mesafesi için P_1 , P_2 , P_3 ve P_4 yardımcı gerilim elektrotu mesafelerinden, R_1 , R_2 , R_3 ve R_4 görünür topraklama dirençlerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Her iki yardımcı elektrot mesafesi uygun referans noktasından ölçülebilir. C noktası mesafesi için hata x olarak kabul edilirse (referans noktası ile elektrot sisteminin elektriksel merkezi ile arasındaki mesafe), P noktasının mesafesi için de hata y ise Denklem (2.3) tekrar formüle edilip, x ve y değerleri çözümlendiğinde ölçülen görünür direnç değeri ve P noktasının mesafesinin beklenen değerinde büyük olduğu görülür. Tagg makalesinde yardımcı gerilim elektrotu mesafesini yardımcı akım elektrotu mesafesinin % 20 ila % 80'i arasında alınmasını tavsiye etmektedir.

Tagg serinin ikinci makalesinde [14] geniş alanları kaplayan topraklama sistemlerinin topraklama direncinin belirlenmesi için yeni bir metot sunmaktadır. Bu tekniğe '*Kesişen Eğriler*' metodu adını vermiştir. Bu metotta C_1 , C_2 ve C_3 üç farklı yardımcı akım elektrotu mesafesi için topraklama direnç eğrilerinin bulunması esasına dayanmaktadır. Şekil 2. 6'da görüldüğü gibi $C_3 > C_2 > C_1$ olacak şekilde alınması tavsiye edilmektedir.



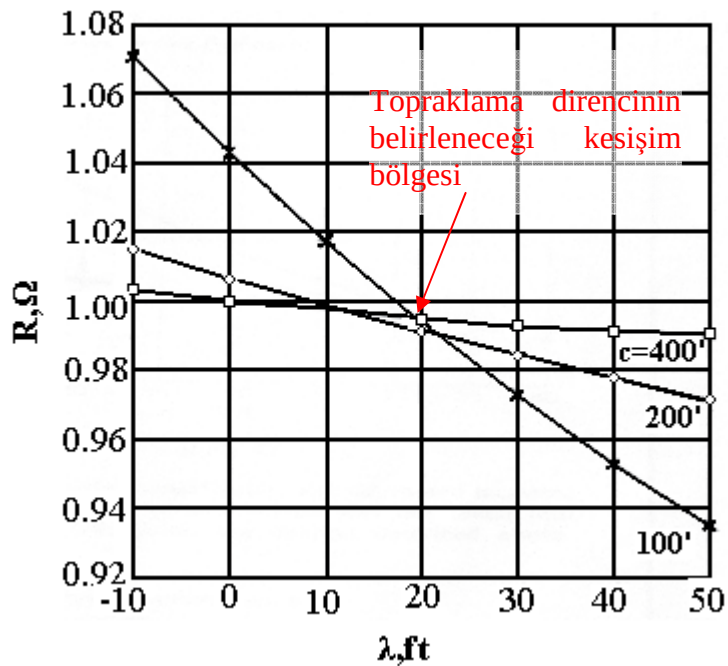
Şekil 2. 6. Kesişen Eğriler Metodu Eğrileri

λ değeri topraklama sisteminin elektriksel merkezi ile P ve C mesafeleri için kabul edilen referans arasındaki mesafe olarak kabul edilmiştir. Yardımcı gerilim elektrotu mesafesi Denklem (2. 4)'deki gibi hesaplanır.

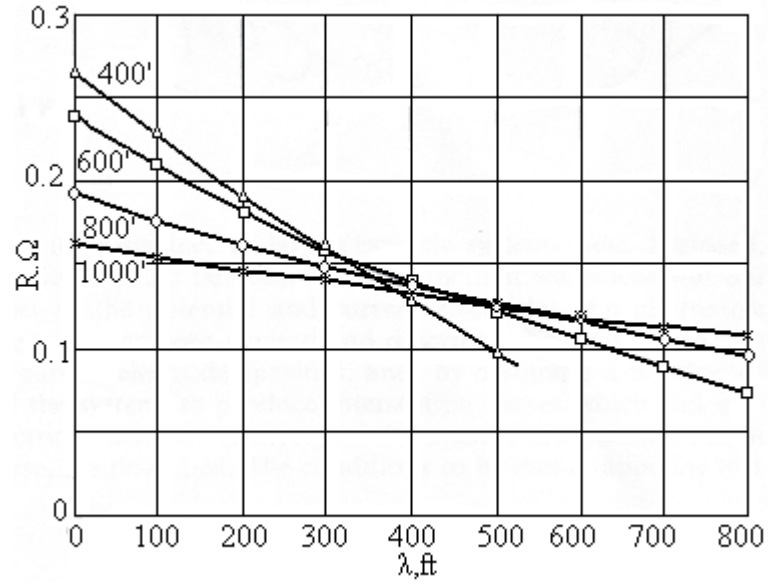
$$P_{required} = 0.618(C + \lambda) - \lambda$$

Denklem (2. 4)

Denklem (2. 4)'de λ değeri hesaba katılmaktadır ve böylece en uygun P bulunur. Üç farklı görünür direnç ölçümü Denklem (2. 4)'den elde edilen yardımcı gerilim elektrotu mesafesine göre yapılır. Görünür direnç değerlerinin λ değerine bağlı değişimi arasında grafik çizildiğinde Şekil 2.7'ye benzer bir eğri elde edilecektir. Tagg üç farklı eğrinin tek λ değerinde kesişme noktasının oluşturacağını ve bu noktanın da tek görünür topraklama direnç değerini vereceğini söylemektedir. Bu kesişme teorikte gerçekleşmektedir. Tagg bu kesişmenin pratikte gerçekleşmediğini görmüştür. Pratikte eğriler eğimli bir üçgen oluşturacak biçimde kesişmektedir. Bundan dolayı test altındaki elektrotun topraklama direnci için kesişim üçgeninin ağırlık merkezindeki görünür topraklama direnç değerinin bulunmasını önermektedir.

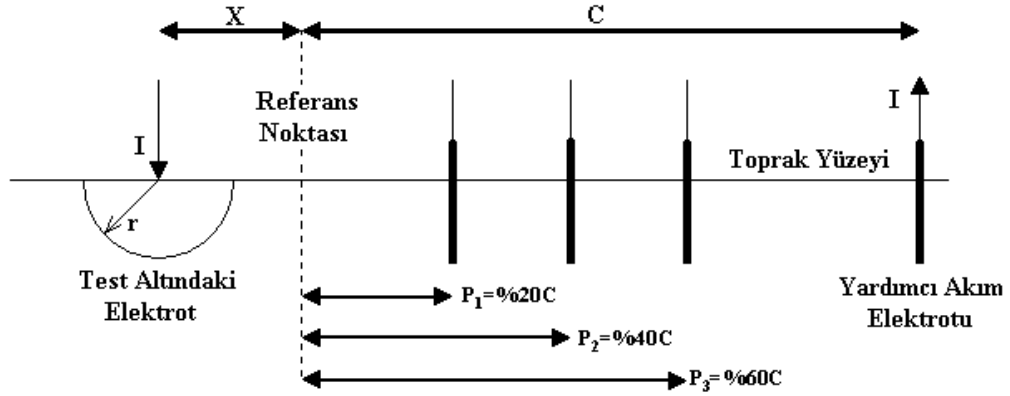


Şekil 2.7 Kesişen Eğri Metodunda Topraklama Direnci- λ Değişimi Eğrileri
(Referans [14]'den Alınmıştır)



**Şekil 2. 8 Kesişen Eğri Metodunun Geniş İletim Şebekesinde Uygulanması
(Referans [14]'den Alınmıştır)**

Tagg'a göre '*Kesişen Eğriler*' metodunun gelişmesi yardımcı akım elektrotu mesafesi için gerekli mesafenin küçültülmesi konusunda haklı çıkarmıştır. Kare bir topraklama şebekesi için C mesafesinin test altındaki şebekenin bir köşesi kadar küçük alınabileceğinin ve C mesafesini köşe uzunluğunun iki katını geçmesine gerek olmadığını belirtmektedir. İlk makalesinin [13] yorumunda Tagg '% 61.8' ve '*Dört Nokta*' metodlarında yarı küre elektrotun topraklama direncinin ölçülmesi için önerdiği yardımcı akım elektrotu mesafeleriyle tezat oluşturmaktadır. Şekil 2. 8' de Tagg tarafından yapılan büyük iletim şebekesi topraklama direnci ölçümünde düzgün kesişme meydana gelmemiştir. Birçok kesişim oluşmuş ancak tek bir üçgen oluşturacak kesişimler oluşmamıştır.



Şekil 2. 9. Eğim Metodu için Yardımcı Elektrot Yerleşim Şekli

Tagg serinin son makalesinde [15] daha önce yayınlamış olduğu ‘Dört Nokta’ metoduna [14] benzer olan ‘Eğim’ metodunu açıklamaktadır. Bu metodun ‘Dört Nokta’ metodundan farkı bu teknikte test altındaki elektrot sisteminin elektriksel merkezi ile seçilen referans nokta arasındaki fark ‘x’ mesafesi olarak kabul etmekte olup P ve C noktalarının ölçülmesinde ‘x’ hatasının her iki yardımcı elektrot için aynı olduğunu belirtmektedir. ‘Eğim’ metodu için ölçme düzeneği Şekil 2. 9’ de gösterildiği gibidir.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{P} - \frac{1}{C} + \frac{1}{C-P} \right]$$

Denklem (2. 5)

Test altındaki elektrot sisteminin elektriksel merkezi ile seçilen referans noktası arasındaki ‘x’ hata miktarıyla ölçülen P ve C değerleri (P+x) ve (C+x) olacaktır. Bu değerler Denklem (2. 5)’de yerlerine yazılırsa Denklem (2. 6) elde edilecektir.

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{P+x} - \frac{1}{C+x} + \frac{1}{C-P} \right]$$

Denklem (2. 6)

Denklem (2. 6) tekrar yazılırsa

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} - \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{P+x} + \frac{1}{C+x} - \frac{1}{C-P} \right]$$

Denklem (2. 7)

Denklem (2. 7)'da $\rho/2\pi r = R_{\infty}$ yarı küre elektrotun gerçekteki direncidir. Bundan dolayı

$$R = R_{\infty} - K \left[\frac{1}{P+x} + \frac{1}{C+x} - \frac{1}{C-P} \right]$$

Denklem (2. 8)

Denklem (2. 8)'de $K = \rho/2\pi r$ olarak alınmıştır. Topraklama direnç eğrisinin eğimi sürekli değişmektedir. Bu değer Denklem (2. 8)'nin P 'ye göre türevi ile belirlenebilir.

$$\frac{dR}{dP} = K \left\{ \frac{1}{(P+x)^2} + \frac{1}{(C-x)^2} \right\}$$

Denklem (2. 9)

Denklem (2. 9)'in üç bileşenden oluştuğu görülmüştür. Pratikte elde edilen topraklama direnç eğrisinin herhangi noktası için eğim belirlenmesi kolay değildir. Bunun için Tagg seçilen üç farklı P noktası ($P_1 = \% 20 C$, $P_2 = \% 40 C$, $P_3 = \% 60 C$ yardımcı gerilim elektrotu mesafesi için) R_1 , R_2 ve R_3 direnç değerlerinin ölçülmesi önermektedir. μ eğim katsayısı Denklem (2. 10)'den hesaplanmaktadır.

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$$

Denklem (2. 10)

Denklem (2. 10)'da x hatası bulunabilir. Seçilen $P=0.2C$, $P=0.4C$ ve $P=0.6C$ için üç denklem elde edilir.

$$R_1 = R_\infty - K \left[\frac{1}{C+x} + \frac{1}{0.2C+x} - \frac{1}{0.8C} \right]$$

Denklem (2. 11)

$$R_2 = R_\infty - K \left[\frac{1}{C+x} + \frac{1}{0.4C+x} - \frac{1}{0.6C} \right]$$

Denklem (2. 12)

$$R_3 = R_\infty - K \left[\frac{1}{C+x} + \frac{1}{0.6C+x} - \frac{1}{0.4C} \right]$$

Denklem (2. 13)

Denklem (2. 11), Denklem (2. 12) ve Denklem (2. 13) sonucu elde edilen değerler Denklem (2. 10)'da yerlerine yazılır ve çözümlenirse K ve R_∞ değerleri elimine olacak ve denklemde sadece C ve x değerleri kalacaktır. μ ve $\alpha=x/C$ şeklinde yazılırsa

$$\alpha^3(250-125\mu) + \alpha^2(300-150\mu) + \alpha(170-115\mu) + (24-42\mu) = 0$$

Denklem (2. 14)

α ve μ değeri için Denklem (2. 14) çözümlenebilecektir. Gerçek yardımcı akım elektrotunun mesafesi $C(1+\alpha)$ olur. Eğer % 61.8 metodu uygulandığında, doğru değer ölçülmesi için yardımcı gerilim elektrotunun mesafesi $0.6180C(1+\alpha)$ olacaktır ve referans noktasından yapılacak ölçme için mesafe Denklem (2. 15)'de görüldüğü gibidir.

$$P_T = 0.618C(1+\alpha) - \alpha C = C(0.618 - 0.382\alpha)$$

$$\frac{P_T}{C} = 0.618 - 0.382\alpha$$

Denklem (2. 15)

Denklem (2. 14) ve Denklem (2. 15) yardımıyla elde edilen tablodan [15] hesaplanan μ eğim katsayısı için P_T/C oranını vermektedir. Bu tablo Ek-1'de verilmiştir

Tagg ‘Eğim’ metodunun eğim katsayısının 2’den büyük olması durumunda yeterli yardımcı akım elektrotu mesafesinin bulunmadığının göstergesi olduğunu söylemektedir (Tagg tarafından yarı küre elektrot modeline uygulandığında tavsiye edilen yardımcı gerilim elektrotu mesafeleri için Eğim katsayısının 2’den büyük olamayacağı belirtiliyor).

3.3 Topraklama Direncinin Hesaplanması

Toprak potansiyel yükselmesinin (Ground Potential Rise-GPR) minimum olması için topraklama sisteminin çok küçük topraklama direnç değerine sahip olması gerekmektedir. Standartlar [1, 2, 3, 4] iletim merkezleri ve geniş alanları kaplayan topraklama sistemleri için topraklama direncinin 1Ω veya altında olması gerektiği belirtilmektedir. Daha küçük topraklama sistemleri için topraklama direncinin 1Ω ila 5Ω arasında olması gerekmektedir.

3.3.1 Basit Topraklama Direnci Hesabı

Topraklama sisteminin topraklama direncinin tam olarak hesaplanabilmesi için ilk önce topraklama sisteminin içine gömüleceği toprağın öz direncinin belirlenmesi gerekmektedir. Topraklama direnci öncelikle topraklama sisteminin kapladığı alana bağlıdır. Homojen yapıya sahip toprak yapısı içinde minimum topraklama sisteminin kapladığı tüm alan yarı küre elektrot kabul edilerek Denklem (2. 16)’deki formülle hesaplanabilir.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

Denklem (2. 16)

Denklem (2. 16)’de kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir.

A; Topraklama sisteminin kapladığı alan (m^2)

ρ ; Toprak öz direnci ($\Omega.m$)

R_g ; Topraklama direnci (Ω)

Topraklama direncinin bulunabilmesi için yukarıdaki formüle topraklama çubuk yapısı homojen toprak içine yatay topraklama iletkenleri olarak gömüldüğü kabul edilerek Laurent [16] ve Niemann [17] tarafından ikinci terim eklenmiştir. Denklem (2. 16) bu değişimle Denklem (2. 17)'deki hali almıştır.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T}$$

Denklem (2. 17)

L_T ; Toprak içine gömülü iletken uzunluğu (m)

Denklem (2. 17)'de topraklama kazıkları topraklama iletken uzunluğuna yatay uzunluk olarak eklenmektedir. Halbuki topraklama kazıkları toprak direncinin azaltılmasında oldukça etkilidir.

Denklem (2. 17)'nin ikinci bileşeni topraklama sistemini oluşturan topraklama iletkenlerinin yapının gerçek topraklama direncini artırdığını göstermektedir. Bu fark gömülen iletken uzunluğunun artırılması ile azalacaktır ve sonsuz L_T değeri yaklaşık 0 olduğu görülmektedir.

Sverak [18] Denklem (2. 17)'ya topraklama ızgarasının gömülü olduğu derinliği ekleyerek denklemi geliştirmiştir.

$$R_g = \rho \cdot \left[\left(\frac{1}{L_T} \right) + \left(\frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Denklem (2. 18)

h ; Topraklama sisteminin toprak yüzeyinden derinliği

Topraklama kazığı kullanılmayan topraklama sistemlerinin toprak direncinin hesaplanmasında Denklem (2. 18) kullanılması tavsiye edilmiştir.

3.3.2 Scwharz denklemleri

Scwharz [19] homojen toprak içinde yatay (topraklama ızgarası) ve dikey (topraklama kazıkları) elemanlarını toplam topraklama direnci hesaplanma işleminde kullanılmasını sağlayan yeni bir denklem geliştirmiştir. Scwharz'ın denkleminde yatayda düz olarak yayılmış çapraz yapıli topraklama ızgara direni R_1 , toprak içinde küre yapısına benzetilen topraklama kazıklarının direnci R_2 ve topraklama ızgarası ile topraklama kazıkları arasındaki karşılıklı direnç R_M olarak tanımlanmıştır.

Scwharz toplam topraklama direncinin hesaplanması için Sunde [20] ve Rüdenberg [21] tarafından ilk kez kullanılan topraklama ızgarası direnci, topraklama kazıkları direncini ve karşılıklı direncin de kullanıldığı topraklama direnci denklemini elde etmiştir.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_M^2}{R_1 + R_2 - 2R_M}$$

Denklem (2. 19)

R_1 ; Topraklama ızgarası iletkenlerinin topraklama direnci (Ω)

R_2 ; Topraklama kazıklarının topraklama direnci (Ω)

R_M ; Topraklama ızgarasının topraklama direnci R_1 ile topraklama kazıklarının topraklama direnci R_2 arasındaki karşılıklı direnç (Ω)

Topraklama ızgarasının topraklama direnci ;

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{a'} \right) + \frac{k_1 L_C}{\sqrt{A}} - k_2 \right]$$

Denklem (2. 20)

ρ ; Toprak öz direnci

L_C ; Topraklama ızgarasında kullanılan toplam iletken uzunluğu (m)

a' ; $(a \cdot 2h)^{0.5}$ h derinliğindeki iletken için (m)

$2a$; İletken çapı (m)

A ; Topraklama ızgarasının kapladığı alan (m^2)

k_1, k_2 ; Sabit katsayı (referans [4]'dan figure 25(a) ve figure 25b))

Topraklama kazıklarının topraklama direnci;

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi \cdot n_R \cdot L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 \cdot L_R}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right]$$

Denklem (2. 21)

L_R ; Topraklama kazıklarının boyu (m)

$2b$; Topraklama kazıklarının çapı (m)

n_R ; Alanda kullanılan topraklama kazığı miktarı

Topraklama ızgarası ile topraklama kazıkları arasındaki karşılıklı direnç

$$R_M = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{L_R} \right) + \frac{k_1 \cdot L_C}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right]$$

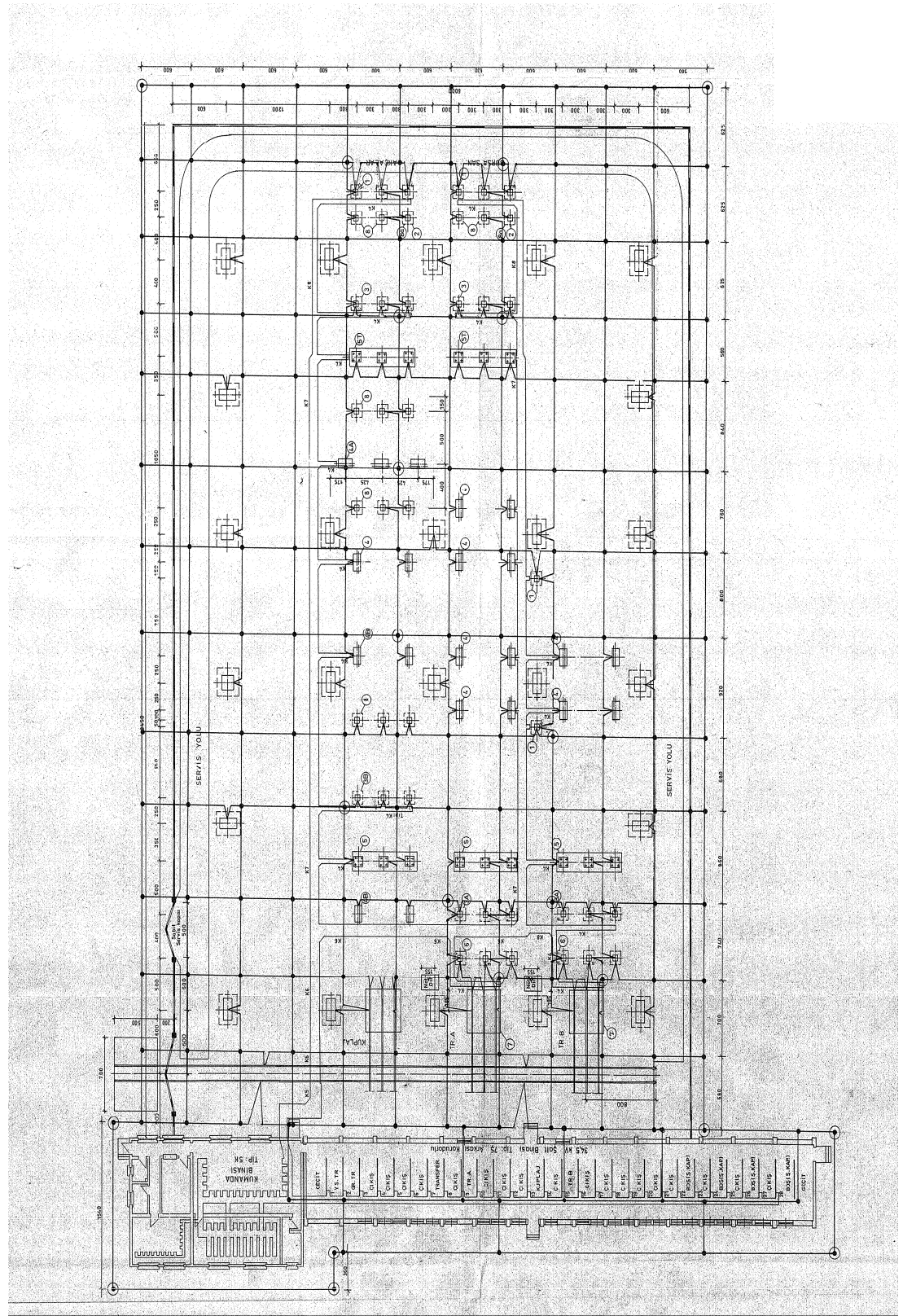
Denklem (2. 22)

Topraklama ızgarası direnci ve topraklama kazıklarının birleşik topraklama direnci her iki bileşeninden daha küçük olacaktır. Scwharz denklemlerinin doğru sonuç verdiğini ilk önce teorik olarak ve model testlerde kanıtlamıştır.

Topraklama direnç hesaplanması sonucu bulunan topraklama direnç değerleri ölçme ile desteklenmelidir. Her hesap tekniği toprak yapısının homojen olduğu kabulüne göre hesaplama yapılmaktadır. Gerçekte ise homojen yapıya sahip toprak yapısı bulmak oldukça zordur. Bundan dolayı yapılan hesaplamalar ölçme ile desteklenmelidir. Farklı standartlar için kullanılan topraklama direnç denklemleri Tablo 2. 1'de görüldüğü gibidir.

Tablo 2. 1. Farklı Standartlar için Topraklama direncinin Hesaplanmasında Kullanılan Denklemler

STANDART	Topraklama Direnç Hesaplanmasında Kullanılan Denklem
CLC TC112[6]	$R_{CLC} := \frac{\rho}{4 \cdot r}$
ER S34[3]	$R_{S34} := \frac{R_{E1} R_{E2} - R_{E1}^2}{R_{E1} + R_{E2} - 2 \cdot R_{E12}}$
BS7354[7]	$R_{BS} := \rho \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{r}{r + 2.5h} \right)}{8 \cdot r \cdot K_r} + \frac{1}{L} \right]$
IEEE 80[4]	$R_{IEEE} := \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \left[\frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \right]$ Topraklama kazıksız sistem
	$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_M^2}{R_1 + R_2 - 2 R_M}$ Topraklama kazıklı sistem



Şekil 2. 10. 154/34.5 kV’luk Trafo Merkezi

3.3.3 Topraklama direnci hesaplama yöntemlerinin gerçek sistem için uygulanması

Şekil 2. 10'da gösterilmiş topraklama sisteminin topraklama direnci hesaplanmıştır. Topraklama sisteminin 70 mx110 m alan üzerinde oturduğunu ve topraklama ızgarasının 16x12 gözden oluştuğunu Şekil 2. 10'da görülmektedir. Topraklama ızgarasının 16x12 gözden oluşmasından dolayı toprak içine gömülen iletken uzunluğu 2600 m olarak hesaplanmıştır. Topraklama sistemini kazıklarla desteklenmiştir. Sistemde 21 adet topraklama kazığı kullanılmıştır. Her bir kazık 3m boyundadır. Toprak öz direnci 18,85 Ω .m, topraklama ızgarasının toprak yüzeyinden derinliği 0.6 m olarak verilmiştir. Bu veriler kullanılarak topraklama direnç değerleri Tablo 2. 2'de verilmiştir.

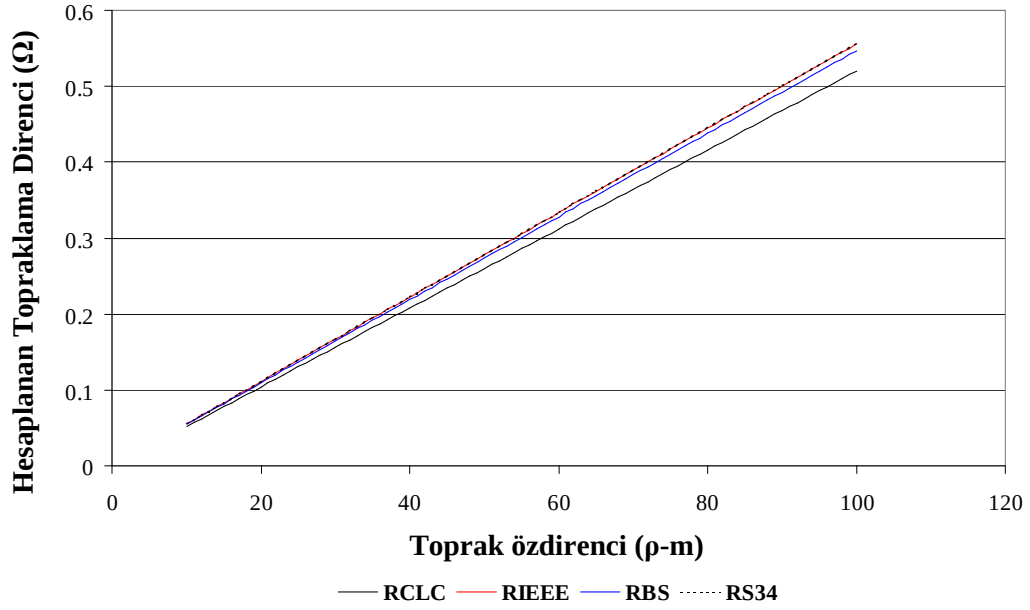
Topraklama direncinin toprak öz direnci ile değişimini incelemek için aynı topraklama sisteminde toprak öz direnç değeri 10-100 Ω m arasında değiştirilmiştir. Analiz sonucu Şekil 2. 10'da verilmiştir. Toprak öz direnci değişimi topraklama direncinin değişimi arasında lineer bağlantı olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 2'de sonuçları verilmiş topraklama direnç hesaplama sonuçlarından sadece standart CLC TC112 [6]'de hesaplanan topraklama direnç değeri diğer standartlarla hesaplanan topraklama direncinden küçüktür. Bunun sebebi CLC TC112 [6] standardı topraklama sisteminin oturduğu alanı yarı küre olarak kabul etmesidir. Sadece yarı kürenin direncini hesapladığı için topraklama direnci küçük olmaktadır. Diğer metotlarda ise kullanılan topraklama elemanların topraklama dirençleri ve karşılıklı endüktans değerleri hesaba katılmaktadır. Eğer toprak içine gömülmüş topraklama iletkenlerinin boyu sonsuz olarak kabul edilirse CLC TC112 [6] standardı ile bulunan topraklama direnci bulunacaktır.

Tablo 2. 2. Topraklama Direnci Hesap Sonuçları

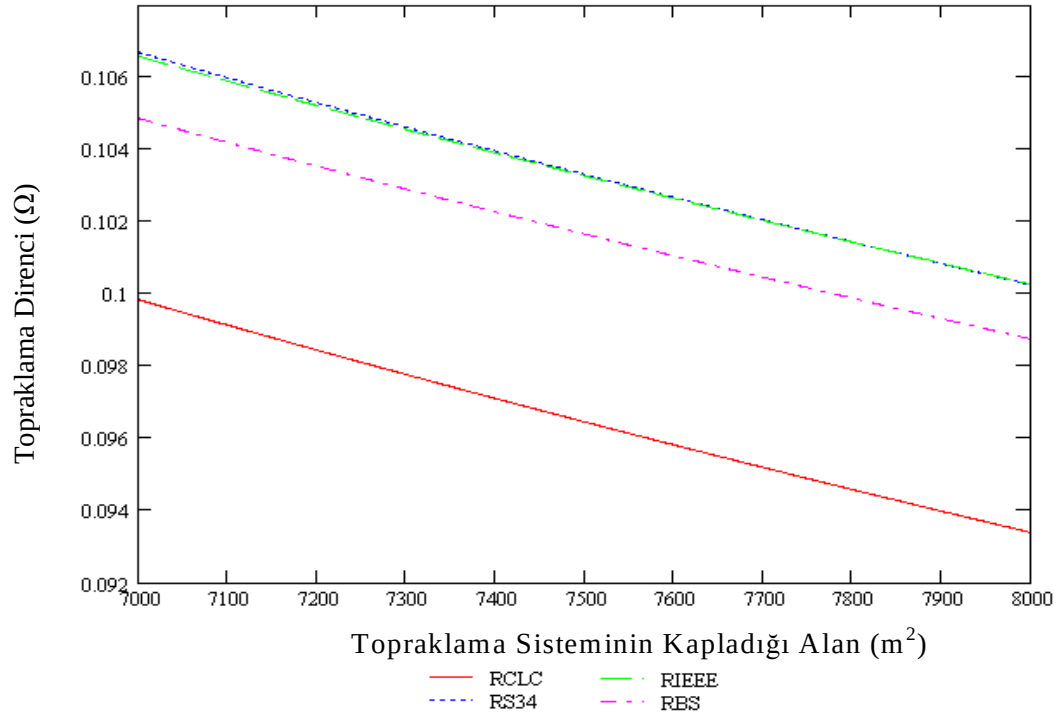
STANDART	KULLANILAN TOPRAKLAMA DİRENÇ DENKLEM	ELDE EDİLEN TOPRAKLAMA DİRENÇ SONUÇLARI
CLC TC112	$R_{CLC} := \frac{\rho}{4 \cdot r}$	0.098 Ω
ER S34	$R_{S34} := \frac{RES1 \cdot RES2 - RES1^2}{RES1 + RES2 - 2 \cdot RES12}$	0.105 Ω
BS7354	$R_{BS} := \rho \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{r}{r + 2.5h} \right)}{8 \cdot r \cdot K_r} + \frac{1}{L} \right]$	0.105 Ω
IEEE 80	$R_{IEEE} := \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \left[\frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \right]$	0.103 Ω
	$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_M^2}{R_1 + R_2 - 2 R_M}$	0.0085 Ω

Topraklama direnç hesaplanmasında Scwharz denklemleri kullanıldığında aynı topraklama sistemi için topraklama direnci 0.085 Ω olarak bulunmuştur. Bu sonuçla topraklama sistemi topraklama kazıkları da içeriyorsa Scwhartz denklemlerinin kullanılması daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

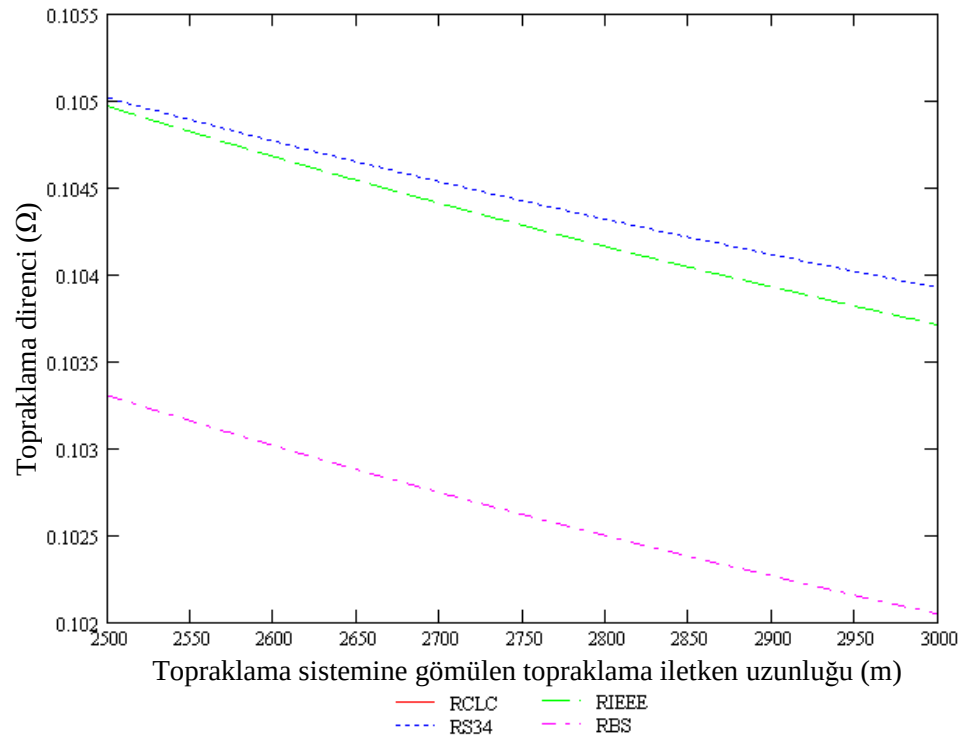


Şekil 2. 11. Toprak Özdirenci Değişimi ile Topraklama Direnci Değişim Eğrisi

Topraklama ızgarasının kapladığı alan ile topraklama direnci arasındaki değişim eğrisi Şekil 2. 11’de görüldüğü gibidir. Topraklama sisteminin kapladığı alan genişledikçe topraklama direncinin azaldığı görülmektedir. Alan ile topraklama direnci arasında ters orantı vardır. Aynı zamanda topraklama sisteminde kullanılan topraklama iletkeninin artması da topraklama direnci değerini azaltmaktadır (Şekil 2. 12 ve Şekil 2. 13’de görüldüğü gibi).



Şekil 2. 12. Topraklama Sisteminin Kapladığı Alan ile Topraklama Direnci Değişimi Eğrisi



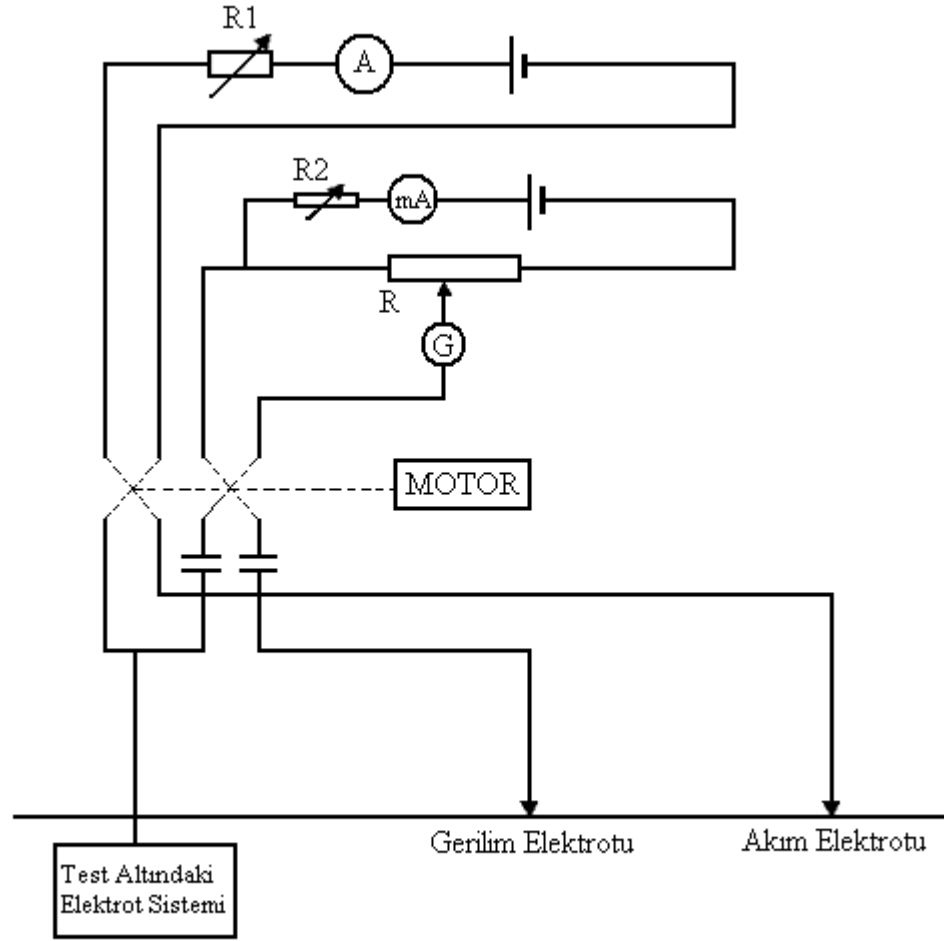
Şekil 2. 13. Topraklama Sisteminde Kullanılan Topraklama İletken Uzunluğu ile Topraklama Direnci Değişimi Eğrisi

Topraklama sisteminin topraklama direnci hesaplanması sonucu elde edilen topraklama direnç değerleri ölçme ile desteklenmelidir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen topraklama direnç değeri ile ölçme sonucu elde edilen topraklama direnci aynı olmamaktadır. Bunun sebebi topraklama sisteminin bulunduğu toprak yapısı tüm hesaplamalarda homojen kabul edilmektedir. Gerçekte ise toprak yapısı homojen olmamaktadır. Ayrıca kullanılan topraklama sisteminde kullanılan topraklama elemanlarının oluşabilecek hataların tespiti amacıyla yapılan hesaplama sonuçları ölçme ile desteklenmelidir.

3.4 Topraklama Direnci Ölçme Ekipmanları

Morgan ve Taylor [8] topraklama direnci ölçümü yapılabilmesi için geliştirilmiş birçok ekipman hakkında bilgi vermişlerdir. Direk akım (D.C.) uygulayan ve yönü periyodik olarak değişen doğru akım (kare dalga D.C.) uygulayan olarak sınıflandırılmıştır. Yazarlar topraklama direncinin belirlenmesi için kullanılan yönü periyodik olarak değişen doğru akıma benzer olan 50 Hz' lik A.C sinyalinde pratik olarak topraklama direncinin belirlenmesinde kullanılabileceğini ifade etmektedirler. Küçük topraklama sistemlerinde bu yöntem doğru sonuç verebilir fakat geniş alanları kaplayan topraklama sistemlerinin 50 Hz empedans değeri doğru değer elde edilmesini etkileyecektir.

Larsen ve Nordell [22] geniş iletim şebekelerinin topraklama direncinin ölçülmesinde 135 V çıkış gerilimli 350 mA doğru akım kullanarak ölçme yapmışlardır. Ölçme sistemine gerilim uygulandıktan sonra ölçümü en kısa sürede tamamlamışlardır çünkü ölçme zamanı uzadıkça test altındaki sistemin iyonizasyon seviyesi artmaktadır. Bu etkiyi minimum düzeyde tutabilmek için ölçme işlemi olabildiğince hızlı yapılmaya çalışılmalıdır.



Şekil 2. 14. Periyodik Olarak Yön Değiştiren DC ile Örnek Topraklama Direnci Ölçme Devresi

Tagg [13, 23] Şekil 2. 14’de verilen örnek ölçme düzeneği gibi topraklama direnci ölçmek için uygun birçok ekipmanı tanıtmaktadır. Yardımcı akım ve gerilim elektrotu devrelerindeki kondansatör grupları ölçme elemanlarından gelen kaçak DC sinyalleri temizlemek için kullanılmıştır. Herhangi güç frekansındaki akım senkron olmayan doğrultucularla doğrultulmuştur. Bu model modern dijital topraklama direnci ölçme cihazlarının temeli olmuştur.

3.5 Toprak Empedansı Ölçme Ekipmanları

Topraklama sisteminin empedansının ölçülmesi topraklama sisteminin direncinin ölçülmesine benzer şekilde topraklama sistemi şebekesi ile topraklama şebekesinde uzakta bir noktaya yerleştirilmiş yardımcı akım elektrotu arasında test akımı enjekte etmek ile yapılmaktadır. Potansiyel değişimi (ölçmenin yapıldığı toprak yüzeyinde oluşan potansiyel dağılımı) genellikle yardımcı akım elektrotu yönünde oluşmaktadır halbuki yardımcı akım elektrotu kablosu ile yardımcı gerilim elektrotu kablosu arasındaki karşılıklı endüktans değerini azaltmak için farklı yönde yapılmalıdır. Yardımcı akım elektrotunun kablosu ile yardımcı gerilim elektrotu kablosu arasında 90° açı oluşacak şekilde ölçme yapılmasıyla bu durumun etkisi minimuma indirilebilir. 90° açı oluşacak şekilde ölçme yapılması ‘ 90° ’ metodu olarak adlandırılmaktadır. İlerleyen bölümlerde bu metotlar ayrıntılı olarak incelenecektir.

Duke ve Smith [24] eğer topraklama sistem şebekesine A.C. akım enjekte edilirse yardımcı akım elektrotu kablosu ile yardımcı gerilim elektrotu kablosu arasında oluşacak karşılıklı endüktans değerinden dolayı gerçek empedans değerinin üzerinde bir empedans değerinin bulunacağını kanıtlamışlardır. Ölçmenin gerçekleştirilmesi için yardımcı akım elektrotu kablo hattından 180° farklı yönde potansiyel dağılımını belirlenmesini önermektedirler. Halbuki bu yaklaşımları potansiyel dağılımının belirlenmesi için doğru değildir. Bu şekilde ölçme gerçekleştirmekle sadece yardımcı elektrot kabloları arasındaki karşılıklı endüktans değerini elemine etmiş olmaktadırlar. Potansiyel dağılımının belirlenmesinde en uygun metot yardımcı akım elektrotu kablosundan 90° farklı açı ile ölçülmesi ile belirlemektir. Böylece karşılıklı endüktans değeri tamamen elimine edilmemiş sadece etkisi en aza indirilmiş olacaktır. Geliştirilen aygıt sistemi ana güç kaynağından nominal 10 A’lık A.C akım elde etmeyi sağlamaktadır. Gerilim devresindeki güç frekansı gürültüsü ölçme başlamadan ayarlanabilir gerilim kaynağı kullanılarak bastırılmıştır. Alçak geçiren filtre kullanılarak yüksek dereceli harmoniklerin gerilim ölçümü üzerindeki etkileri elemine edilmiştir. Bu tip ölçme sisteminin en büyük dezavantajı güç frekans karışmasının etkilerinin görülememesidir.

Dick, Erven ve Harvey [25] notch filtre kullanılarak güç frekans karışmasının etkilerini ortadan kaldıran bir ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Kaynak grubu nominal 10 A ila 100 A arasında A.C. akım vermektedir. Sunulan bu metodun en büyük avantajı güç frekansından biraz yüksek bir frekans kullanmasıdır ve böylece gürültü oranını verecek yeterli sinyal bulunmuştur. Ölçülen empedansın güç frekansındaki empedansı verdiği kabul etmişlerdir. Bu kabulü kanıtlayacak hiç veri verilmemektedir ayrıca uyarı notunda test frekansının güç frekansından 10 Hz farklı olmasına izin verilmiştir.

Reynolds ve grubu [26] hassas faz detektörü (PSD) kullanarak güç frekansını ve harmonik karışmasını elimine etmiştir. Bu ölçme düzeneğinde empedans ölçülürken güç frekansının üzerinde üç farklı frekansta ölçme yapıldığı ve topraklama sisteminin güç frekansındaki empedansının bu ölçme sonuçları yardımıyla tahmin edilerek bulunması tavsiye edilmiştir.

Laiding ve Zupa [27] hassas faz detektörü (frekans seçici voltmetre) ve nominal 0.5 A, 65 Hz-70 Hz frekans değerleri arasında AC test akımı verebilen güç amplifikatöründen oluşan ölçme düzeneği geliştirmişlerdir. Sistemdeki parazit sinyallerinin seviyesi en uygun şekilde ölçmüştür. Topraklama sisteminde daima parazit gerilimi mevcut olduğu için bazı anlarda frekans seçici voltmetre aşırı yüklendiğini belirlenmiş. Bu problem güç frekansını merkez alan dar bant geçiren filtrenin gerilim devresinde kullanılmasıyla çözümlenmiştir. Fakat ölçüm değerleri seçilen enjeksiyon frekansında filtre takılarak doğrulanmalıdır. Tekrar ölçülen topraklama direnci güç frekans empedansdır.

Lu ve Shier [28] 'Fast Fourier Transform' (FFT) kullanarak topraklama sisteminin empedansını hesaplamaktadır. Bu ölçme düzeneğinde 'beyaz gürültü' sinyali topraklama sisteminin frekansa tepkisinin belirlemek için kullanılmıştır. Basılan 'Beyaz Gürültü' test akımı 1.5 kW'lık güç amplifikatöründen ve bant aralığı 10-400 Hz arasında ayarlanabilen 'random gürültü' jeneratörüyle elde edilmiştir. Yazarlar büyük topraklama sistemlerinde güç frekans empedansının değerinin kare dalga ile ölçme yapan dijital topraklama direnç ölçme cihazlarının ölçtüğü değerden farklı olduğunu göstermişlerdir. Tipik iletim sistemlerinin pratik testleri empedans değerinin periyodik olarak yön değiştiren DC akım ile elde edilen dirençten % 40 daha fazla olduğunu göstermektedir.

Sarmiento et al. [29], Lu ve Shier'ın önerdiği sistemin benzerini geliştirmişlerdir. Yazarlar toprak empedansı ölçümünün düşük enjeksiyon akımlarıyla (<10 A) yapılmasını daha iyi sonuç vereceğini belirlemişlerdir. Ayrıca yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu arasında 90° 'lik açı ile atılmasının pratik olmadığını karşılıklı endüktans değerinin etkisini yok etmek için düzeltme faktörüyle gerçek empedansın bulunabileceğini söylemektedirler. Daha sonra karşılıklı endüktans değerini düzelteren bir faktörü hesaplayarak sunmuşlardır [30].

Pillai ve Dick [31], FFT spektrum analizörü temel alan empedans ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Nominal test akımı 10 A ile 50 A arasında değişebilen bu akım 5 kW'lık portatif jeneratör ile elde edilmektedir. Ölçme siteminde izin verilen frekans aralığı 65 Hz – 70 Hz arasındadır.

Meliopoulos, Cokkinides ve Abdallah [32] ticari amaçlı empedans ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Elde edilen datalar bilgisayar yardımı ile işlenmektedir. Test sinyalleri 2 A ile 20 A arasında değişen random sinyallerdir. Test altındaki elektrot sistemi, yardımcı akım ve gerilim elektrotlarının yerleşimi bilgisayar tarafından modellenmekte ve ölçme düzeneği bilgisayar tarafından belirlenen empedans değeriyle sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle elde edilen değerler topraklama sisteminin birebir modellenmesiyle ilişkilidir.

3.6 Karşılıklı Endüktans Değerinin Hesaplanması

Birçok araştırmacı toprak geri dönüş devresindeki karşılıklı endüktans üzerine çalışma yapmıştır [33, 34, 35, 36, 37, 38, 39]. Bu etki telekomünikasyon ve güç iletim sistemlerinde önemli yer tutar.

Velazquez et al. [30] yardımcı gerilim elektrotu ve yardımcı akım elektrotu arasındaki ilişkiyi ve oluşan topraklama sistem empedansı ölçümü üzerinde çalışmalar yapmış ve iki denklem geliştirmişlerdir. Bunlardan birincisi paralel iletkenler arasındaki bağlantının hesaplanmasını diğer denklem ise birbirine belirli açıyla bağlanan yardımcı akım ve gerilim elektrot iletkenleri arasındaki bağlantının hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu denklem Foster'ın [35] ilk çalışmalarında ortaya

çıkılmış ve daha kısa yardımcı elektrot mesafeleri için hesap edilmiştir. Diğer metot Carson'un [33] yüksek gerilim hatları ile ilgili çalışmasında belirtilmektedir.

Bu çalışmalardan toprakta dolaşan akım yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu üstünde potansiyel farka sebep olmaktadır. Bu nedenden dolayı ölçüm potansiyelinde iki tane bileşene dikkat edilmelidir;

i-) Gerçek potansiyel farkı test altındaki topraklama sistemi ile yardımcı gerilim elektrotu arasında oluşmaktadır.

ii-) AC akan akımın yardımcı gerilim elektrotu üzerinde oluşturduğu potansiyel farktır.

Gerçek empedans değeri Denklem (2.23)'da gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$Z_{gerçek} = Z_{ölçülen} - Z_{mutual}$$

Denklem (2.23)

Karşılıklı endüktans yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu paralel ise maksimum olacaktır. Karşılıklı endüktans değeri yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu arasında 90°'lik açı olduğunda minimum olacaktır. Yardımcı elektrotlar arasındaki açı 'Ψ' 90°'den az ise ölçülen empedans gerçek empedans değerinden büyük, Ψ>90° ise ölçülen empedans gerçek empedans değerinden küçük olacaktır.

3.7 Topraklama Direnç ve Empedans Standartları

Dünyada topraklama sistemlerinin kurulumu ve dizaynı ile ilgili çeşitli standartlar mevcuttur. Sonraki bölümlerde topraklama direnci ve empedansı ölçümüyle ilgili standartlarda topraklama direnç ve empedansının ölçülmesiyle ilgili temel kurallar ve özellikler incelenmiştir.

3.7.1 UK Standartları

İngiltere’de temel standart olan ER S34’de [3] elektrik dağıtım istasyonlarında ‘*Toprak Gerilim Yükselmesi (GPR)*’ hesaplanması esasına dayanmaktadır. Standartta önerilen DC test cihazlarının sadece topraklama sisteminin alanının 10 m²’den küçük tesislerde uygulanabileceği belirtilmektedir. Daha büyük tesislerde AC test cihazlarının kullanılması zorunludur. ‘*Gerilim Düşümü*’ metodu anlatılırken yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotu arasında 90° açı oluşturularak karşılıklı endüktans değerinin etkisinin minimum değere indirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Genel kabul gören ‘*Gerilim Düşümü*’ metodu [8, 9, 12, 13] DC test metodu olduğu ve yardımcı akım elektrotu ile yardımcı gerilim elektrotunun aynı hat üzerinde olması durumunda da başarılı olacaktır.

ER S34 standardında minimum yardımcı akım elektrot mesafesi için aşağıdaki Denklem (2. 24)’de belirtilmiştir.

$$C = 10 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Denklem (2. 24)

Denklem (2. 24)’de C minimum akım elektrotu mesafesini, A topraklama sisteminin alanını belirtmektedir. Ayrıca yardımcı gerilim elektrotu 90° ile yerleştirirken % 15’den fazla hata yapılmaması gerektiği belirtilmektedir. Standartta yardımcı gerilim elektrotu birkaç değişik yönde ve farklı enjeksiyon akımları uygulanarak ölçmenin tekrarlanmasını tavsiye etmektedir.

3.7.2 Amerikan Standartları

Amerikan standardı IEEE Std 81-1983 [1] toprak direnci ölçmek için ‘*Gerilim Düşümü*’ metodunu [8, 9] önermektedir. Düz bölgenin belirlenemediği durumlarda alternatif metot olarak ‘% 61.8’ metodu [12, 13] veya ‘*Kesişen Eğriler*’ metodunun [14] kullanılabileceğini söylemektedir. Topraklama direncinin ölçülmesi için değişik ölçme sistemlerinin kullanılabileceğini belirtmektedir.

Ek standart olan, IEEE Std 81.2-1991 [2] topraklama empedansı ölçme teknikleri için özel hazırlanmıştır. Değişik ölçme ekipmanları sırasıyla tanıtılmış ve yardımcı akım elektrotu ile test altındaki elektrot sistemi arasındaki tek bir mesafe için bulunmasına yardımcı olmaktadır. Bu uzaklık topraklama sisteminin uzunluğunun 6.5 katı olarak belirtilmektedir. Bu uzunluk standartta, topraklama sistem ızgarasının en uzun köşegeni olarak tanımlanmaktadır.

3.7.3 Türk standardı

Türk standartlarında [5] topraklama sisteminin topraklama direnci ve topraklama empedansı ölçülmesi için herhangi bir ölçme metodu tavsiye edilmemektedir. Topraklama sisteminin yapısına uygun olarak ölçme işlemi için uygun olan metodun kullanılması gerektiği belirtiliyor. Toprak öz direncinin belirlenmesi için '*Dört Sonda Metodu*' (Wenner metodu) ile yapılması gerektiği belirtiliyor.

Küçük ve orta büyüklükte topraklama sistemleri için (tek bir derin topraklayıcı, şerit topraklayıcı, hava hattı topraklayıcıları ve orta gerilim şebekesinde topraklama sistemleri) yardımcı gerilim elektrotunun mesafesi en büyük topraklayıcı uzunluğunun 2.5 katı (20 m'den az olmamak kaydıyla) yardımcı akım elektrot mesafesi 40 m^2 den az olmamak kaydıyla dört katı mesafede alınması tavsiye edilmektedir. Büyük topraklama sistemleri için (hat iletkenlerinin kullanıldığı ölçme düzenekleri için) yardımcı akım elektrotu mesafesinin 5 km'den az olmaması gerektiği belirtiliyor.

3.8 Sonuç

Mevcut birçok topraklama direnci ölçme metodu aynı yapıya sahip toprak içine gömülmüş yarı küre elektrot sistemini temel almaktadır. '*Gerilim Düşümü*' metodu için en önemli dezavantajın iletim şebekelerinin topraklama direncinin ölçülmesi için çok geniş yardımcı akım elektrotu mesafesine ihtiyaç duymasıdır. '*% 61.8*', '*Kesişen Eğriler*' ve '*Eğim*' metotları için '*Gerilim Düşümü*' metodu kadar uzun yardımcı akım elektrotu mesafesine ihtiyaç yoktur. Halbuki tüm metotlarda yardımcı akım elektrotu mesafesi eşdeğer yarı küre elektrotun yarı çapı ile bağlantılıdır.

Geniş alanları kaplayan elektrot sistemleri (yüksek gerilim hatlarını topraklaması ve kablo kılıfları) iletim şebekelerinin topraklama empedansının önemli reaktif bileşeni olacağı için hesaba katılması gerekmektedir. Sonuç olarak geleneksel DC ölçme cihazlarının kullanılması yarar sağlamamaktadır. Topraklama sistemini empedansının belirlenmesi için AC ölçme teknikleri üzerinde çalışılmalıdır.

4 TOPRAKLAMA EMPEDANS ÖLÇME TEKNİKLERİ

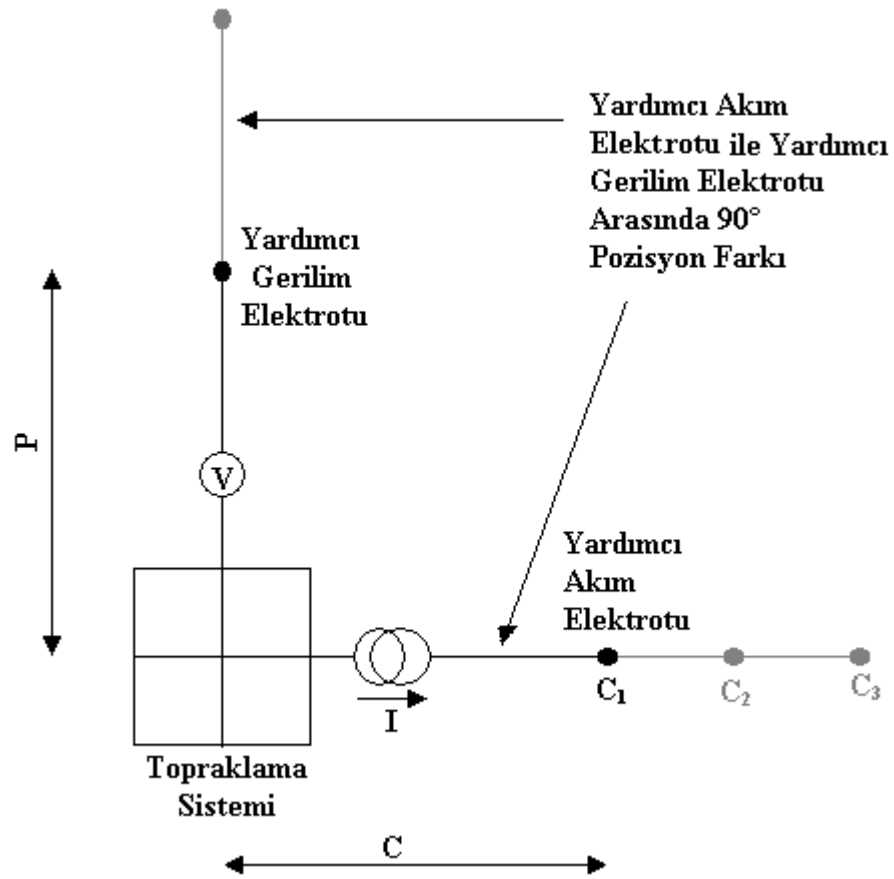
4.1 Giriş

Topraklama empedansının ölçülmesi için topraklama standartları [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] ölçme için topraklama sistemine AC akım enjekte edilmesini tavsiye etmektedir. DC ölçme teknikleri ile ölçme yapılması tavsiye edilmemektedir. Bu tekniklerle yapılan hesaplamalar gerçek değere oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Arıza durumunda topraklama sistemi çevresinde ortaya çıkan (toprak gerilim yükselmesi GPR) potansiyel artışı hesaplanmasında toprak direncinin büyüklüğü önemli yer teşkil etmektedir. Bundan dolayı emniyetin daha yüksek olması için topraklama empedansı göz önüne alınmalıdır.

Bu bölümde topraklama empedansı ölçme teknikleri incelenecek. Bölüm-2’de anlatılan topraklama direnci ölçme metotları ve topraklama empedans ölçme ekipmanları ışığında yeni bir topraklama empedansı ölçme sistemi tanımlanacaktır.

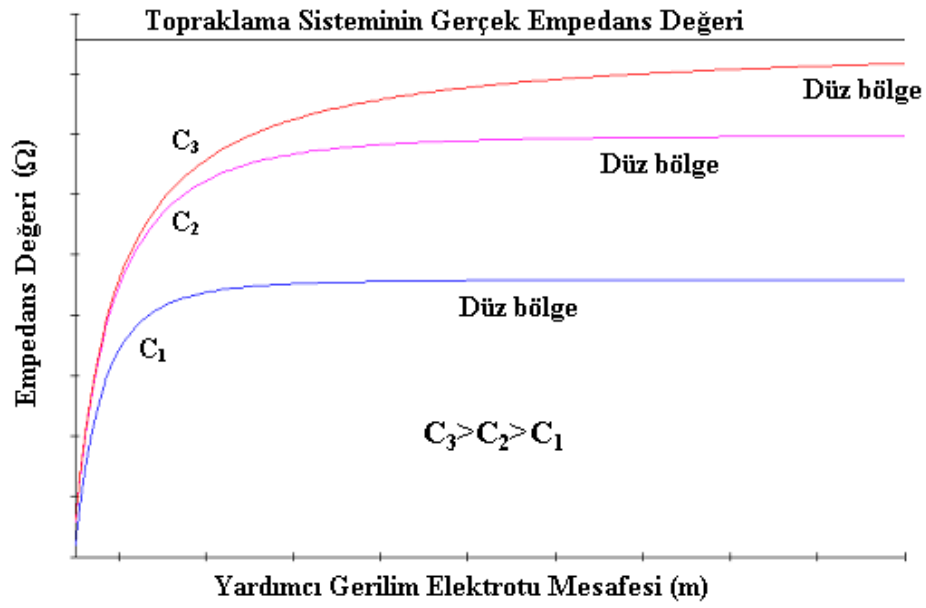
4.2 ‘90°’ Metodu

‘90°’ metodu [15, 17, 29,] topraklama sisteminde güç frekansında empedans bulunmasında kullanılan metottur. Çünkü yardımcı akım ve yardımcı gerilim elektrot bağlantıları arasında karşılıklı endüktans oluşmayacaktır.



Şekil 3. 1. '90°' Metodu için Ölçme Düzeneği

Şekil 3. 1'de '90°' metodu için test elektrotlarının yerleşim şekli görülmektedir. Yardımcı akım elektrotu C₁ noktasına yerleştirilmiş ve yardımcı gerilim elektrotu bu noktadan 90° açı ile yerleştirilmiştir.

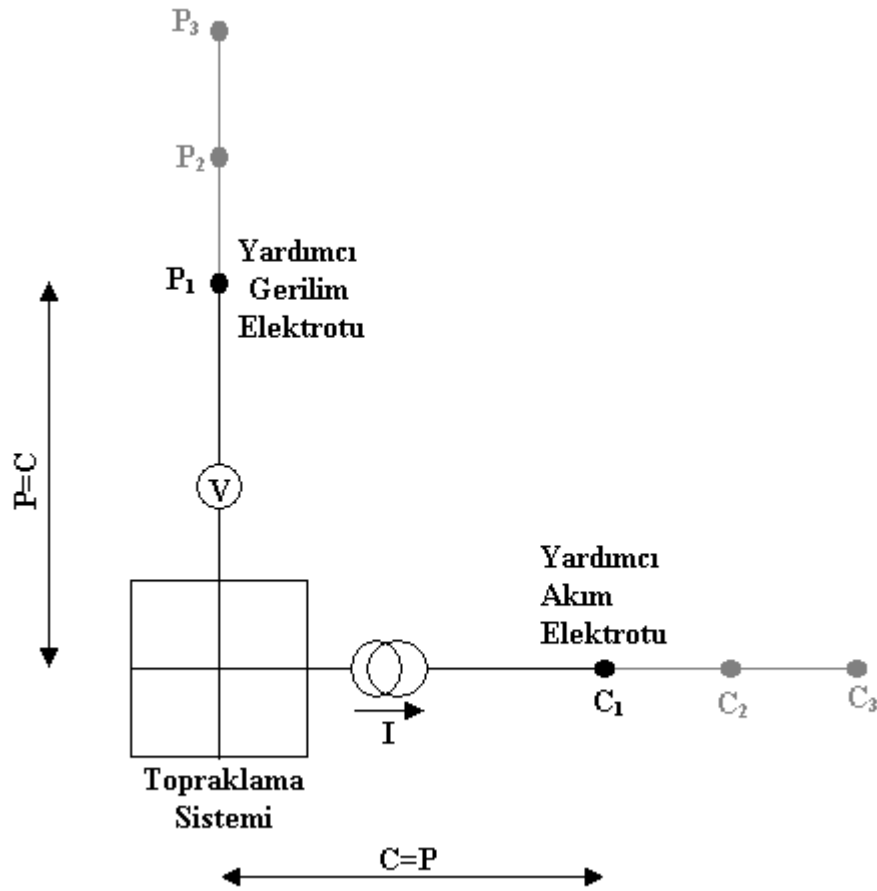


Şekil 3. 2. '90°' Metodu için Toprak Empedans Eğrileri (Referans [40])

Şekil 3. 2'de yardımcı gerilim elektrot yerleşimine göre empedans değerinin değişimi verilmiştir. Burada açık olarak görülmektedir ki ölçülen empedans değeri yardımcı akım elektrotu topraklama sisteminden uzaklaştıkça toprak empedans değeri de artmaktadır. Yardımcı akım elektrotu mesafesi C₂ noktasına alındığında farklı bir toprak empedans eğrisinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 3. 2 (C₂)'de görüldüğü gibi ölçülen empedans değeri değişmektedir. Buradan anlaşılabileceği gibi yardımcı akım elektrotunun mesafesini topraklama sisteminin empedans değerinin tespitinde önemli yer teşkil etmektedir.

4.3 'Sadeleştirilmiş 90°' Metodu

Topraklama sisteminin toprak empedansının ölçülmesi '90°' metodunun sadeleştirilmesi ile yapılmıştır. Bu metoda 'sadeleştirilmiş 90°' metodu denmektedir. Bu metod gerekli olan yardımcı akım ve yardımcı gerilim elektrotu mesafesi birbirine eşit alınarak toprak empedans eğrisinin elde edilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 3. 3. ‘Sadeleştirilmiş 90°’ Metodu için Ölçme Düzeneği

Şekil 3. 3’de yardımcı akım elektrotu seçilen C_1 mesafesine yerleştirilir ve yardımcı gerilim elektrotu yardımcı akım elektrotundan 90° ’lik açı farkı olacak şekilde P_1 noktasına C_1 ile aynı uzaklığa yerleştirilir. Bu özel yardımcı elektrot mesafeleri için empedans değeri ölçülür. Daha sonra yardımcı akım elektrotu mesafesi C_2 mesafesine artırılır ve aynı artış miktarı için yardımcı gerilim elektrotu P_2 mesafesine alınarak empedans ölçme işlemi tekrarlanır. Bu işlemler empedans değeri eğrisi elde edilene kadar yardımcı akım ve yardımcı gerilim elektrotu mesafesi n adet artırılarak empedans ölçme işlemi tekrarlanır ve böylece empedans değeri eğrisi elde edilir.

4.4 Aynı yönde Topraklama Sistem Empedansının Ölçümü

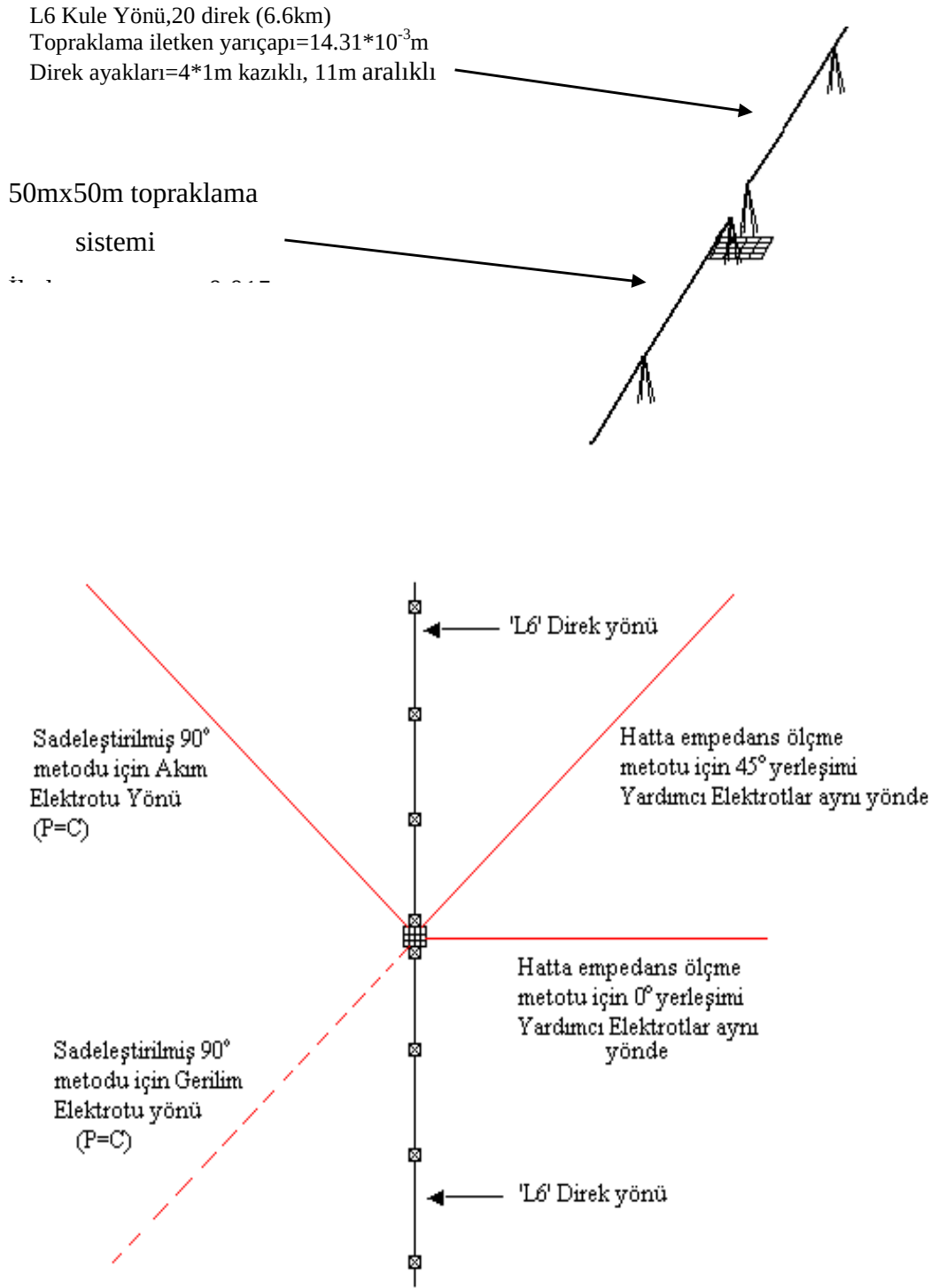
‘90°’ ve ‘Sadeleştirilmiş 90°’ metotları karşılıklı endüktans değerinin etkisini minimum düzeyde tutmakta oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Fakat test edilecek topraklama sisteminin konumu dikey yönde test yapılmasına uygun olmamaktadır. Bu gibi durumlarda en iyi çözüm enerji nakil hattını kullanmaktır. Bu durumda test iletkenleri arasında oluşabilecek karşılıklı endüktans değerinin hesaba katılması gerekmektedir.

Jones [40] hat iletkenlerini kullanarak yapmış olduğu simülasyon çalışması ölçmeler sonucunda topraklama direnci ve topraklama empedansı eğrilerini karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları aşağıda verilmektedir;

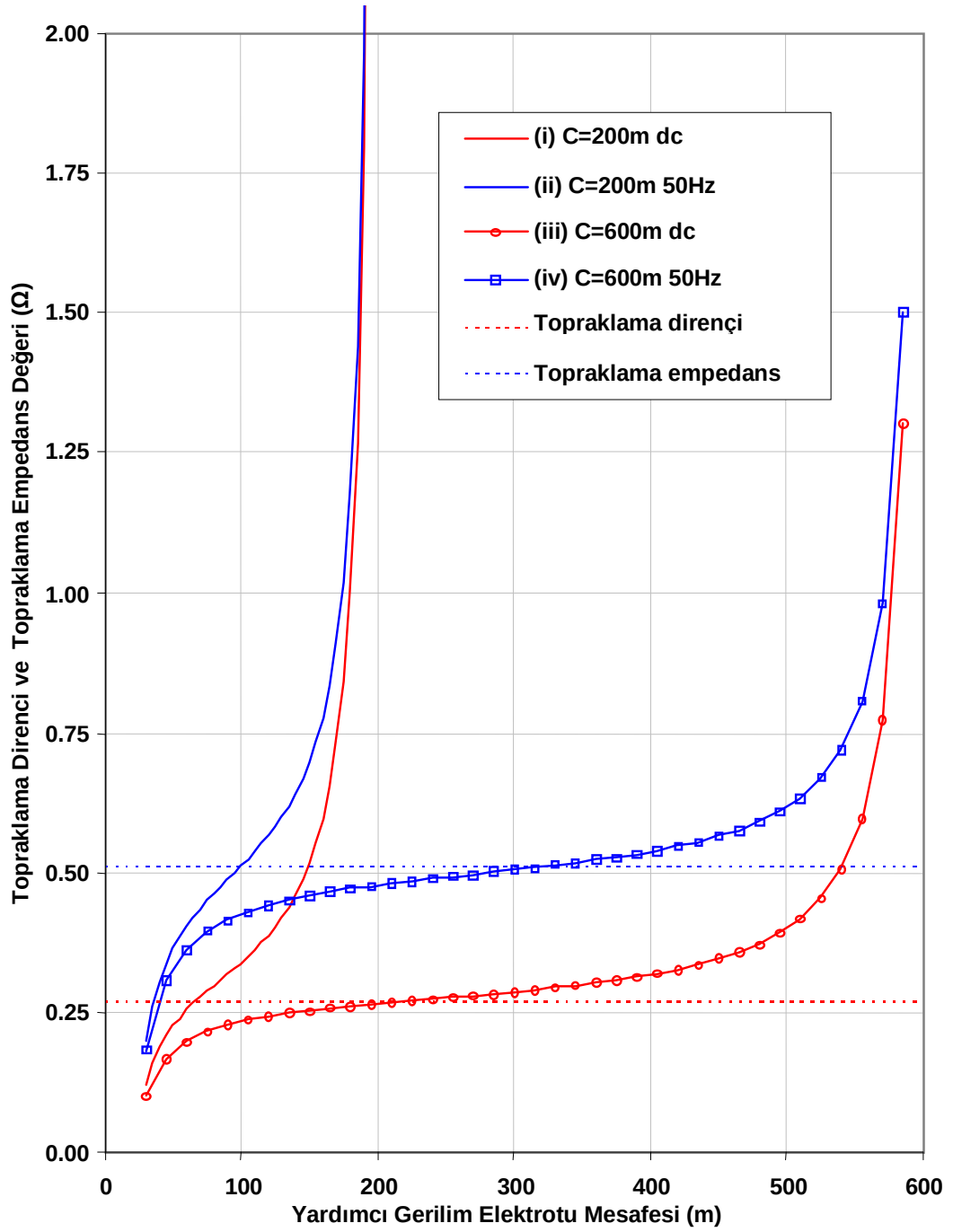
i- *Toprak direnci ve toprak empedansı eğrilerinin karşılaştırılması*

İki hava hattının bağlı olduğu 50 m*50 m alana oturmuş topraklama sistemi AC (50 Hz) ve DC testler için simülasyonu yapmıştır. DC topraklama direnci ile empedans değer eğrilerinin elde edilmesi için gerekli yardımcı elektrot mesafeleri ve yerleşimleri Şekil 3. 4’de gösterildiği gibidir.

Şekil 3. 5’de (i) ve (ii) eğrileri DC direnç ve AC empedans eğrilerini göstermektedir. Yardımcı akım elektrotu mesafesi 200 m’de iken (i) ve (ii) eğrilerinde topraklama direncini ve topraklama empedans değerinin belirleneceği düz bölge oluşmamıştır. Bundan dolayı yardımcı akım elektrotu mesafesi 600 m alınıp işlem tekrarlandığında ise (iii) ve (iv) eğrileri elde edilmiştir. Her iki eğriden de anlaşılabacağı gibi topraklama empedans değeri topraklama direncinde daha büyük değerdedir.



Şekil 3. 4. Bilgisayar Modeli ve Test Elektrotlarının Yerleşimi (Referans [40])

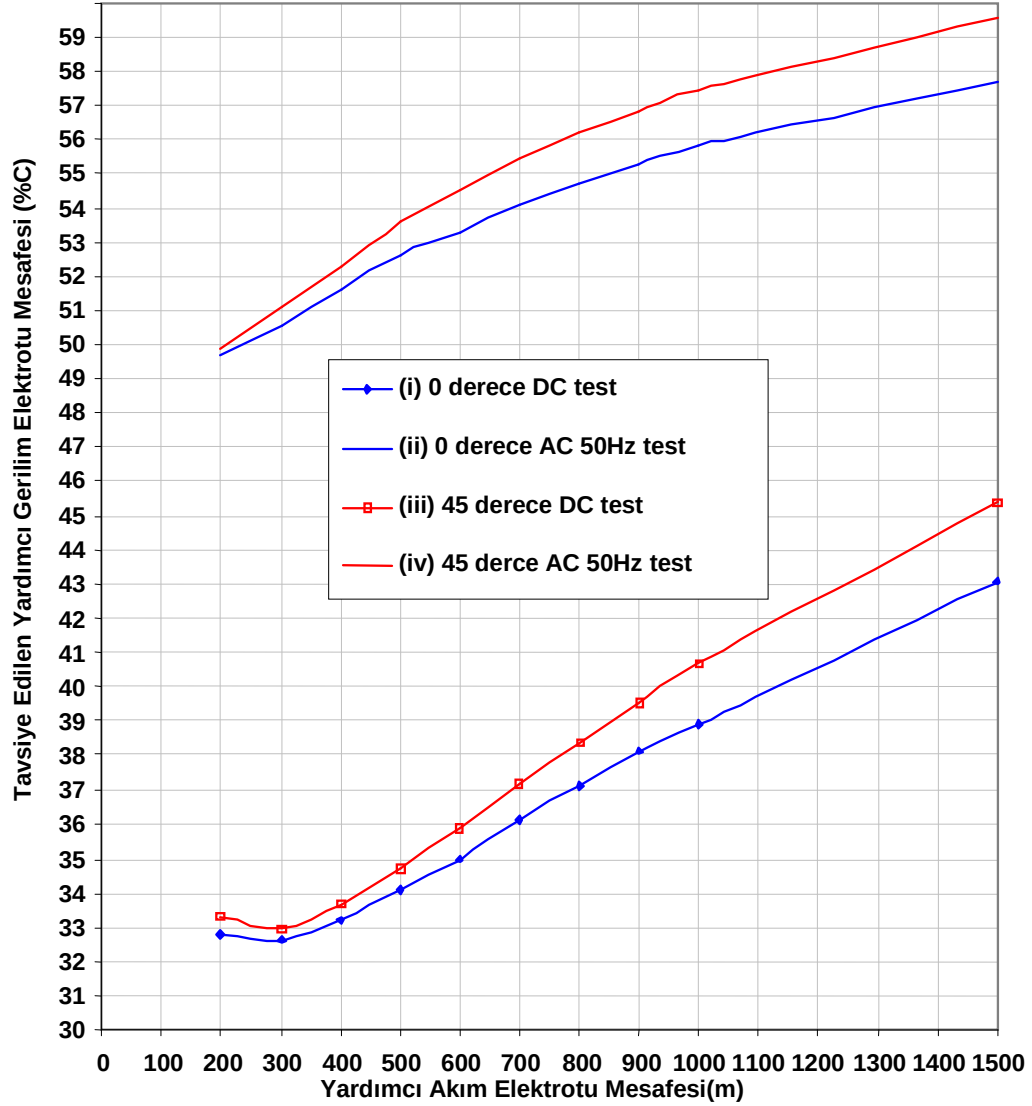


Şekil 3. 5. 0° Yönüne Göre Topraklama Direnci ve Topraklama Empedans Değeri Eğrileri (Referans [40])

ii- AC ve DC ölçme durumuna göre yardımcı gerilim elektrotunun mesafesinin değişiminin etkisi

Şekil 3. 6'da DC topraklama direnci ve AC topraklama empedansı ölçümleri için gerekli yardımcı gerilim elektrotu mesafeleri 0° ve 45° ile yerleştirildiği durumlar için gösterilmektedir. Eğrilerden görüleceği üzere DC topraklama direnci okunurken

gerekli olan yardımcı gerilim elektrotu mesafesi AC ölçmeye göre daha kısadır. Ayrıca yardımcı akım elektrotu mesafesi arttıkça her iki ölçme tekniğine göre de yardımcı akım elektrotu mesafesinin % 61.8C noktasına yaklaştığını tespit etmiştir.

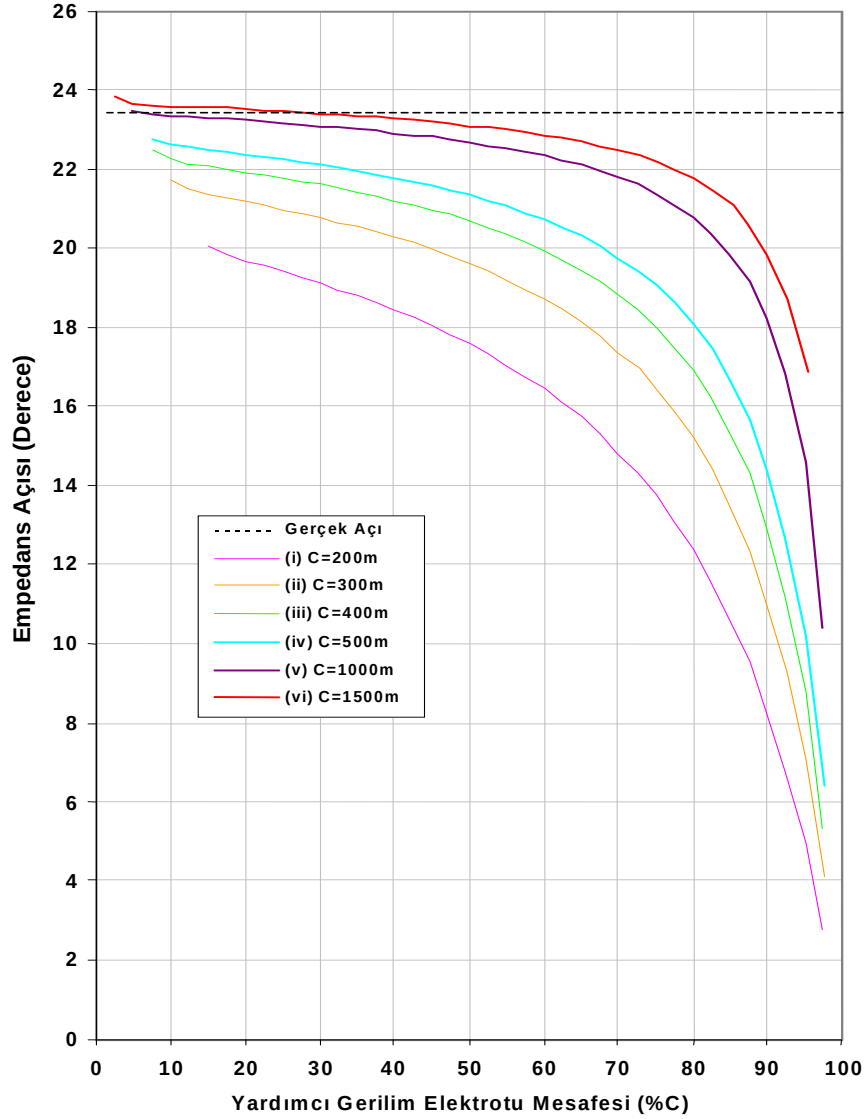


Şekil 3. 6. Toprak Direnci ve Toprak Empedansının Bulunması için Gerekli Yardımcı Gerilim Elektrotu Mesafesi (Referans[40])

Bunun gibi özel topraklama sistemleri için yardımcı akım elektrotu mesafesi artırılarak topraklama empedansı ölçülmesinde % 61.8 metoduyla iyi bir yaklaşım elde edilebileceğini söylemektedir.

iii- topraklama empedansının faz açısı

Şekil 3. 7’de empedans açısı ile yardımcı gerilim elektrotu mesafesi arasındaki ilişki görülmektedir. Empedans faz açısının yardımcı gerilim elektrotu mesafesi arttıkça azaldığı görülmektedir.



Şekil 3. 7. Empedans Açısı ile Yardımcı Gerilim Elektrotu Arasındaki İlişkiyi Gösteren Grafik (Aynı Hatta Ölçme için Referans [40])

Ayrıca yardımcı akım elektrotu mesafesinin artmasının empedans faz açısını gerçek faz açısına yaklaştırdığı görülmektedir. Topraklama empedans faz açısının belirlenmesinin yardımcı gerilim elektrotunun yerleşiminin önemli olduğu görülmektedir.

Jones'un yapmış olduğu bu çalışma bize topraklama sistemlerinde yapılan DC test akımla yapılan ölçme sonuçları ile AC test akımıyla yapılan ölçme sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda yardımcı gerilim elektrotunun yerinin topraklama sisteminin empedansının ölçülmesinde ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma topraklama empedansının topraklama direncinden büyük olduğunu ve topraklama empedansının tespit edilebilmesi için gerekli olan yardımcı akım elektrotu mesafesi için yardımcı elektrotlar arasındaki açının da önemli olduğu görülmüştür. Yeni tasarlanan ölçme düzeneği ile yapılan ölçmelerde bu veriler göz önüne alınarak ölçme gerçekleştirilmiştir.

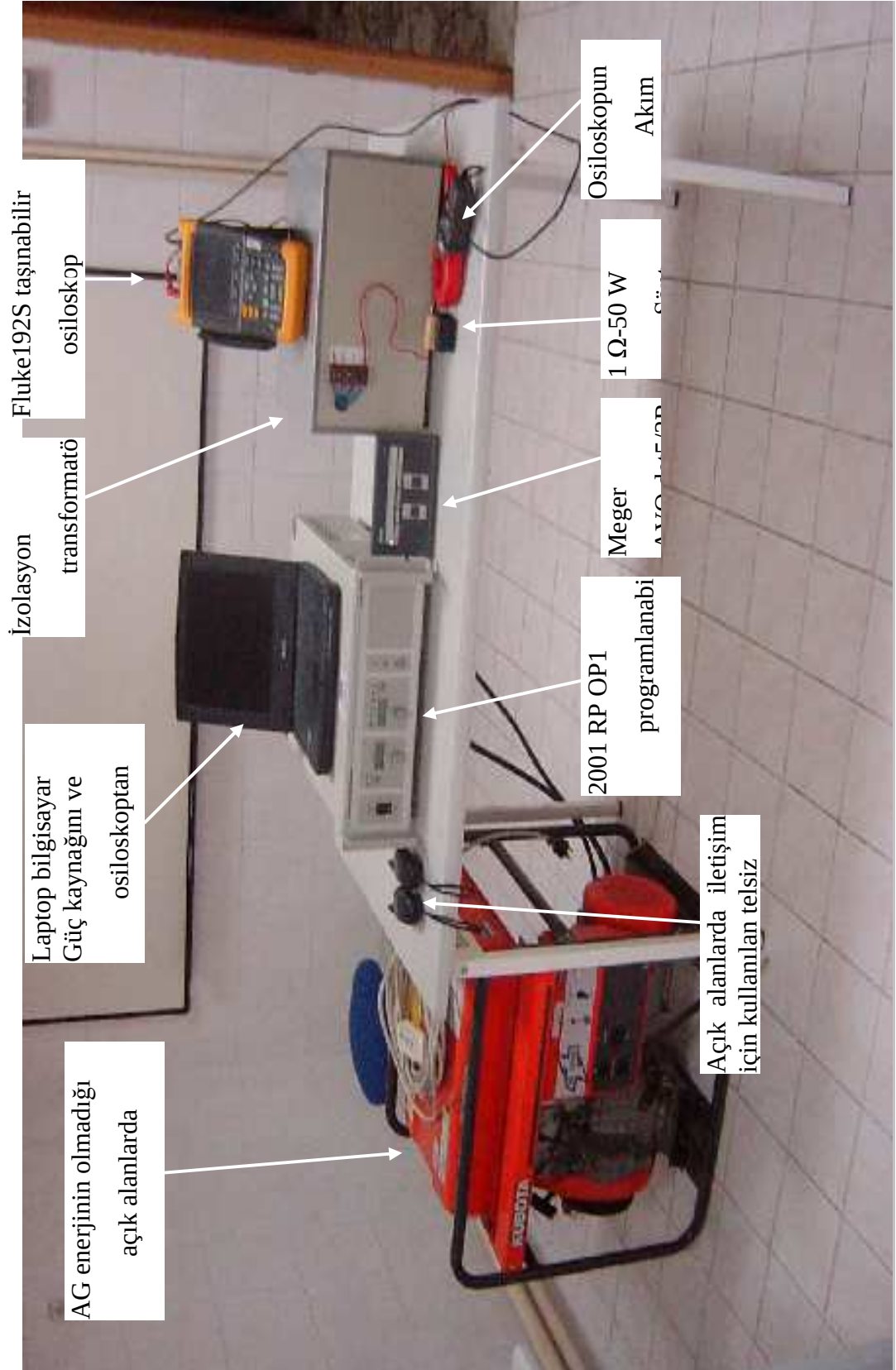
4.5 Topraklama empedans ölçme sistemi

Topraklama empedansının ölçülmesi önemlidir. Çünkü topraklama sisteminin sadece DC ölçme metotları ile tespit edilen sadece topraklama sisteminin DC direnci olduğundan topraklama sisteminin gerçek direncinden küçük olacaktır. DC ölçme metotları ile yapılan ölçme sonucu elde edilen topraklama direnci ile yapılan güvenlik hesaplamaları doğru sonuçlar doğurmayabilir. Bundan dolayı topraklama empedansının belirlenmesi oldukça önem kazanmaktadır.

Şekil 3. 8'de gösterilen ölçme sistemi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde geliştirildi. Şekil 3. 9'da empedans ölçme sisteminin blok diyagramı verilmiştir. Kullanılan güç kaynağı 2001 RP 0P1PR [41] programlanabilir AC kaynaktır. Çıkış akımının maksimum değeri 3.5 A ile sınırlandırılmıştır. Güç kaynağı değişik frekans değerlerinde saf sinüzoidal çıkış verebilmektedir. Güç kaynağının çıkışı izolasyon transformatörü kullanılarak test altındaki topraklama sistemine akım enjekte edilmiştir. Böylece güç kaynağı ile test sisteminin izolasyonu sağlamak amaçlanmıştır. Bu akım test altındaki topraklama sistemi ile yardımcı akım elektrotu arasında dolaşmaktadır. Sisteme basılan akımın genliği ve frekansı osiloskopun akım probu ile ölçülmüştür. Ölçümlerde Fluke 192S [42] model taşınabilir osiloskop kullanılmıştır. Büyük alan testinde topraklama sistemine enjekte edilen akım 1 Ω 50 W'lık şönt direnç üzerinden okunmuştur. Test altındaki topraklama sistemi ile yardımcı gerilim elektrotu arasındaki potansiyel farkı osiloskopun gerilim probu tarafından ölçülmektedir. Bu yolla elde edilen akım ve gerilim ölçme değerleri osiloskop tarafından bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Her ayrı frekans değeri için

akım ve gerilim ölçme değerleri okunmakta ve bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Elde edilen ölçme değerleri topraklama sisteminde bulunan gürültü sinyalini de içermekte olduğundan ölçme sonucu elde edilen değerlerden gürültü sinyalinin arındırılması gerekmektedir.

Gürültü sinyalinin ölçülen gerilim ve akım sinyalinden arındırılması için MATLAB programı kullanılmıştır. Matlab programı yardımıyla elde edilen sinyallerin FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümleri yapılmıştır ve bu dönüşüm sonucunda ortaya çıkan değerlerden sadece bizim sisteme enjekte ettiğimiz frekans değerinin geçiren diğer frekans değerlerindeki sinyalleri elimine eden notch filtre yardımıyla ölçülen sinyaller üzerindeki tüm gürültü ve harmonik sinyallerinde arındırılmıştır. Bu işlem yapılırken sisteme enjekte edilen akımın saf sinüs sinyali olduğunu ve enjekte edilen akımın frekansını bilmemiz en önemli etkidir. Kullanılan MATLAB programı Ek-2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3. 8. Topraklama Empedansı Ölçme Düzeneği

4.6 Sonuç

Büyük transmisyon istasyonlarının topraklama şebekelerinin topraklama empedansının ölçülmesi önemlidir. DC gereklidir fakat AC arıza akımında topraklama sisteminin karakteristiğini belirlenmesinde doğru yaklaşım göstermemektedir.

Topraklama sistem empedansının reaktif bileşenini iletim hatlarının topraklama iletkeni ve metalik kablo kılıfları başlıca sebeptir. Halbuki büyük topraklama şebekeleri toprak öz direncinin küçük olduğu yerlerde yapılmasına rağmen topraklama şebekesinin empedansı önemli bir büyüklüğe ulaşmaktadır.

Topraklama sistem empedansı aynı yönde ölçme metoduyla ölçülebilir. Fakat test iletkenlerinin karşılıklı endüktans değerleri mutlaka düzeltilmelidir. Ayrıca topraklama empedansı ölçme işlemi için gerekli olan yardımcı gerilim elektrotu mesafesi ile toprak direnci ölçme işlemi için gerekli olan yardımcı gerilim elektrotu mesafesi aynı olmadığı görülmüştür.

'90°'metoduyla topraklama sistem empedansı ölçülebilir. Ayrıca test elektrot iletkenleri arasındaki karşılıklı endüktans değerinin elimine edilmesine gerek olmayacağı görülmüştür. Fakat bu tip test metodu için unutulmaması gereken en önemli nokta ise ölçülen topraklama empedans değerinin her zaman gerçek empedans değerinin altından bir yaklaşım gösterdiğiidir.

'Sadeleştirilmiş 90°' metodu topraklama sistem empedansı için doğru bir yaklaşım sağlamaktadır. Gerekli olan minimum yardımcı akım elektrotu mesafesi için topraklama empedansı ölçülmeye başlanacak ve topraklama empedansının belirleneceği topraklama empedans eğrisi elde edinceye kadar ölçme işlemi tekrarlanır. DC ölçme tekniği olan '*Gerilim Düşümü*' metoduyla benzer olarak düz bölge elde edilmeye çalışılmaktadır fakat test elektrotu mesafeleri sabittir.

Geliştirilen yeni ölçme metodu değişik topraklama sistemlerinde kullanılmıştır. Topraklama empedans ölçme tekniği olarak '90°' metodu ile ölçümler yapılmıştır. Elde edilen ölçme sonuçları Bölüm-4 ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5 TOPRAKLAMA DİRENÇ ÖLÇME VE EMPEDANS ÖLÇME METOTLARININ GERÇEK ŞEBEKELERDE UYGULANMASI

5.1 Giriş

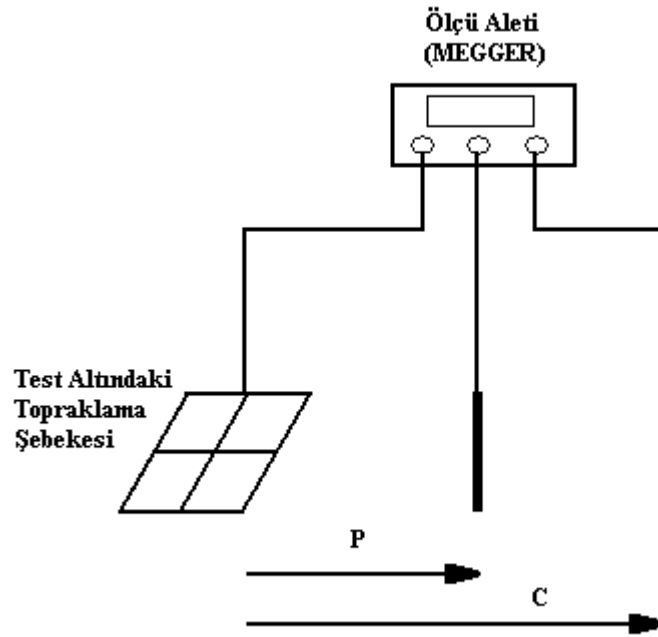
Bu bölümde topraklama direnci ölçme yöntemleri gerçek sistemlerde denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toprak empedansı ölçme sistemi oluşturulurken basit gerilim düşümü metodu (B.G.D.M.) esas alınmıştır. Topraklama direnci ile topraklama empedansı değerleri karşılaştırılmış ve topraklama empedansının topraklama direncinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Topraklama empedansını göz önüne almadan yapılacak topraklama sistemi emniyet analizinin güvenlik sınırları içinde kalmayabileceği görülmüştür.

5.2 Topraklama direnci ölçme metotlarının gerçek sistemlerde uygulanması

Topraklama direnci ölçme metotları üç değişik topraklama sisteminde uygulanmıştır. Uygulanan şebekeler aşağıda sırayla incelenecektir.

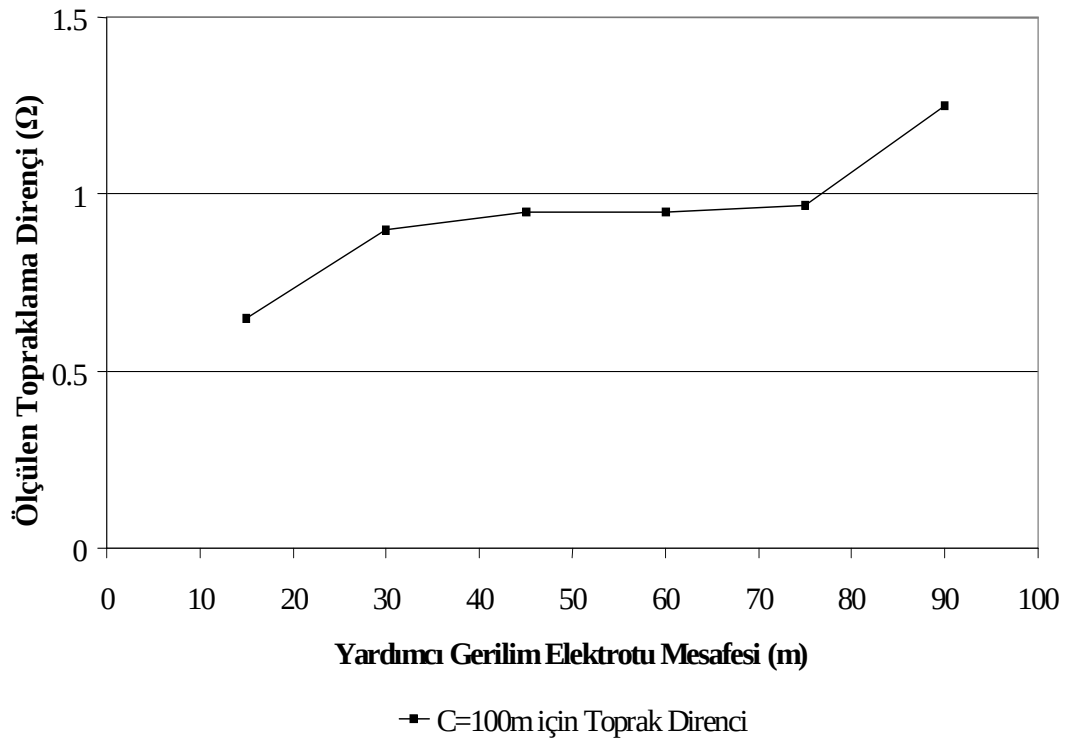
5.2.1 Küçük yapıya sahip AG şebeke sisteminde topraklama direnci ölçümü

Topraklama şebekesinin yapısı tam olarak bilinmemektedir. AG şebekesi olduğu için tek çubuk veya levha ile topraklama yapıldığı tahmin edilmektedir. Şekil 4. 1’de görülen ölçme düzeneği kullanılarak ölçme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 1. Küçük Yapıya Sahip AG Topraklama Şebekesi Topraklama Direnci Ölçme Düzenegi

5.2.1.1 Basit gerilim Düşümü metodu



Şekil 4. 2. Küçük AG Şebekesi Topraklama Direnci Eğrisi

Şekil 4. 2’de görülen topraklama direnci eğrisi $C=100$ m için elde edilmiştir. topraklama direnç eğrisinde düz bölge oluşmuştur ve topraklama direnci 0.95Ω olarak tespit edilmektedir.

5.2.1.2 % 61.8 metodu

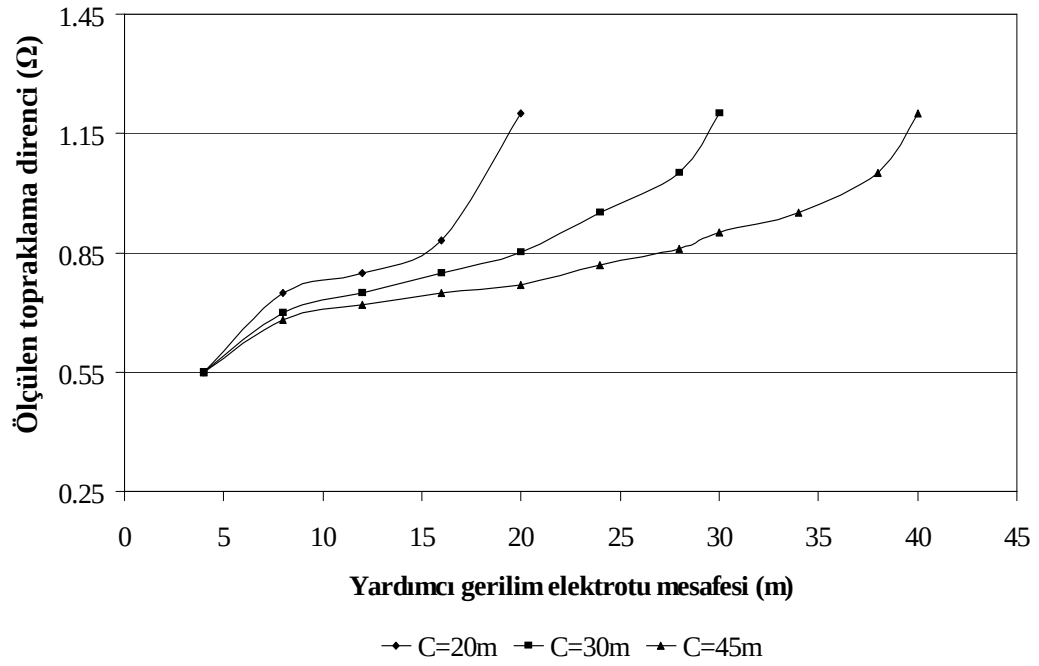
% 61.8 metodu yardımcı akım elektrotu mesafesi ile test altındaki topraklama sistemi arasından tek noktadan ölçme yapılmasını önermektedir. bu nokta $P=0.618 \cdot C$ mesafesidir. Ölçmenin yapıldığı sistemde yardımcı akım elektrotu 100m mesafeye yerleştirildiği için yardımcı akım elektrotu mesafesi 61.8 m’ye yerleştirildiği zaman ölçülen topraklama direnci 0.95Ω olmuştur.

5.2.1.3 Dört nokta metodu

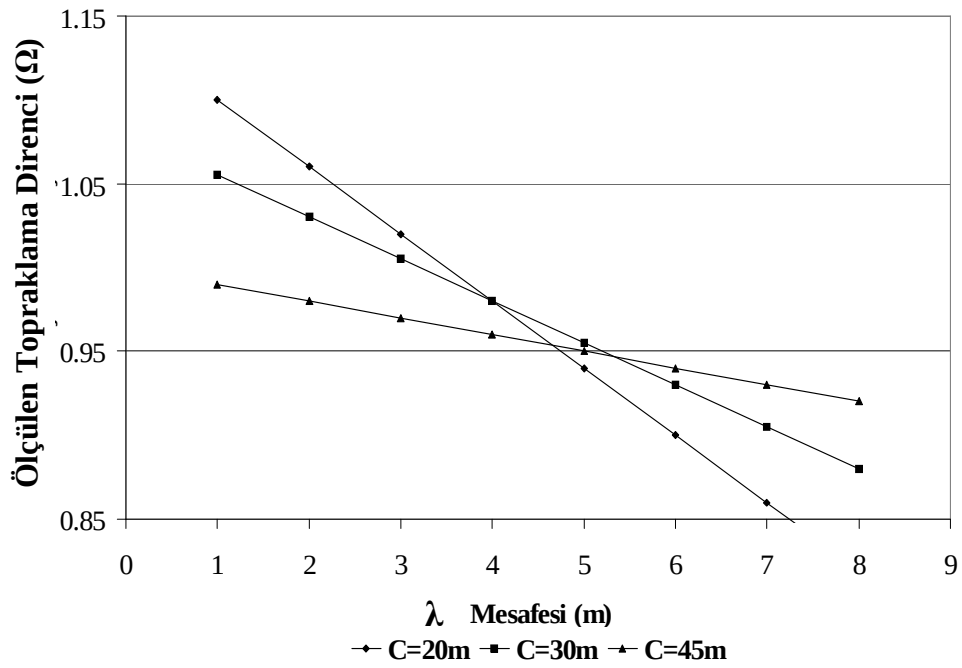
Tablo 4. 1. Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesi için Dört Nokta Metoduyla Ölçme Sonuçları

C=100 m		
P (m)	R _{ÖLÇÜLEN} (Ω)	R (Ω)
20	0.65	0.9575
40	0.85	
60	0.95	
80	1.15	

5.2.1.4 Kesişen eğri metodu



Şekil 4. 3. Küçük AG Şebekesinde Kesişen Eğriler Metodu için Ölçülen Topraklama Direnç Eğrileri



Şekil 4. 4. Küçük AG Şebekesi İçin Kesişen Eğriler Metoduyla Elde Edilen Topraklama Direnç Eğrileri

Şekil 4. 4’de küçük AG şebekesinde kesişen eğri metodunun uygulanması sonucu elde edilen λ -topraklama direnci eğrisi verilmiştir. Teorik olarak tek noktada kesişmesi gereken eğriler tek noktada kesişmemiştir. Topraklama direncini kesişim sonucu oluşan üçgenin ağırlık merkezi verecektir. Buna göre topraklama direnci için yaklaşık 0.96Ω olduğu söylenebilir.

5.2.1.5 Eğim Metodu

Tablo 4. 2. Küçük AG Şebekesi için Eğim Metodu Sonuçları

C=100 m						
P=0.2C	P=0.4C	P=0.6	μ	P_T/C	P_T	R
0.65	0.85	0.95	0.5	0.6288	62.88	0.956

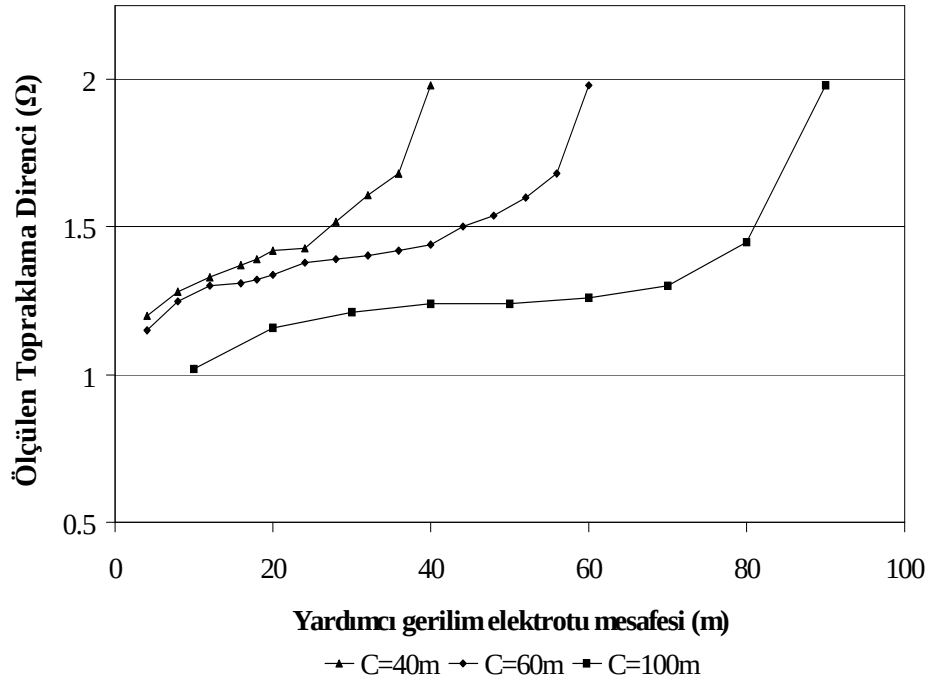
5.2.1.6 Sonuç

Küçük yapıya sahip AG şebekesinin topraklama direnç ölçülmesi sonucunda topraklama şebekesinin topraklama direncinin 0.95Ω olduğu görülmüştür. ‘Basit gerilim düşüm’, ‘% 61.8’metodu ve ‘Dört Nokta’ metodunun aynı sonucu vermesi sistemin tek çubuklu veya simetrik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca ‘Kesişen Eğri’ metodunda ölçme sonucu elde edilen eğrilerim teorik olarak kesişmesi gerektiği fakat pratikte bunun gerçekleşmediği görülmüştür.

5.2.2 OG/AG indirici istasyon topraklama sistemi

İkinci olarak topraklama direnci ölçülecek topraklama sistemi 34.5/0.4kV’luk trafo merkezidir. Ölçme düzeneği Şekil 4. 1’de gösterildiği gibidir. Topraklama sistemin yapısı hakkında detaylı bilgiye sahip değiliz sadece 6mx6m dış yapısı olduğu bilinmektedir. Bilinen dış yapı ebatları göz önüne alınarak yardımcı akım elektrotu mesafesi seçilmiştir.

5.2.2.1 Basit gerilim düşümü metodu



Şekil 4. 5. Trafo Merkezi için Topraklama Direnç Eğrileri

Trafo merkezi topraklama direnci ölçümü için yardımcı akım elektrotu üç farklı mesafeye sırasıyla yerleştirildi. Bu mesafelerden elde edilen topraklama direnç eğrilerinden sadece C=100m için elde edilen eğride düz bölge oluşmuştur.

5.2.2.2 % 61.8 metodu

Tablo 4. 3. Trafo Merkezi için % 61.8 Metoduyla Elde Edilen Direnç Değerleri

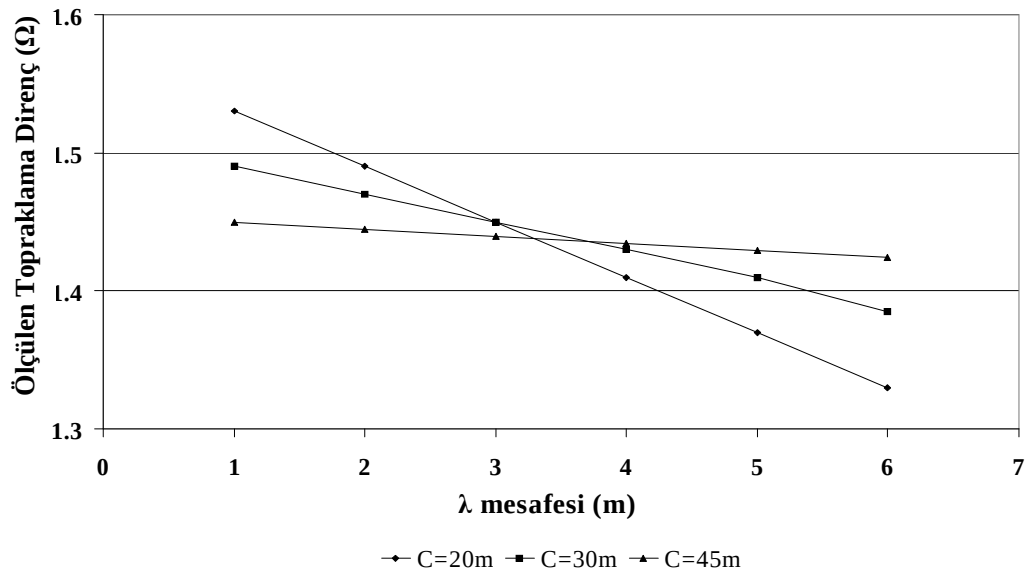
C=40 m		C=60 m		C=100 m	
P (m)	R (Ω)	P (m)	R (Ω)	P (m)	R (Ω)
24.72	1.46	38.08	1.45	61.8	1.29

5.2.2.3 Dört nokta metodu

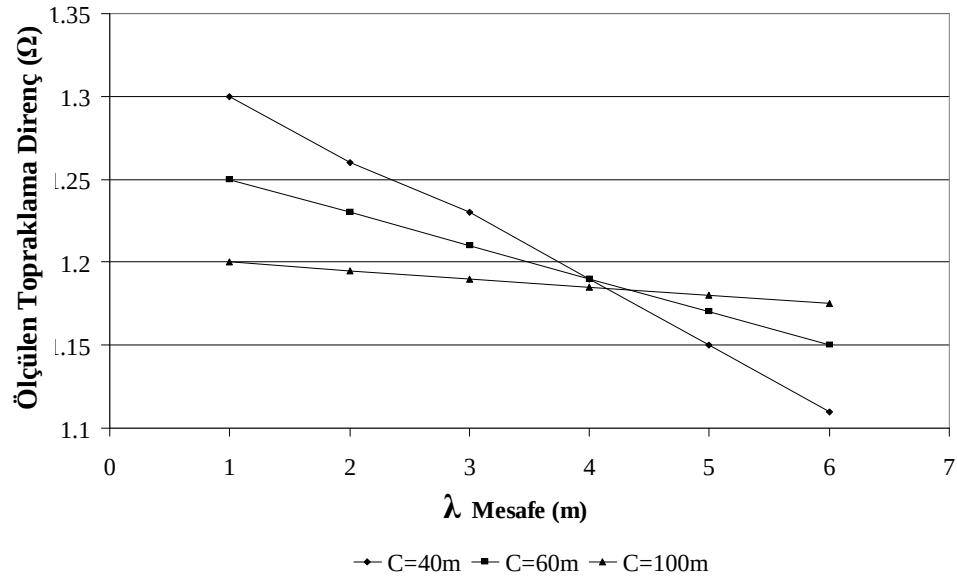
Tablo 4. 4 Trafo Merkezi için Dört Nokta Metodu Ölçme Sonuçları

C=40 m			C=60 m			C=100 m		
P (m)	$R_0 (\Omega)$	R (Ω)	P (m)	$R_0 (\Omega)$	R (Ω)	P (m)	$R_0 (\Omega)$	R (Ω)
8	1.28	1.405	12	1.3	1.405	20	1.16	1.16
16	1.37		24	1.38		40	1.24	
20	1.43		36	1.42		60	1.28	
24	1.61		48	1.54		80	1.37	

5.2.2.4 Kesişen eğri metodu



Şekil 4. 6. Trafo Merkezi için Kesişen Eğriler İlk Ölçme Sonucunda Metodu



Şekil 4. 7. Trafo Merkezinde 13.08.2003 Tarihinde Yapılan Ölçme Sonucu Elde Edilen Kesişen Eğri Metoduna Göre Ölçme Sonuçları

34.5/0.4 kV'luk trafo merkezinde farklı tarihlerde topraklama direnç ölçümü yapılmıştır. İki farklı tarihte ölçme yapılmasının sebebi trafo merkezi etrafında bulunan enerji iletim hatlarının ilk ölçmede test elektrotlarına paralel düşmesidir. İkinci ölçmede test elektrotları enerji iletim hattına dik konumlandırılmıştır.

5.2.2.5 Eğim metodu

Tablo 4. 5'de 34.5/0.4 kV'luk Trafo merkezinde eğim metodu kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen topraklama direnci değerleri verilmiştir.

Tablo 4. 5 Trafo Merkezinde Yapılan Eğim Metodu Sonuçları

C=40 m						
P=0.2C	P=0.4C	P=0.6C	μ	P_T/C	P_T (m)	R (Ω)
1.33	1.38	1.45	1.4	0.43	10.32	1.41
C=60 m						
P=0.2C	P=0.4C	P=0.6C	μ	P_T/C	P_T (m)	R (Ω)
1.28	1.378	1.43	0.67	0.602	24.1	1.40
C=100 m						
P=0.2C	P=0.4C	P=0.6C	μ	P_T/C	P_T (m)	R (Ω)
1.16	1.24	1.28	0.5	0.6288	62.88	1.215

5.2.2.6 Sonuç

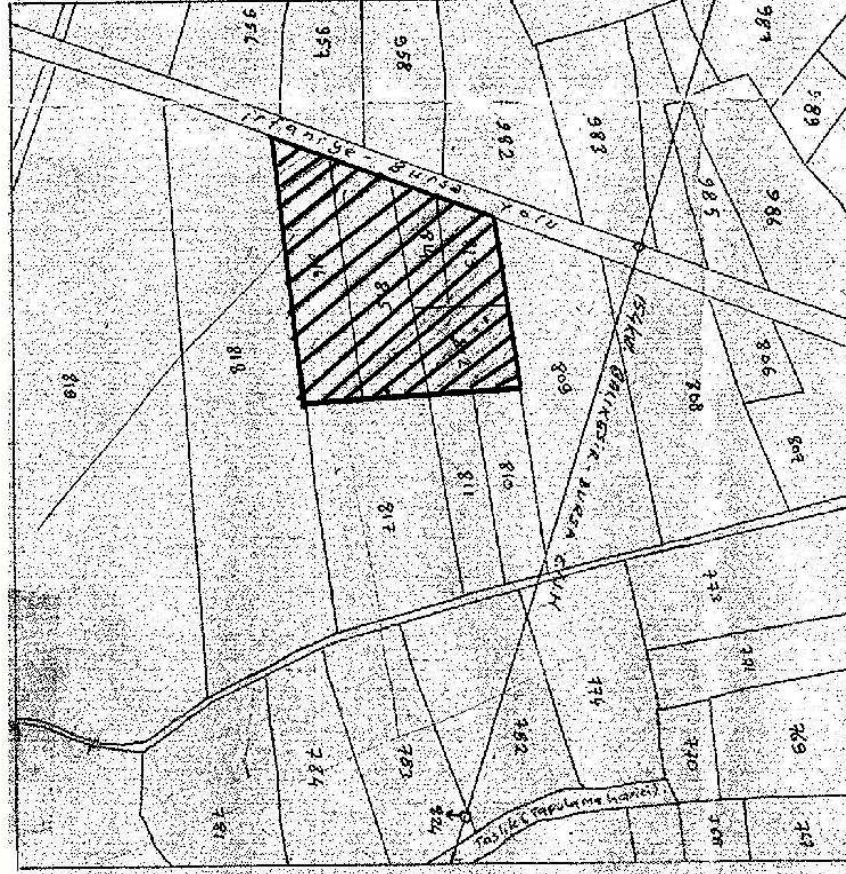
34.5/0.4 kV'luk indirici trafo merkezi topraklama direnci ölçülmüştür. Ölçme sonucunda basit gerilim düşümü metodu için gerekli olan yardımcı akım elektrotu mesafesini 100 m olduğu zaman topraklama direnç eğrisinde düz bölgenin belirginleştiği görülmüştür. Ayrıca ölçme işlemi farklı zamanlarda yapılmış ve yardımcı akım elektrotu farklı iki yönde yerleştirilmiştir. Yardımcı akım elektrotu 40 m'de ve 60 m'de iken yardımcı akım elektrotu aynı yöndedir. Yardımcı akım elektrotu mesafesi 100 m'de iken ise ilk ölçme yönünden 90° fark ile yerleştirilmiştir. Her iki ölçme yönünde elde edilen sonuçlarda '*Basit Gerilim Düşüm*' ve '*%61.8*' metoduyla ölçülen topraklama direncinin aynı olmadığı görülmüştür. Bunun sebebini topraklama sisteminin simetrik olmamasıdır. Farklı yönde yapılan topraklama direnç ölçümlerinde ölçülen değerin farklı olması hem mevsimsel olarak toprak öz direnç değişimi ve toprak yapısının farklı olması etkili olmuştur.

5.2.3 Geniş alanı kaplayan topraklama sisteminde topraklama direnci ölçülmesi

Şekil 4. 8'de görülen 154/34.5 kV trafo merkezinin topraklama direnci ölçümü yapılmıştır. Bu ölçme esnasında iletim hatlarının koruma iletkenleri sistemden ayrılmamıştır. Trafo merkezine bir adet 154 kV iletim hattı ile iki adet 34.5 kV'luk kablo çıkışı mevcuttur. Ölçme yapılırken bu hatlara paralel düşülmemeye çalışılmıştır.

Topraklama sistemi hakkında bilgi sahibi olunduğu için topraklama sisteminin topraklama direnci standartlara göre Bölüm-2'de hesaplanmıştır. Topraklama sistem ızgarasının 66 mx110 m'lik alanı kapladığı Şekil 4. 8'de görülmektedir. 0.008 m çapında topraklama iletkenleri kullanıldığı ve topraklama iletkenlerinin toprak yüzeyinden 0.6 m aşağıda olduğu ve ayrıca topraklama ızgarasının topraklama kazıkları ile desteklendiği bilinmektedir. Topraklama sisteminde 21 adet topraklama kazığı kullanıldığı ve her bir topraklama kazığının 3 m boyunda olduğu öğrenilmiştir.

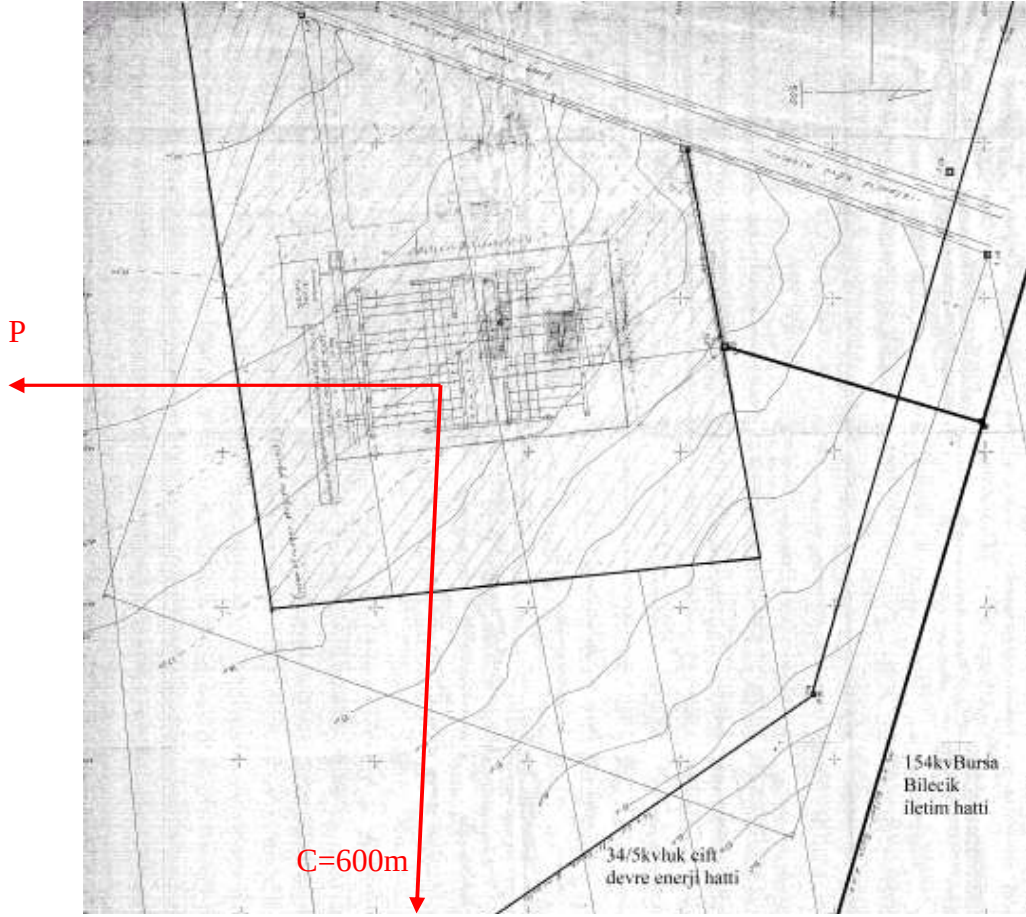
Topraklama direnci ölçme düzeneği için test elektrotları Şekil 4. 11'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Şekil 4. 11'de görülen ölçme sistemiyle '*Basit gerilim*



Şekil 4. 9. 154/34.5kV'luk Trafo Merkezinin Yerleşim Alanı

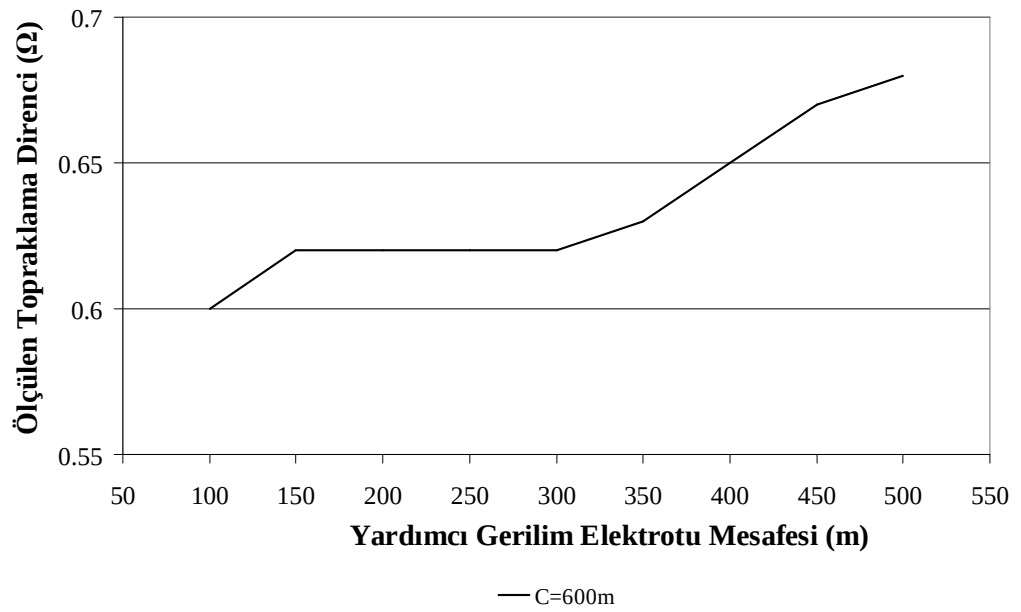


Şekil 4. 10. Ölçme Yapılan 154 kV'luk Trafo Merkezi



Şekil 4. 11. 154 kV’luk Trafo Merkezi için Test Elektrotları Yerleşimi

5.2.3.1 Basit gerilim Düşüm Metodu



Şekil 4. 12. 154 kV’luk Trafo Merkezinin Topraklama Direnci Eğrisi

5.2.3.2 %61.8 metodu

Tablo 4. 6. 154kV'luk Trafo Merkezi için %61.8 Metodu Sonucu Elde Edilen Direnç Değeri

C=600 m	
P(m)	R(Ω)
370	0,64

5.2.3.3 Eğim metodu

Tablo 4. 7. 154 kV'luk Trafo Merkezi için 'Eğim' Metodu Sonucu

C=600 m						
P=0.2C	P=0.4C	P=0.6C	μ	P_T/C	P_T	R(Ω)
0.60	0.62	0.64	1	0,5418	325	0,61

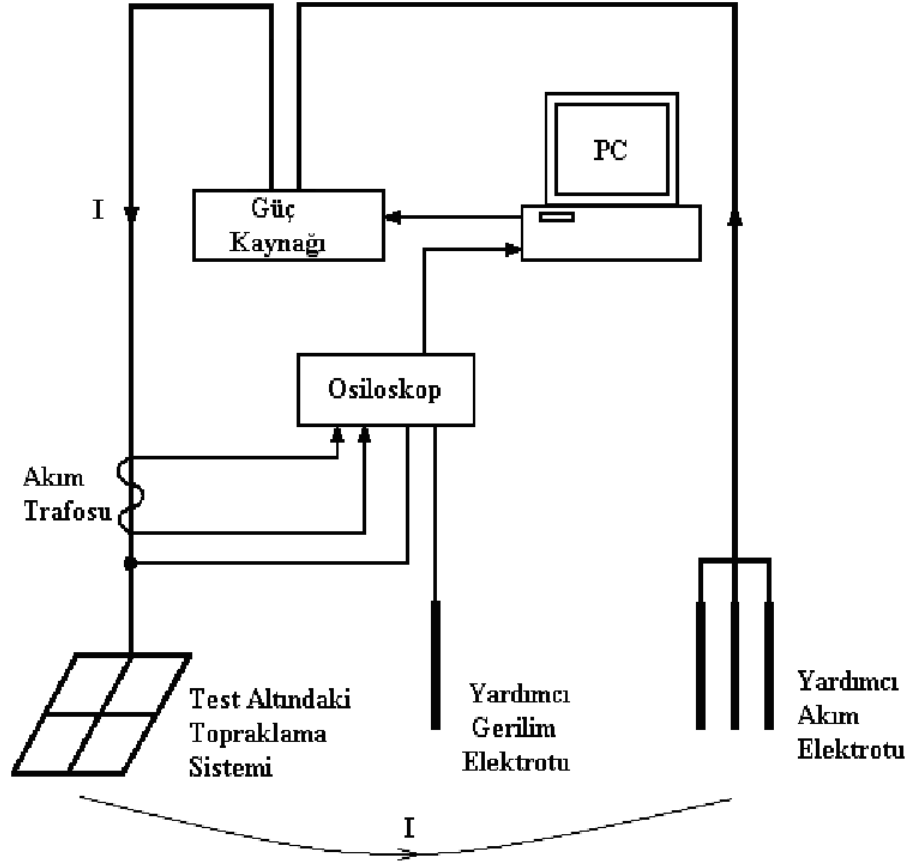
5.2.3.4 Sonuç

Geniş alanı kaplayan topraklama direnci ölçümü sonucunda 'Basit Gerilim Düşümü' metoduyla düz bölge elde edilmiştir. Düz bölge, topraklama direncinin 0.64 Ω olduğu görülmüştür. '% 61.8' metodu ile tamamen örtüşen bir sonuç elde edilmesi ve düz bölgenin oluşması yardımcı akım elektrotu mesafesinin yeterli açıklıkta yerleştirildiği anlamına gelmektedir. Ayrıca hesaplanan topraklama direnci ile ölçülen topraklama direnci arasında fark olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin zaman içinde topraklama iletkenlerinde oluşan korozyon ve toprak öz direncinin mevsimsel değişiminden kaynaklandığı söylenebilir.

5.3 Topraklama empedansı ölçme sisteminin gerçek sistemde uygulanması

Bölüm 3.3'de açıklanan topraklama empedansı ölçme sistemi değişik topraklama sistemlerinde uygulanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda elde edilen ölçme sonuçları ayrı ayrı incelenmiş ve topraklama direnci ile karşılaştırılmıştır.

5.3.1 Küçük yapıya sahip AG şebekesinde topraklama empedansı ölçülmesi

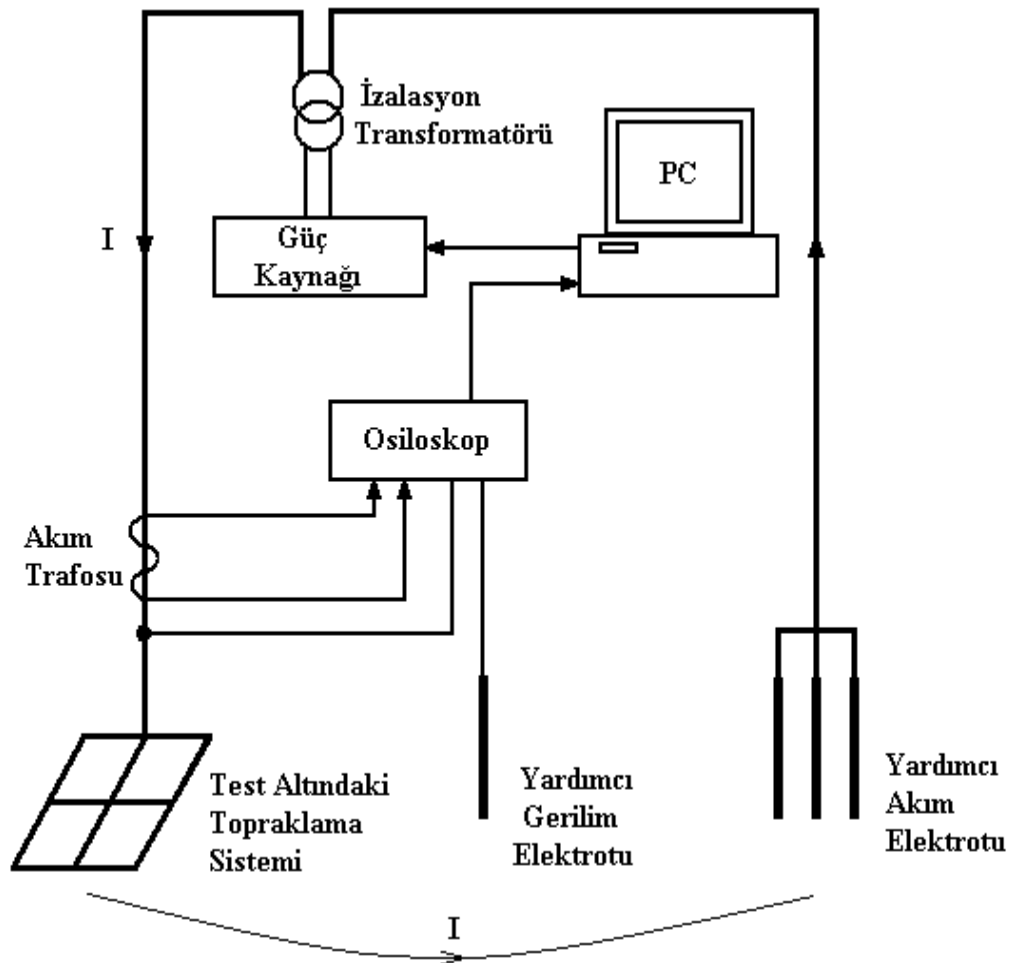


Şekil 4. 13. İlk Tasarlanan Topraklama Empedansı Ölçme Düzeneği

Şekil 4. 13’de görülen ölçme düzeneği ile yapılan ölçme işleminde birçok sorun ile karşılaşmıştır. Karşılaşılan en büyük sorun topraklama sistemine ölçme işleminin yapılması için enjekte edilmesi gereken akımın enjekte edilememesidir. Enjekte edilen akımın gürültü seviyesinde olması olmuştur. Ayrıca yardımcı akım elektrotunun aşırı derece ısındığı gözlenmiştir.

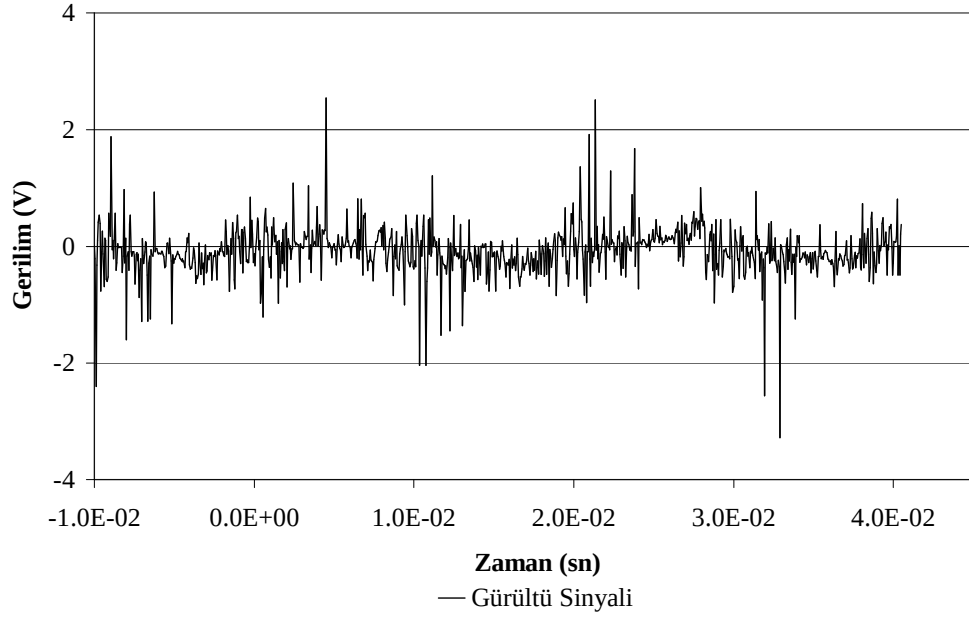
Topraklama empedansı ölçme sisteminde kullanılan güç kaynağının aynı toprağı paylaşmasından dolayı topraklama sistemine akım enjekte edilemediği görülmüştür. Bundan dolayı güç kaynağı çıkışı izolasyon transformatörü ile test akım topraklama sistemine enjekte edilmiştir. Bu şekilde güç kaynağının çıkışı ile test sistemine istediğimiz büyüklükte ve frekansta akım enjekte edilmiştir. Ölçme

düzeneği Şekil 4. 14'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. İzolasyon transformatör 1:0.72 (380/220V) dönüştürme oranına sahiptir.

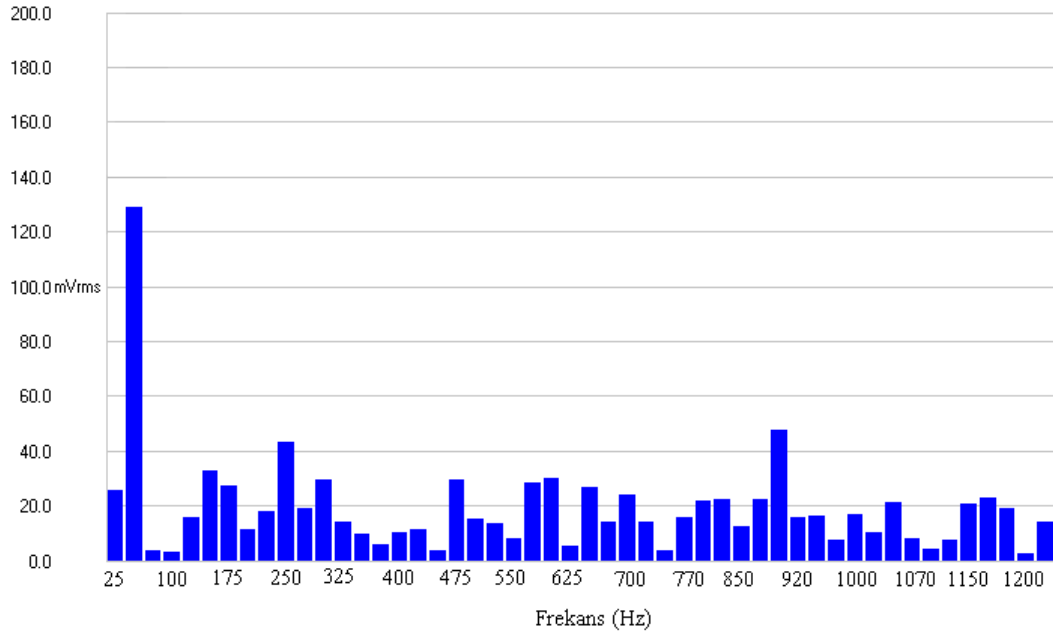


Şekil 4. 14. Topraklama Empedansı Ölçme Düzenegi

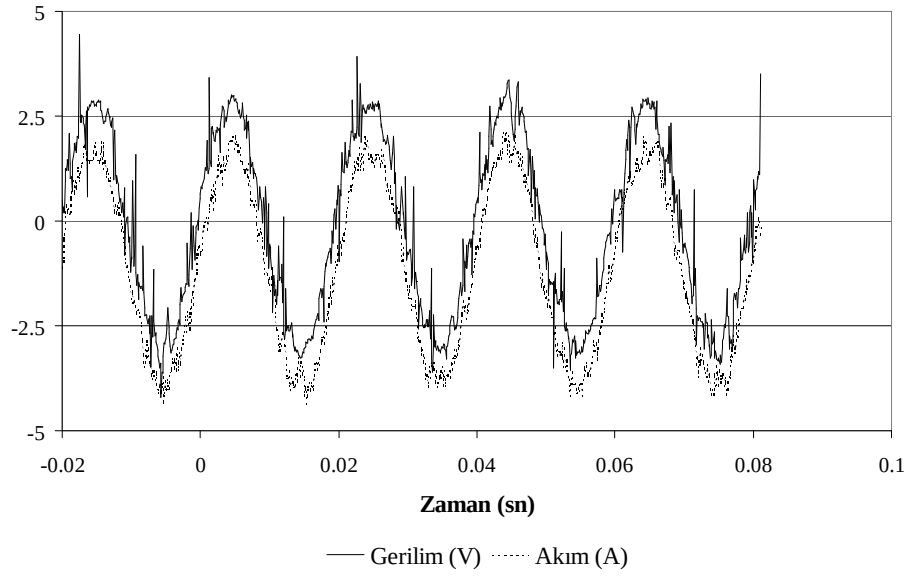
Şekil 4. 14 kullanılarak yapılan ölçme sunucunda topraklama sistemindeki gürültü sinyali Şekil 4. 15’de görüldüğü gibidir. Ölçülen gürültü sinyalinin frekans spektrumu Şekil 4. 16’ta verilmiştir. Gürültü sinyali incelendiğinde 50 Hz ve katları frekansa sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 15. Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesinde Ölçülen Gürültü Sinyali

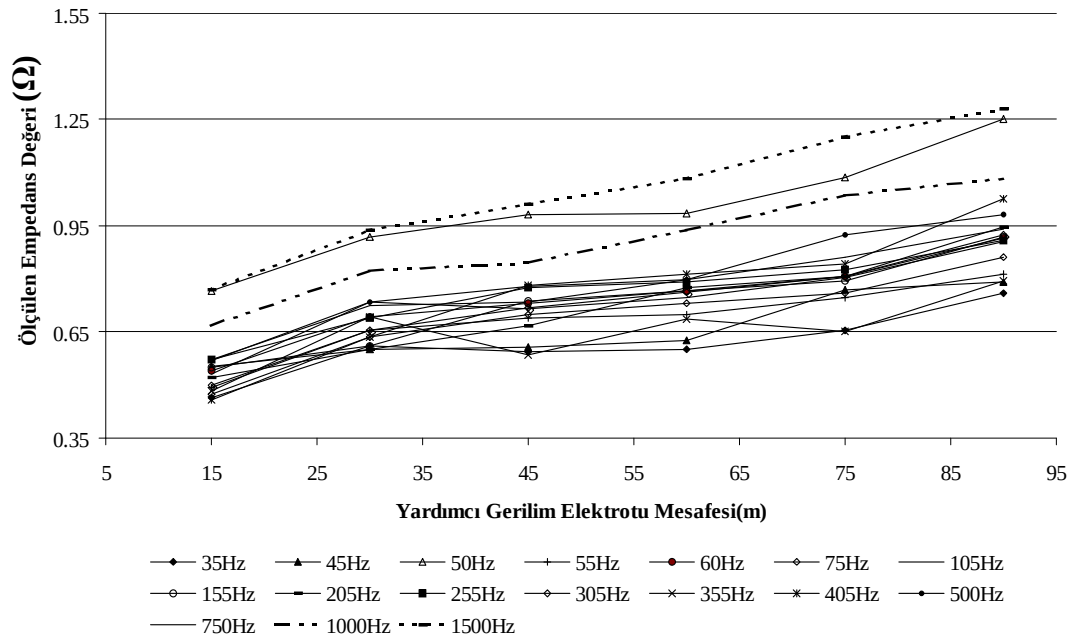


Şekil 4. 16. Küçük Yapıya Sahip AG Şebekesinde Ölçülen Gürültü Sinyalinin Frekans Spektrumu



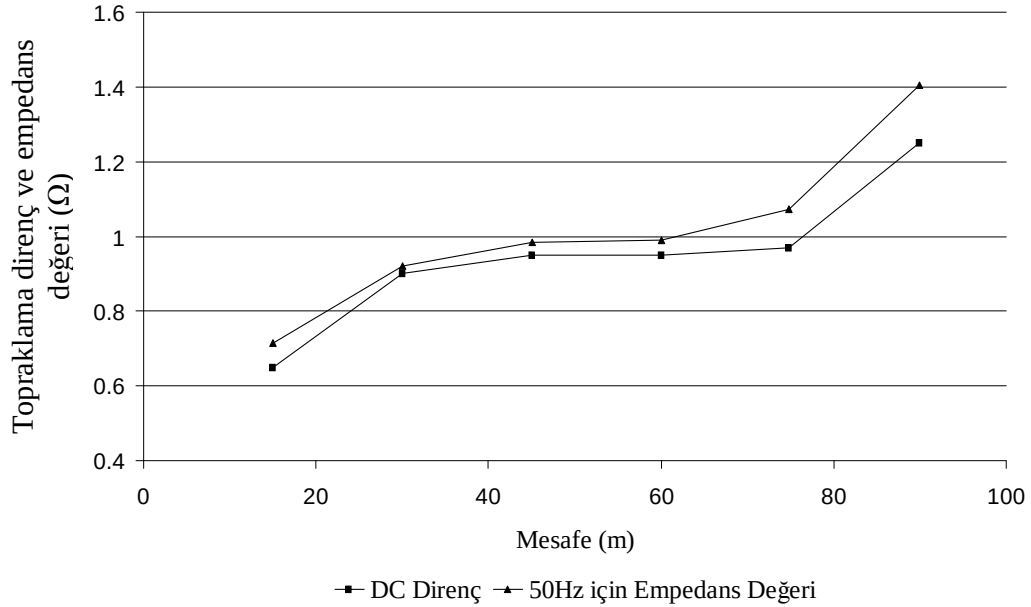
Şekil 4. 17. Küçük Yapıya Sahip AG Topraklama Şebekesinden Ölçülen Akım ve Gerilim Sinyalleri

Şekil 4. 17’de yardımcı akım elektrotu ile test altındaki topraklama sistemine enjekte edilen 50 Hz’lik test akımı ile 60 m’ye yerleştirilmiş yardımcı gerilim elektrotu ile ölçülen gerilim görülmektedir.



Şekil 4. 18. Ölçülen Empedans Değeri Eğrisi

Şekil 4. 18’de toprak empedans eğrisi görülmektedir. Topraklama sisteminin topraklama direnci ile topraklama empedans değeri (50Hz için) ile aynı değerde olduğu görülmüştür. Fakat frekans artıktça topraklama empedans değeri de artmaktadır.



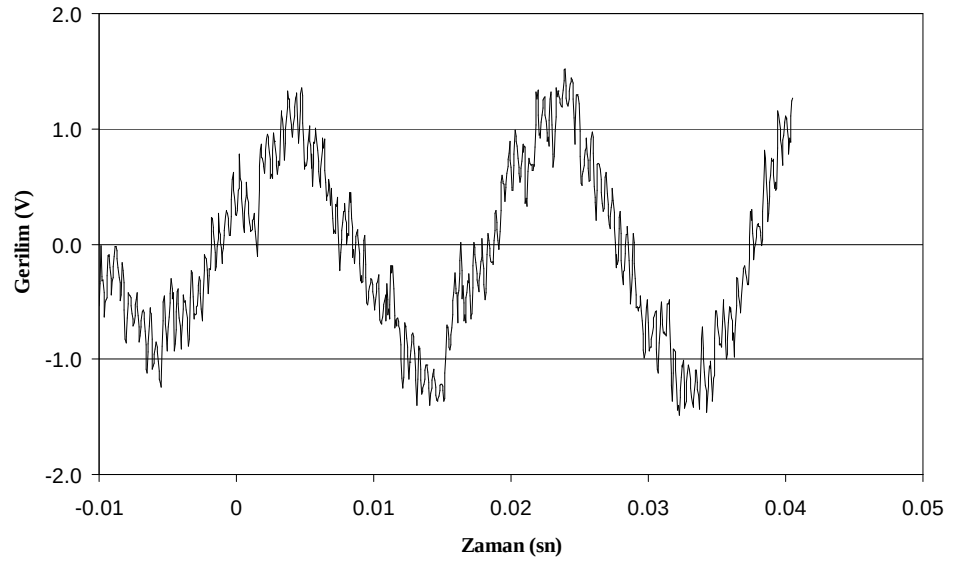
Şekil 4. 19. Küçük Yapıya Sahip Topraklama Şebekesi için Topraklama Direnci ile Topraklama Empedansının (50 Hz için) Değerleri

Şekil 4. 19’da küçük yapıya sahip topraklama Şebekesinde yapılan DC ölçme sonucu elde edilen topraklama direnç eğrisi ile topraklama empedans değeri eğrisi görülmektedir. Topraklama empedans değerinin topraklama direncinden büyük olduğu görülmektedir.

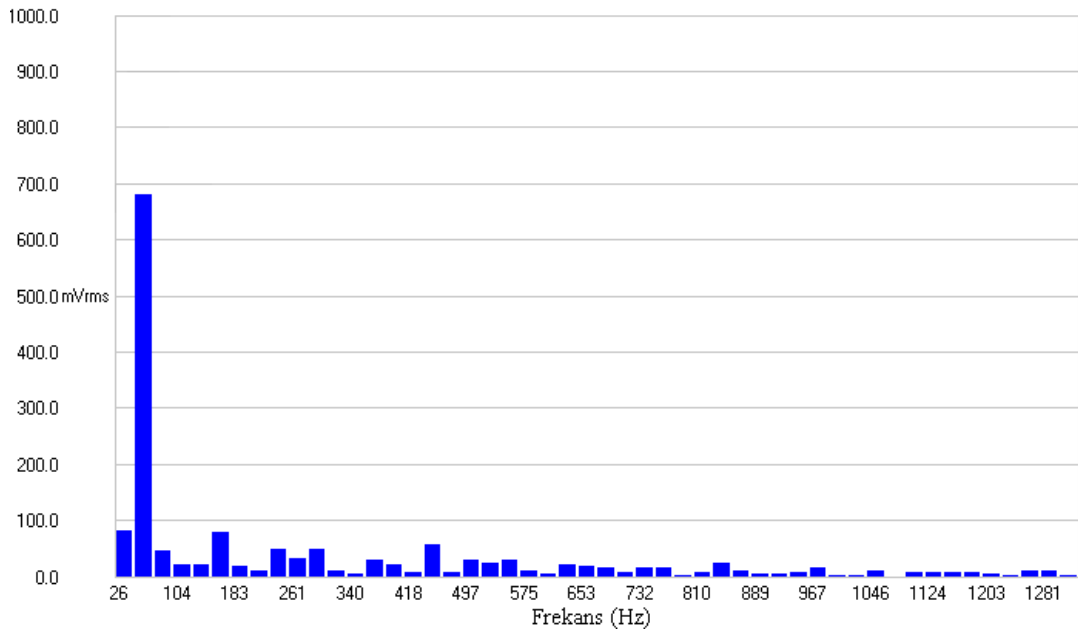
5.3.2 OG/AG trafo merkezinin toprak empedansı ölçümü

Bölüm 4.3.2’de topraklama direnci ölçümü yapılmış trafo merkezi için topraklama empedansı ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçme işlemi 90° farklı yönde iki defa yapılmıştır. İlk ölçme işlemi trafo merkezinin etrafında bulunan 34.5 kV’luk iletim hattına paralel düşüldüğü için sistemde sadece DC bileşende oluşan gürültü okunmuştur. İkinci ölçme işleminde iletim hatlarına mümkün olduğu kadar olarak çalışılmıştır. Bu ölçme işleminde sistemdeki gürültü sinyali Şekil 4. 20’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Gürültü sinyalinin frekans spektrumu Şekil 4. 21’de verilmiştir.

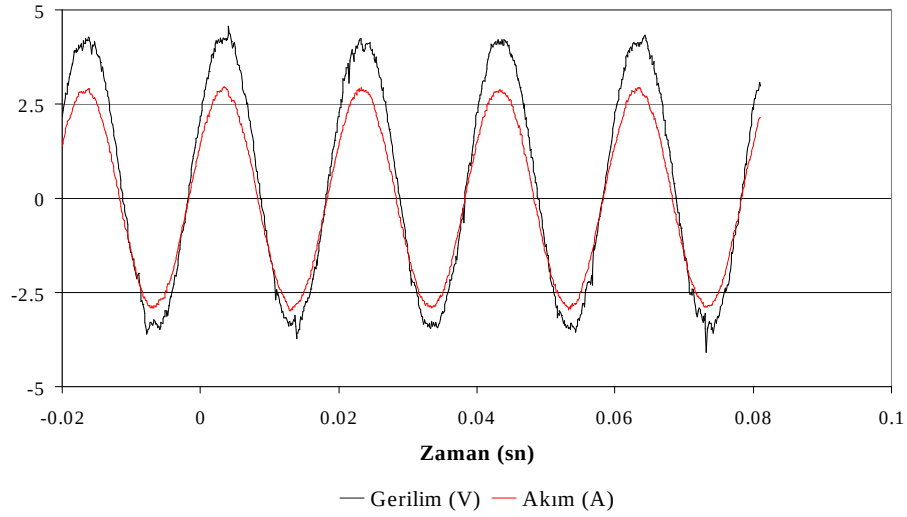
Frekans spektrumu incelendiği zaman gürültü sinyalinin 50 Hz ve katlarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 20. OG/AG Trafo Merkezi Gürültü Sinyali

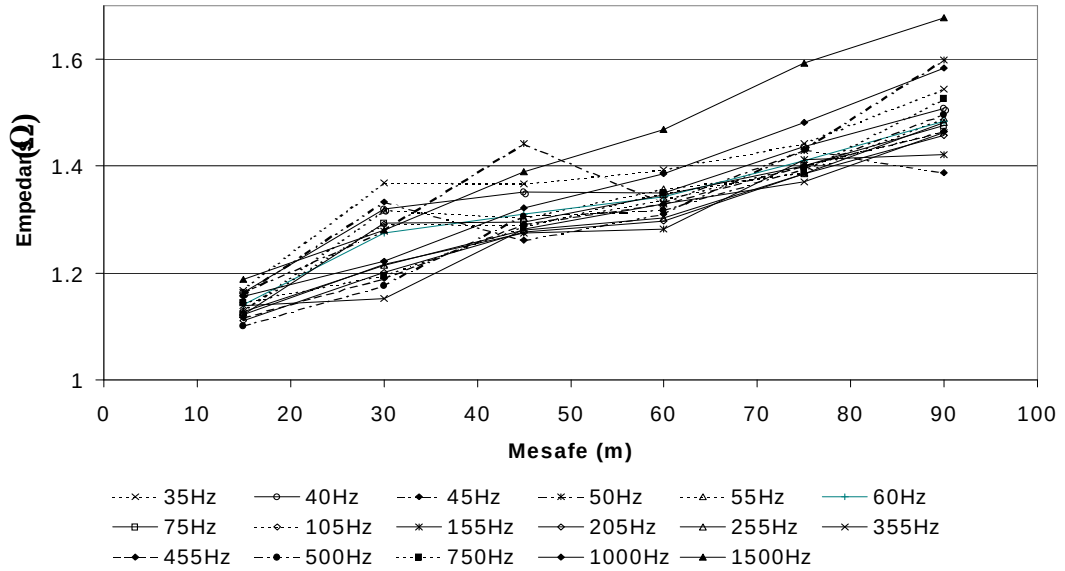


Şekil 4. 21. OG/AG Trafo Merkezi Gürültü Sinyali Spektrumu

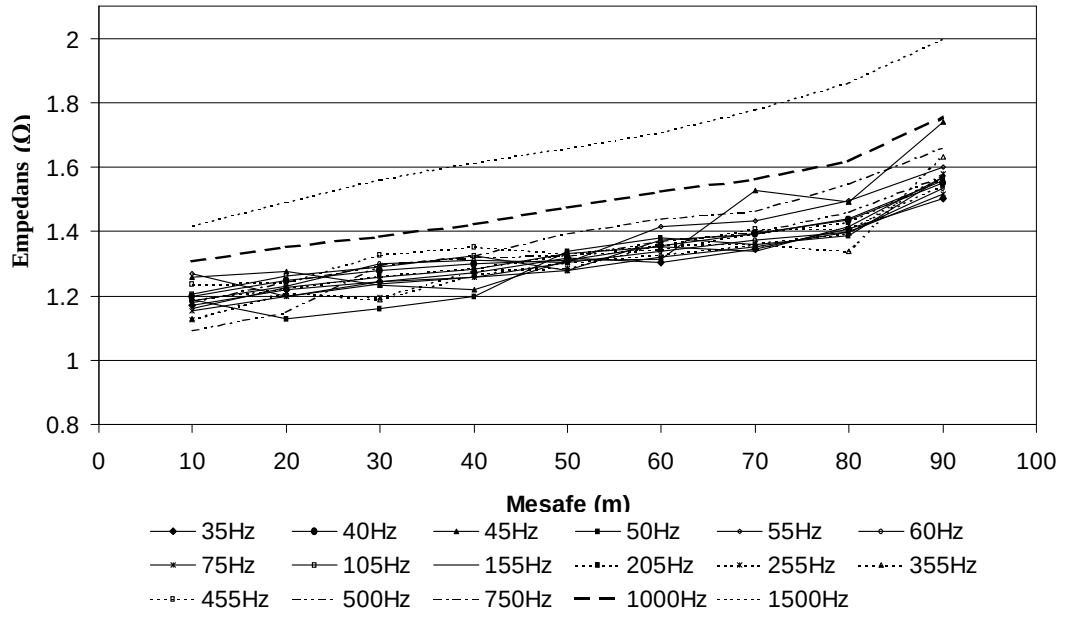


Şekil 4. 22. OG/AG Trafo Merkezinde Yapılan Ölçme Sonucu Elde Edilen Akım ve Gerilim Sinyalleri (50 Hz için)

OG/AG trafo merkezinde topraklama sistemine 50 Hz’lik akım Enjekte edildiğinde 60 m’ye yerleştirilen yardımcı gerilim elektrotundan ölçülen gerilim sinyali ile enjekte edilen akım sinyali Şekil 4. 22’de görüldüğü gibidir.

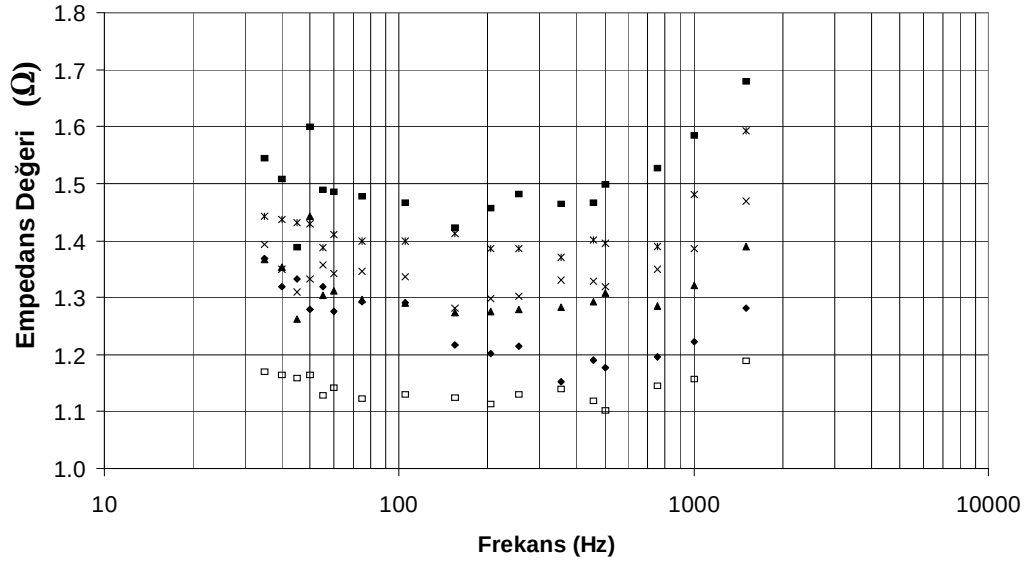


Şekil 4. 23. İletim Hattına Paralel Yapılan Toprak Empedans Ölçümünden Elde Edilen Toprak Empedans Değeri Eğrileri

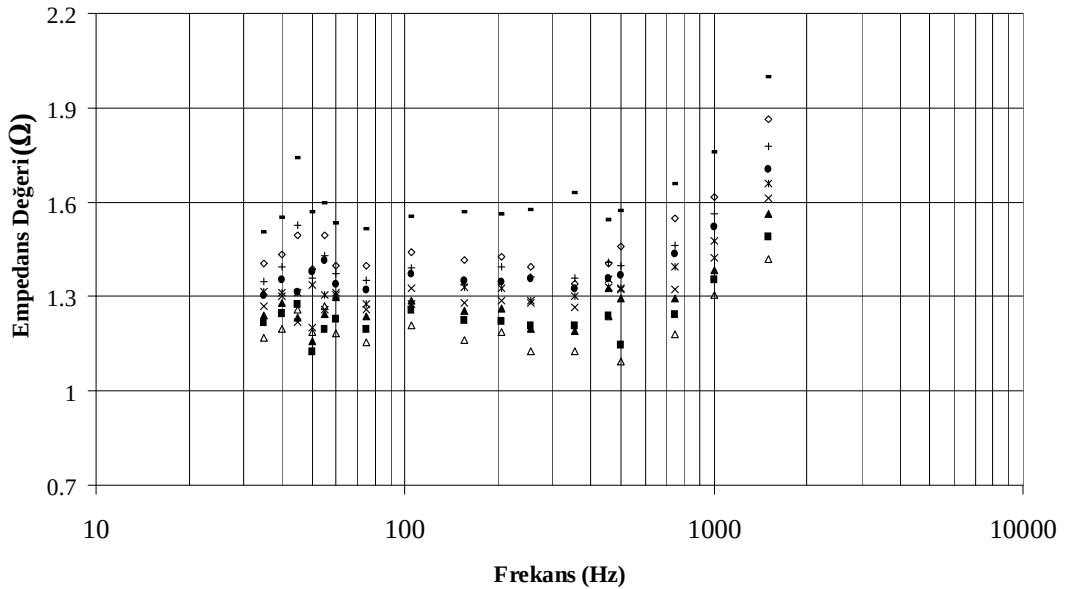


Şekil 4. 24. İletim Hattına Dik Yapılan Empedans Ölçümü Sonucu Elde Edilen Toprak Empedans Eğrileri

Topraklama sisteminin topraklama empedansı eğrileri her iki yönde yapılan ölçme için elde edilmiştir. 34.5 kV'luk iletim hattına paralel yapılan ölçmede elde edilen topraklama empedans eğrileri Şekil 4. 23'de görülmektedir. 34.5 kV'luk iletim hattına dik yapılan ölçme sonucu elde edilen topraklama empedans eğrileri Şekil 4. 24'de görüldüğü gibidir. İletim hattına dik yapılan ölçümde toprak yapısının farklı yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Her iki ölçme sonucunda topraklama empedans değerinin topraklama direnç değerinde büyük olduğu tespit edilmiştir

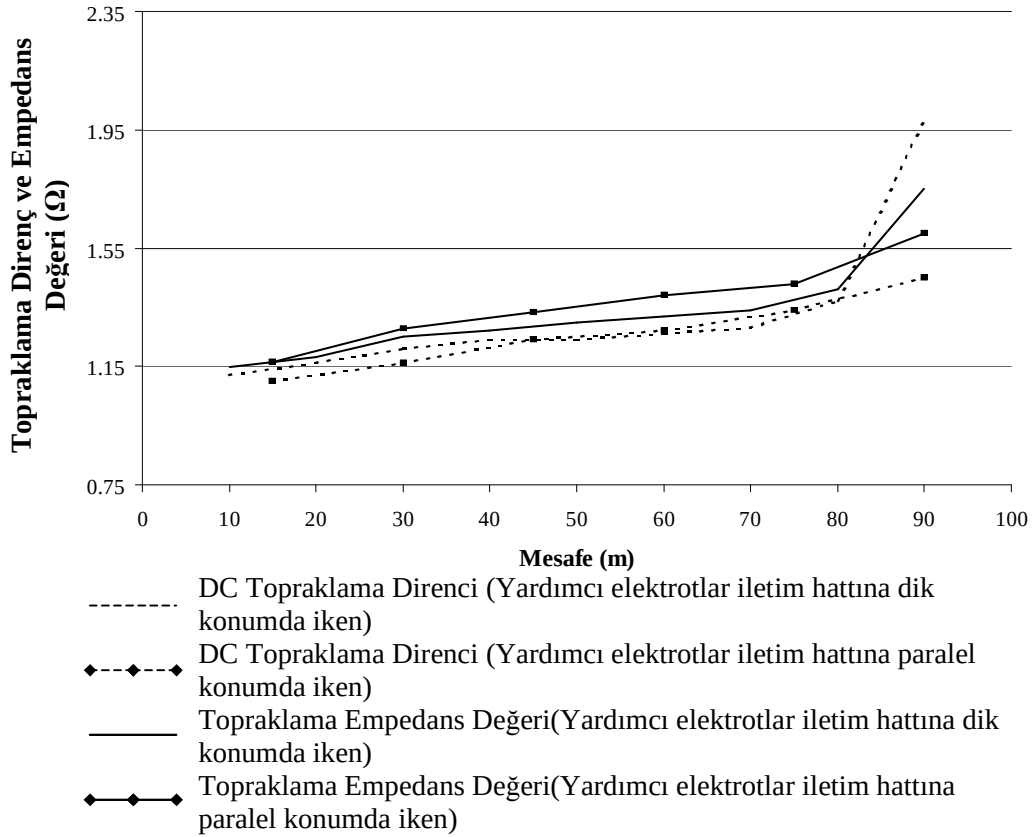


Şekil 4. 25. İletim Hattı Paralel Ölçüm Sonucu Elde Edilen Frekans Empedans Değişimi



Şekil 4. 26. İletim Hattına Dik Sonucu Elde Edilen Frekans Empedans Değişimi

Topraklama empedans değerinin frekansa göre değişimi Şekil 4. 25 ve Şekil 4. 26'de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir. Topraklama empedans değerinin 50 Hz ve katlarında yükseldiği görülmektedir.



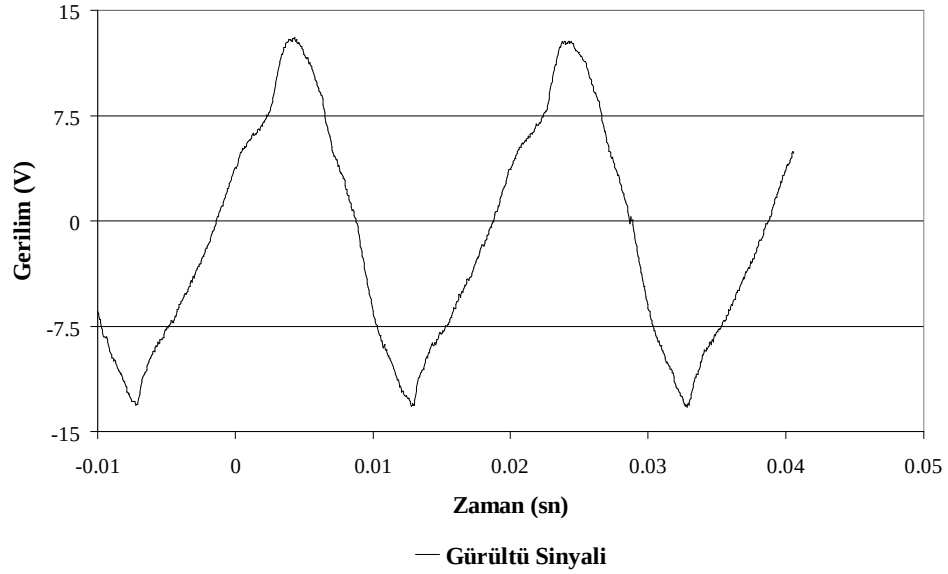
Şekil 4. 27. OG Trafo Merkezi için Topraklama Direnci ve Topraklama Empedansı (50 Hz için) Değerleri

Şekil 4. 27’de görüldüğü gibi iletim hattına paralel yapılan ölçme sonucunda elde edilen topraklama empedans değerinin iletim hattına dik yapılan ölçüm sonucu elde edilen topraklama empedans değerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca dik yapılan ölçme ile elde edilen topraklama direnci ile topraklama empedansı arasındaki farkın paralel yapılan ölçüm sonucundaki farktan daha büyük olduğu görülmüştür.

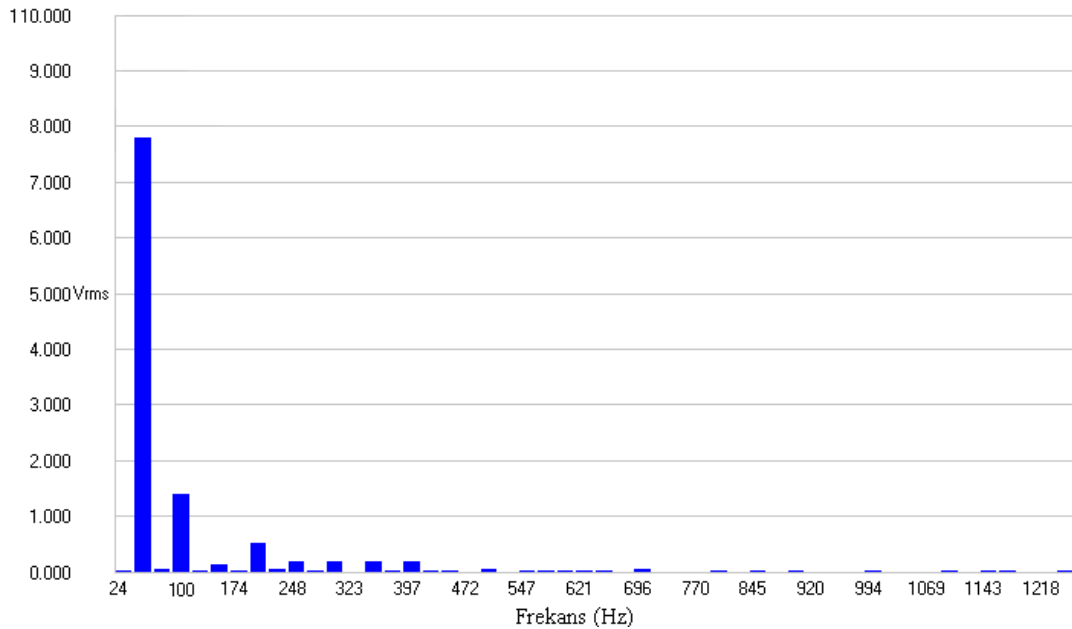
5.3.3 Geniş alan kaplayan topraklama sisteminde toprak empedansı ölçümü

Şekil 4. 8’da 154 kV’luk trafo merkezinin topraklama şebekesi görülmektedir. Şekil 4. 11’de aynı merkez için yardımcı test elektrotlarının yerleşimi planı gösterilmiştir. Test elektrotları iletim hatlarına paralel olmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Mümkün olduğunca topraklama şebekesinin merkezine akım ucu

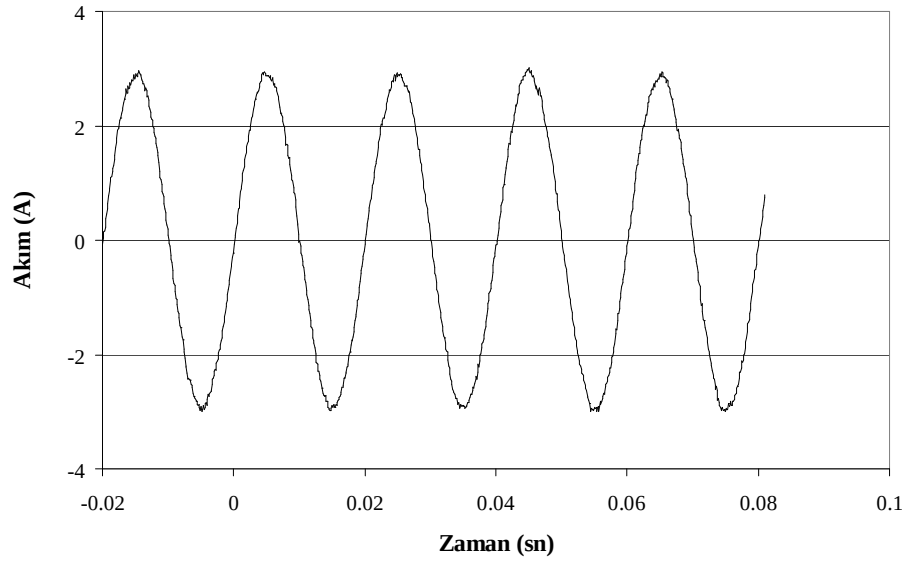
bağlanmıştır. 154 kV'luk trafo merkezinden ölçülen gürültü sinyali Şekil 4. 28'de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Gürültü sinyalinin frekans spektrumu Şekil 4. 29'de verilmiştir. Gürültü sinyali 50 Hz'lik sinyalin harmonikleri şeklindedir ve gürültü sinyali 7.8 V_{RMS} değerinde olduğu görülmektedir.



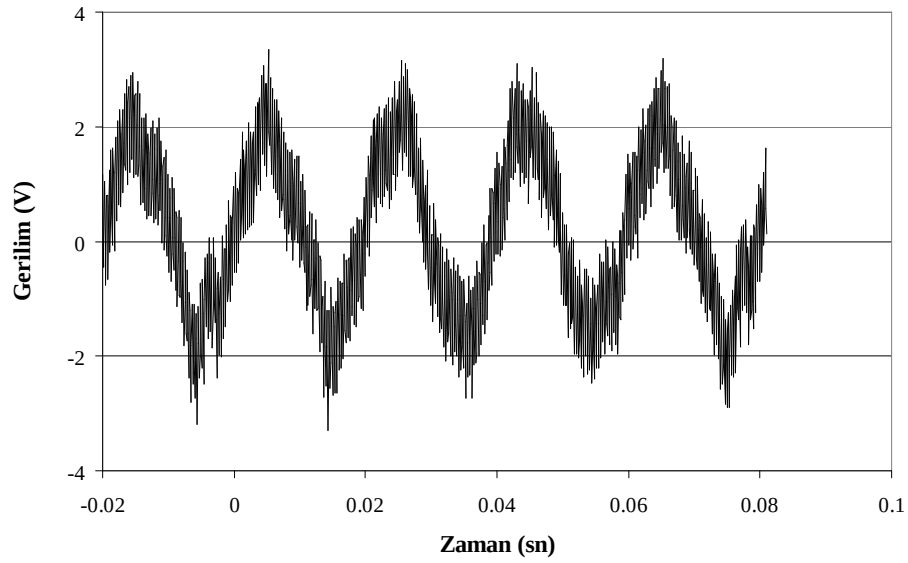
Şekil 4. 28. 154kV'luk Trafo Merkezinde Ölçülen Gürültü Sinyali



Şekil 4. 29. 154 kV'luk Trafo Merkezinde Ölçülen Gürültü Sinyalinin Frekans Spektrumu

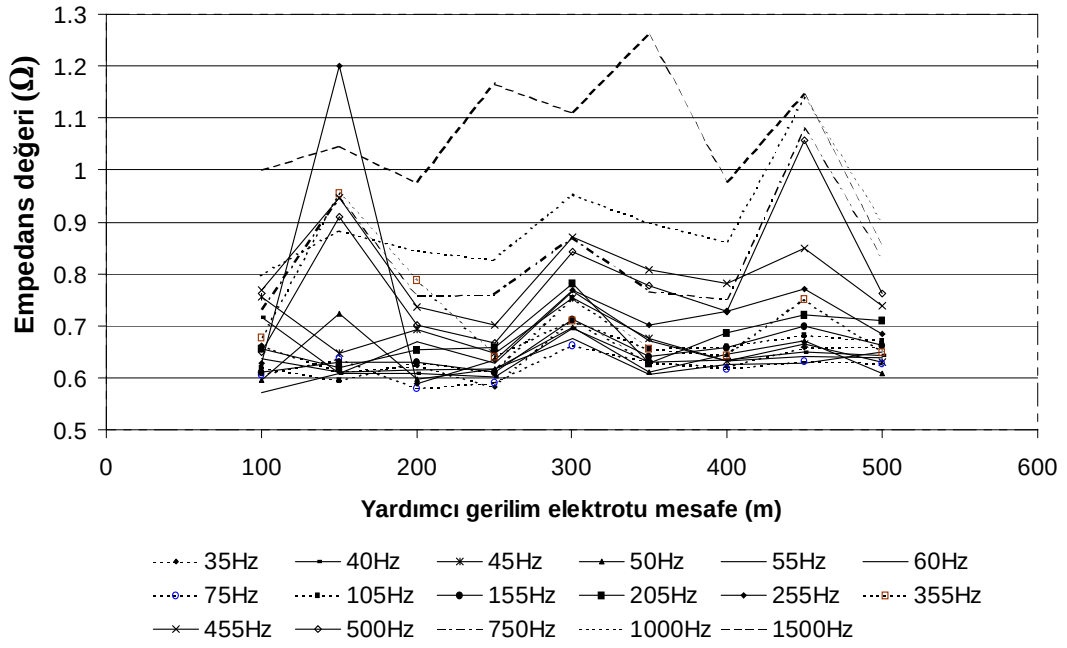


Şekil 4. 30. 154 kV’luk Trafo Merkezinden Topraklama Şebekesine Enjekte Edilen Test Akımı



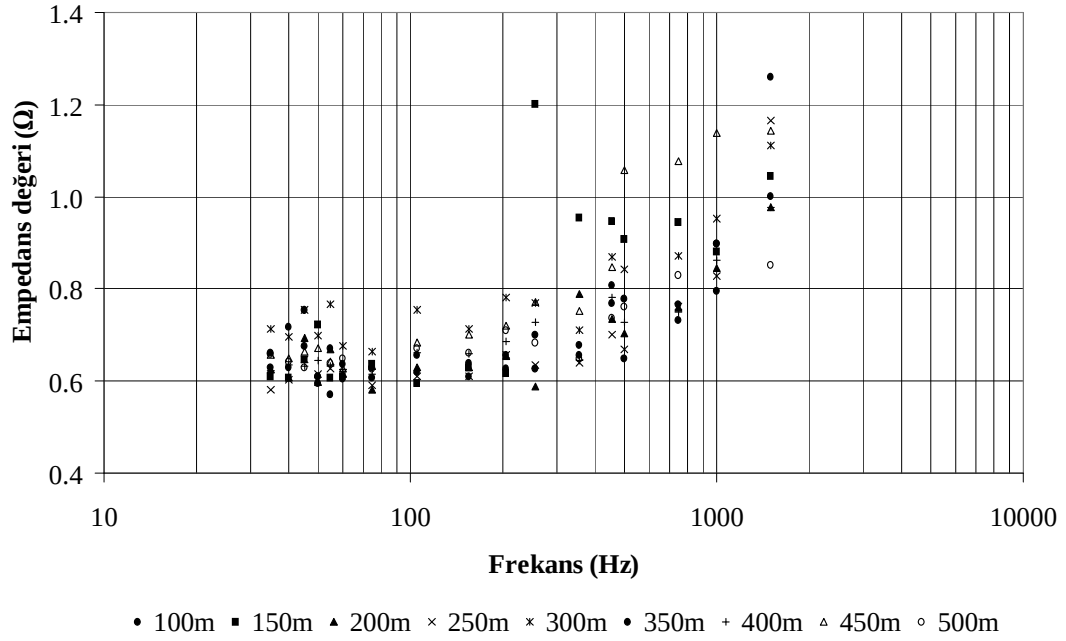
Şekil 4. 31. 154 kV’luk Trafo Merkezinde 350 m’ye Yerleştirilmiş Yardımcı Gerilim Elektrotundan Ölçülen Gerilim Sinyali

154 kv’luk trafo merkezinde topraklama empedans ölçümü sonucu elde edilen topraklama empedans değeri eğrileri Şekil 4. 32’de eğrilerle elde edilmiştir.

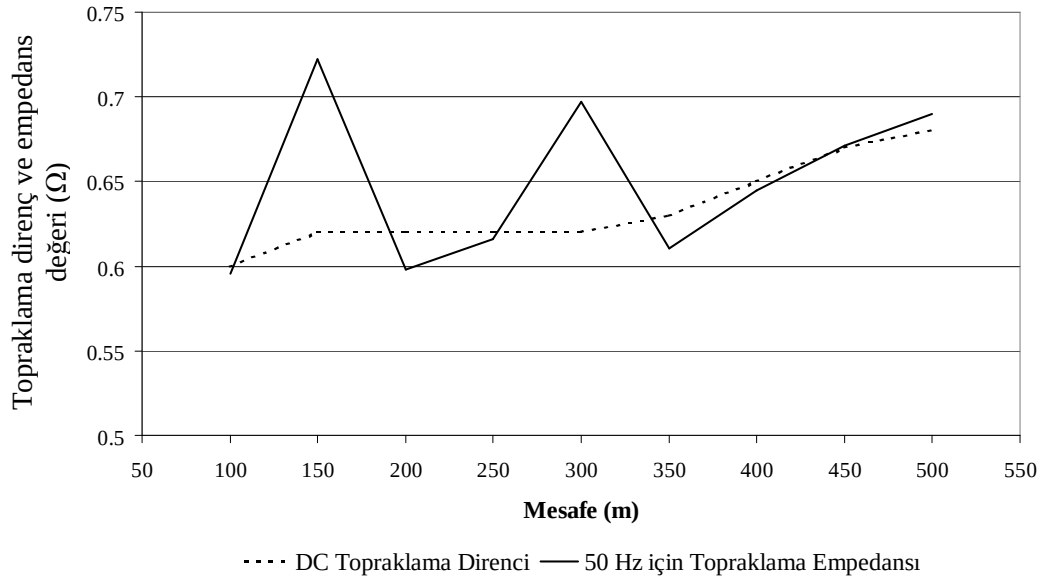


Şekil 4. 32. 154 kV’luk Topraklama Sisteminin Topraklama Empedans Değeri Değişim Eğrileri

255 Hz 150 m için yapılan ölçme de ölçüm hatası yapıldığı görülmektedir. Akım ve gerilim sabit değerde kalmadan ölçüm değeri olarak kaydedildiği için o noktadaki empedans oldukça büyük çıkmıştır. Ayrıca topraklama tesisi etrafında yardımcı gerilim elektrotu yönünde bulunan arazide toprak yapısının aynı olmasına rağmen arazilerin bir kısmının sürülmüş olması toprak empedans değerlerinin bazı noktalarda aşırı yükselmesi ve düşmesine sebep olduğu görülmüştür. Şekil 4. 33’de topraklama sistemi empedans değerinin frekansa bağlı değişimi görülmektedir. Topraklama empedans değerinin 50 Hz’de daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4. 33. 154 kV'luk Topraklama Sistemi için Frekans Topraklama Empedans Değeri Değişimi



Şekil 4. 34. 154 kV'luk Topraklama Sisteminin Topraklama Direnci ve Topraklama Empedans (50 Hz için) Değerleri

Şekil 4. 34'de 154 kV'luk trafo merkezinde yapılan ölçme sonucu elde edilen topraklama direnci ve empedansı değeri eğrileri verilmiştir. Topraklama direnci eğrisinde topraklama direncini belirleyen düz bölge oluşmuştur ve 154 kV'luk trafo merkezinin topraklama direnci 0.62Ω 'olduğu tespit edilmiştir. Fakat topraklama

empedans değeri eğrisi düzgün oluşmadığı ve bazı mesafelerde eğride yükselme ve alçalmaların olduğu görülmektedir. Bundan dolayı topraklama empedans değerinin tespiti oldukça güçtür. Topraklama empedans değerin eğrisindeki bu yükselme ve alçalmalar toprak yapısındaki farklılıklardan ve yardımcı elektrotların toprağa sıkı olarak yerleştirilmemesinden kaynaklandığı kabul edilmiştir. 154 kV'luk trafo merkezinin topraklama empedans değerinin tespiti % 61.8 metodunun uygulanması sonucu elde edilmiştir. %61.8 metodu için 370 m'den 50 Hz'lik test sinyali enjekte edildiğinde topraklama sisteminin topraklama empedans değeri 0.651 Ω olduğu belirlenmiştir.

5.4 Sonuç

Geliştirilen topraklama empedansı ölçme sistemiyle topraklama empedansı ölçülmüştür. Bu ölçme sonuçları topraklama direnci ile karşılaştırıldığında topraklama empedans değerinin topraklama direncinden büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre topraklama tesislerinde güvenlik analizi yapılırken topraklama empedans değeri göz önüne alınması daha iyi sonuç verecektir.

İlk ölçmenin yapıldığı topraklama sistemin ne kadar küçük olursa olsun topraklama empedansı küçümsenemeyecek boyutta olduğu görülmektedir. İlk ölçme esnasında karşılaşılan en önemli sorun yardımcı akım elektrotunun ısınması olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise toprak öz direncinin yüksek olması ve sisteme enjekte edilen test akımının yardımcı akım elektrotu etrafında harcanması olmuştur. Bu sorunu aşılması için diğer ölçmelerde tek yardımcı akım elektrotu yerine yardımcı akım elektrotu serisi kullanılmış ve böylece yardımcı akım elektrotunun ısınması engellenmiştir.

İkinci topraklama sisteminde en büyük sorun trafo merkezi etrafındaki enerji iletim hatları olmuştur. Bundan dolayı trafo merkezinde enerji iletim hatlarına paralel yönde yerleştirilen yardımcı akım elektrotu ve enerji iletim hatlarına dik yönde yerleştirilen yardımcı akım elektrotu yönünde ölçüm yapılmıştır. Yapılan iki ölçme aynı zamanda yapılmamıştır. Enerji iletim hatlarına paralel yönde yapılan ölçüm sonuçları enerji iletim hatlarına dik yönde yapılan ölçüm sonuçlarından % 17 daha

büyük olduğu görülmüştür. Ölçülen topraklama direnci değerinin ise topraklama empedans değerinden % 17 daha küçük olduğu görülmüştür.

Geniş alanı kaplayan topraklama sistemine sahip 154 kV'luk trafo merkezinde yapılan ölçümlerde '90°' metodu kullanılmıştır. Yardımcı test elektrotları enerji iletim hatlarına paralel olmayacak şekilde (Şekil 4.11'de görüldüğü gibi) yerleştirilmiştir. Topraklama direnci ölçme metodu olarak '*Basit Gerilim Düşümü*' metodu kullanılmıştır. Ölçme sonucu elde edilen topraklama direnci eğrisinde topraklama direncinin belirleneceği düz bölge oluşmuştur. Eğriden topraklama direncinin 0.62Ω olarak ölçülmüştür. Ölçme işlemi '% 61.8' ve 'eğim' metotları için kullanılarak yinelenmiş ve toprak direncinin aynı olduğu görülmüştür. Topraklama empedansı ölçümü sonucu elde edilen topraklama empedansı değeri 0.697Ω olarak ölçülmüştür. Topraklama empedansı ölçme metodu olarak '90°' metodu kullanıldığından dolayı test elektrotu iletkenleri arasında karşılıklı endüktans değeri elemine edilmiştir. Topraklama sistemi verileri ile yapılan hesaplama sonucu topraklama direnci 0.085Ω olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan topraklama direnci ile ölçülen topraklama direnci arasındaki fark topraklama sisteminde kullanılan elemanların zamanla korozyona uğraması sonucu oluşan iletken kaybındandır. Ayrıca toprak öz direnci kendi yaptığımız ölçme ile elde edilmemiştir.

6 SONUÇ

6.1 Sonuç ve tartışmalar

Bu çalışma, topraklama sisteminin toprak empedansının en doğru biçimde tespit edilmesi yönünde yapılan bir araştırmadır. Bu çalışma üç ana başlık altında toplanmıştır. Topraklama direnci ve topraklama empedansı ölçme tekniklerinin incelenmesi, yeni topraklama empedansı ölçme düzeneğinin geliştirilmesi ve gerçek topraklama şebekelerinde yapılan topraklama direnci ve topraklama empedansı sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde sıralanmaktadır.

Topraklama direnci ölçülmesinde en çok kabul gören ölçme metotları Tagg tarafından geliştirilen $C \gg r$ yaklaşımını kabul eden ölçme teknikleridir.

‘% 61.8’ metodu homojen toprak içinde yarı küre elektrotun elektriksel merkezinden yapılan topraklama direnç ölçümünde en doğru sonucu vermektedir. Fakat topraklama sistemlerinin elektriksel merkezini belirleyebilmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı ölçme işleminde hatalı sonuçlar bulunacağı görülmüştür.

‘*Kesişen eğriler*’ metodu sonucu elde edilen topraklama eğrilerinin tek noktada kesişmediği görülmüştür. Kesişmenin tek noktada gerçekleşmemesi topraklama direncinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Elde edilen topraklama direnç eğrileri bir üçgen oluşturacak şekilde kesişmektedir. Oluşan üçgenin ağırlık merkezinin topraklama direncini verdiği görülmüştür. Fakat doğru topraklama direnci değerine ulaşmanın oldukça zor olduğu tespit edilmiştir.

Geniş alan kaplayan topraklama sistemi için topraklama direnci standartlarda belirtilen hesaplama yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçmenin yapıldığı alanın toprak öz direnç ölçümü yapılmadığından toprak öz direnç değeri projede belirtilen değer alınmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda topraklama sisteminin topraklama kazıklarıyla desteklendiği durumlarda daha küçük topraklama direnç değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Aynı hesaplama yöntemleri aynı topraklama sisteminde kullanılarak topraklama direncinin değişimi incelenmiştir. Toprak öz direncinin

değişimi ile topraklama direncinin doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Topraklama sisteminin kapladığı alan ile toprak içine gömülü topraklama iletkeninin uzunluğunun ise ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür.

Hesaplamanın yapıldığı geniş alanı kaplayan 154 kV'luk trafo merkezi için yapılan topraklama direnç ölçümü sonucunda topraklama direnci hesaplanan değerden oldukça büyük olduğu belirlenmiştir. Ölçülen topraklama direnci ile hesaplanan topraklama direnci arasındaki fark, topraklama sisteminde kullanılan topraklama iletkenlerinin zaman içinde uğradıkları korozyon sonucu uğradıkları metalik kaybın sonucudur.

Geliştirilen topraklama ölçme düzeneği ile yapılan ölçmelerde karşılaşılan en önemli sorun yardımcı akım elektrotunun aşırı ısınması olmuştur. Bundan dolayı test altındaki elektrot sistemine istenilen düzeyde akım enjekte edilememiştir. Fakat ölçme düzeneğinde kullanılan güç kaynağının çıkışı izolasyon transformatörü üzerinde test sistemine bağlandığında yardımcı akım elektrotunun ısınma sorunu minimum düzeye indirilmiş ve istenilen genlik ve frekansta akım enjekte edilmiştir. Yüksek frekanslarda akım enjekte edileceği göz önüne alınarak izolasyon transformatörünün nüvesi büyük olarak yaptırılarak manyetik doyuma ulaşması engellenmiştir. Geliştirilen topraklama empedans ölçme düzeneği ile test altındaki elektrot sistemine 3 A-3.5 A test akımı enjekte edilmiştir. Güç kaynağı çıkışı 3.5 A ile sınırlandırılmıştır. Test altındaki elektrot sistemine maksimum 3.5 A 1500 Hz'lik test akımı enjekte edilmiştir. Topraklama empedansı yapılan topraklama sistemlerinde öncelikle gürültü sinyalleri tespit edilmiştir. Elde edilen gürültü sinyallerinin ağırlık olarak 50 Hz ve katları olan harmonik sinyalleri olduğu görülmüştür.

Topraklama sistemlerinden elde edilen gürültü sinyalleri MATLAB programında yapılan bir filtre programı ile ölçme sinyalleri üzerinden temizlendirilmiştir. Kullanılan filtre programı ile sadece enjekte edilen test frekansındaki sinyal alınmıştır.

Geliştirilen topraklama empedans ölçme düzeneği ile yapılan ölçme sonucu elde edilen topraklama empedans değerinin (50 Hz'lik güç frekansı için) topraklama direncinden yaklaşık %20 daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca topraklama

empedans değerinin 50 Hz ve katlarında diğer frekanslara göre daha büyük değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi sistemde var olan gürültü sinyalinin de aynı frekans değerlerinde olmasıdır. Topraklama empedans ölçülmesinde 50 Hz'in katlarında test akımı enjekte edilmeyerek harmonik etkisinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bundan dolayı topraklama sistemini sadece topraklama direncinden ibaret olarak kabul edilmesi ile yapılacak güvenlik analizlerinde hatalı sonuçlar doğuracaktır.

G frekansından yüksek frekanslarda yapılan ölçmelerde topraklama empedans değerinin çok daha büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Yüksek frekanslı hata akımların toprak gerilim yükselmesinin (GPR) ok daha büyük değerlere ulaşacağı görülmektedir.

6.2 Gelecek alışma için neriler

Geliştirilen topraklama empedans lme sistemi geniş alanları kaplayan tek bir topraklama sisteminde lme gerçekleştirilmiştir. Topraklama empedansı lme düzeneği geniş alan kaplayan farklı topraklama sistemlerinde ve homojen yapıya sahip olmayan toprak yapısına sahip topraklama sistemleri için topraklama empedans lme düzeneği ile ölçmeler yapılmalıdır ve lme sonuçları parametrik analizlerle karşılaştırılmalıdır. Teknik imkanlar yeterli olduğunda yüksek frekanslar içinde ölçümler yapılmalı ve yüksek frekanslı akımlara karşı topraklama sisteminin cevabı incelenmelidir. zellikle artan harmonikli yklerin kullanılması bu ihtiyaı gndeme getirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **IEEE: “ANSI/IEEE Std 81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”,** The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1983
- [2] **IEEE: “IEEE Std 81.2-1991, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems”,** The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1991
- [3] **THE ELECTRICITY ASSOCIATION: “Engineering Recommendation S.34 – A Guide for Assessing the Rise of Earth Potential at Substation Sites”.** The Electricity Association, 1996
- [4] **IEEE: “IEEE Std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”,** The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1980
- [5] **ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI: “Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği”,** 24500 sayılı Resmi Gazete, s. 222, 21 Ağustos 2001
- [6] **prEN 50179-1996: “Power installations exceeding 1 kV ac”,** CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation) CLC TC 99X (July 1997 Draft).
- [7] **BS 7354:1990: “Code of Practice for Design of High-Voltage Open-Terminal Stations”,** BSI Standard
- [8] **MORGAN, A. & TAYLOR, H.G.: “Measurement of the Resistance of Earth Electrodes”,** World Power, 1934, XXI (CXXI), pp. 22-27, 76-81, 130-135
- [9] **PETERS, O. S.: Bureau of Standards Technologic Paper NO.108, 1918**

- [10] **TAGG, G.F.:** "Measurement of Low Earth Electrode Resistances", The Electrical Times, 26th November 1936, pp.713-714
- [11] **TAGG, G.F.:** "Measurement of Low Resistance Earth Connections", The Electrical Times, 16th April 1953, pp. 709-767
- [12] **CURDTS, E.B.:** "Some of the Fundamental Aspects of Ground Resistance Measurements", AIEE Transaction, 1958, 77 (1), pp.760-767
- [13] **TAGG, G.F.:** "Measurement of Earth-Electrode Resistance with Particular Reference to Earth-Electrode Systems Covering a Large Area", IEE Proceedings, 1964,111(12), pp.2118-2130
- [14] **TAGG, G.F.:** "Measurement of the Resistance of an Earth- Electrode System Covering a Large Area" IEE Proceedings, 1969, 116(3), pp 2225-2234
- [15] **TAGG, G.F.:** "Measurement of the Resistance of Physically Large Earth-Electrode Systems" , IEE Proceedings, 1970, 117(11), pp. 2185-2189
- [16] **LAURENT, P.G.:** "Les Bases Generales de la Technique des Mises ala Terre dans les Installations Elecriques", Bulletin de la Societe Francaise des Eletriciens, vol.1, ser. 7, July 1951, pp.368-402.(İngilizce tercümesi Std.80 Eklerinde)
- [17] **NIEMANN, J.:** "Unstellung von Hochspannungs Erdungsalagen Aufden Betried Mit Starr Geerdetem Sternpunkt", Electrotechnische Zeitschrift, vol. 73, no.10, , May 1952pp. 333-337 (İngilizce tercümesi Std.80 Eklerinden).
- [18] **SVERAK, J. G.:** Sizing of Ground Conductors agaist Fusing", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 1, Jan. 1981, pp. 51-59.
- [18] **SCWHARZ, S.J.:** "Analytical expression of Grounding Systems", AIEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 73, no. 13, part III-B, Aug. 1954, pp.1011-1016

- [20] **SUNDE, E. D.:** “Earth Conduction Effects in Transmission Systems, New York, McMillan, 1968.
- [21] **RUDEBERG, R.:** “Grounding Principles and Practices Part-1, Fundamental Considerations on Grounding Currents”, Electrical Engineering, vol. 64, no. 1, Jan, 1945, pp. 1-13
- [22] **LARSEN, S.L. & NODELL, D.E.:** “The Measurement of Substation Ground Resistance and its in Determining Protection for Metallic Communication Circuits”, IEEE Transaction on Power Apparatus And Systems, 1975, 94(5), pp. 1666-1673
- [23] **TAGG, G.F.:** “Earth Resistance”, Georges Newnes Ltd, England , 1964.
- [24] **SMITH, L.E. & DUKE., C.A.:** “The Technique and Instrumentation of Low Impedance Ground Measurement”, AIEE Transaction, 1958, 77(1), pp. 767-770
- [25] **DICK, E.P. & ERVEN, C.C. & HARVEY, S.M.:** “Grounding System Tests for Analysis of Fault-Induced Voltages on Communications Equipment”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1979, 98(6), pp. 2115- 2125
- [26] **REYNOLDS, P.H. & IRONSIDE, D.S. & SILCOCKS, A.H. & WILLIAMS, J.B.:** “ A New Instrument for Measuring Ground Impedances”. IEEE PES Winter Meeting, 1979 New York, A 79 080-3
- [27] **LAIDING, J.F. & ZUPA, F.D.:** “A Practical Ground Potential Rise Prediction Technique for Power Stations”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1980, 99(1), pp. 207-216
- [28] **SHIER, R.M. & LU, I.D.:** “Application of a Digital Signal Analyser to the Measurement of Power System Ground Impedances”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1981, 100 (4), pp. 1918-1922
- [29] **SARMIENTO, H.G. & VELAZQUEZ, R. & FORTIN, J & MUKHEDKAR, D.:** “Survey of Low Ground Impedance Measurements”,

IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, 102 (9), pp.2842-2849

- [30] **VELAZQUEZ, R. & REYNOLDS, P.H. & MUKHEDKAR, D.:** “Earth Return Mutual Coupling Effects in Ground Resistance Measurements”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, 102 (6), pp.1850-1857
- [31] **PILLAI, P.R. & DICK, E.P.:** “A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7 (1), pp. 53-61
- [32] **MELIOPOULOS, A.P. & COKKINIDES, G. & ABDALLAH, H.:** “A PC Based Ground Impedance Measurement System”, IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8 (3), pp. 1095-1106
- [33] **CARSON, J.R.:** “Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return”, Bell System Technical Journal, 1926, 5 (10), pp. 539-554
- [34] **CAMPBELL, G.A.:** “Mutual Impedance of Grounded Circuits”, Bell System Technical Journal, 1923, 2 (4), pp. 1-30
- [35] **FOSTER, R.M.:** “Mutual Impedance of Grounded Wires Lying on the Surface of the Earth”, Bell System Technical Journal, 1931, X (3), pp. 408-419
- [36] **CLEM, J.E.:** “Reactance of Transmission Lines with Ground Return”, AIEE Transactions, 1931, 31 (64), pp. 901-918
- [37] **GARY, C.:** “Approche Complete de la Propagation Multifilaire en Haute Frequence par Utilisation des Matrices Complexes”, EDF Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, 1976, B (3/4), pp. 5-20 (İngilizce tercümesi Std.80 Eklerinden).
- [38] **NAKAGAWA, M. & IWAMOTO, K.:** “Earth-Return Impedance for the Multi-Layer Case”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1976, 95 (2), pp. 671-676

- [39] **DERI, A. & TEVAN, G. & SEMLYEN, A. & CASTANHEIRA, A.:**
“The Complex Ground Return Plane, A Simplified Model for Homogeneous and Multi-Layer Earth Return”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981, 100 (8), pp. 3686-3693

- [40] **JONES, P.:** “Electrical Measurement of Large Area Substation Earth Grids”, Electrical Division, School of Engineering, University of Wales, Cardiff, May-2001

- [41] **California Instruments** “User Guide”

- [42] **Fluke Instruments** “Fluke 192S User Guide”

ÖZGEÇMİŞ

Onur KATİPOĞULLARI, 1976 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğretimini 1982-1990 yılında Kocaeli’nin Gebze ilçesinde tamamladı. Lise öğretimini 1990 yılında kazandığı STFA Anadolu Teknik Lisesi Elektronik bölümünde tamamladı. Girmeye hak kazandığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden 2000 yılında mezun oldu. 2000 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı.

EK-1 ‘Eğim’ Metodu için Eğim Katsayısı Tablosu

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.4	0.6432	6431	6429	6428	6426	6425	6423	6422	6420	6419
0.41	0.6418	6416	6415	6413	6412	6410	6409	6408	6406	6405
0.42	0.6403	6402	6400	6399	6397	6396	6395	6393	6392	6390
0.43	0.6389	6387	6386	6384	6383	6382	6380	6379	6377	6376
0.44	0.6374	6373	6372	6370	6369	6367	6366	6364	6363	6361
0.45	0.636	6359	6357	6356	6354	6353	6351	6350	6348	6347
0.46	0.6346	6344	6343	6341	6340	6338	6337	6336	6334	6333
0.47	0.6331	6330	6328	6327	6325	6324	6323	6321	6320	6318
0.48	0.6317	6315	6314	6312	6311	6310	6308	6307	6305	6304
0.49	0.6302	6301	6300	6298	6297	6295	6294	6292	6291	6289
0.50	0.6288	6286	6285	6283	6282	6280	6279	6277	6276	6274
0.51	0.6273	6271	6270	6268	6267	6265	6264	6262	6261	6259
0.52	0.6258	6256	6255	6253	6252	6252	6248	6247	6245	6244
0.53	0.6242	6241	6239	6238	6236	6235	6233	6232	6230	6229
0.54	0.6227	6226	6224	6223	6221	6220	6218	6217	6215	6214
0.55	0.6212	6210	6209	6201	6206	6204	6203	6201	6200	6198
0.56	0.6197	6195	6194	6192	6191	6189	6188	6186	6185	6183
0.57	0.6182	6180	6179	6177	6176	6174	6172	6171	6169	6168
0.58	0.6166	6165	6163	6162	6160	6159	6157	6156	6154	6153
0.59	0.6151	6150	6148	6147	6145	6144	6142	6141	6139	6138
0.6	0.6136	6134	6133	6131	6130	6128	6126	6125	6123	6121
0.61	0.612	6118	6117	6115	6113	6112	6110	6108	6107	6105
0.62	0.6104	6102	6100	6099	6097	6096	6094	6092	6091	6089
0.63	0.6087	6086	6084	6083	6081	6079	6076	6076	6074	6073
0.64	0.6071	6070	6068	6066	6065	6063	6061	6060	6058	6057
0.65	0.6055	6053	6052	6050	6049	6047	6045	6044	6042	6040
0.66	0.6039	6037	6036	6034	6032	6031	6029	6027	6026	6024
0.67	0.6023	6021	6019	6018	6016	6015	6013	6011	6010	6008
0.68	0.6006	6005	6003	6002	6000	5998	5997	5995	5993	5992
0.69	0.599	5989	5987	5985	5984	5982	5989	5979	5977	5976
0.70	0.5974	5973	5971	5969	5967	5965	5964	5962	5960	5959
0.71	0.5957	5955	5953	5952	5950	5948	5947	5945	5943	5942
0.72	0.594	5938	5936	5935	5933	5930	5930	5928	5926	5924
0.73	0.5923	5921	5920	5918	5916	5914	5912	5911	5909	5907
0.74	0.5906	5904	5902	5900	5899	5897	5895	5894	5892	5890
0.75	0.5889	5887	5885	5883	5882	5880	5878	5877	5875	5873
0.76	0.5871	5870	5868	5866	5865	5863	5861	5859	5858	5856
0.77	0.5854	5853	5851	5849	5847	5846	5844	5842	5841	5839
0.78	0.5837	5835	5834	5832	5830	5829	5827	5825	5824	5822
0.79	0.582	5818	5817	5815	5813	5812	5810	5808	5806	5805

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.8	0.5803	5801	5799	5797	5796	5794	5792	5790	5788	5786
0.81	0.5785	5783	5781	5779	5777	5775	5773	5772	5770	5768
0.82	0.5766	5764	5762	5760	5759	5757	5755	5753	5751	5749
0.83	0.5748	5746	5744	5742	5740	5738	5736	5735	5733	5731
0.84	0.5729	5727	5725	5723	5722	5720	5718	5716	5714	5712
0.85	0.5711	5709	5707	5705	5703	5701	5699	5698	5696	5694
0.86	0.5692	5690	5688	5686	5685	5683	5681	5679	5677	5675
0.87	0.5674	5672	5670	5668	5666	5664	5662	5661	5659	5657
0.88	0.5655	5653	5651	5650	5648	5646	5644	5642	5640	5638
0.89	0.5637	5635	5633	5631	5629	5627	5625	5624	5622	5620
0.9	0.5618	5616	5614	5612	5610	5608	5606	5604	5602	5600
0.91	0.5598	5596	5594	5592	5590	5588	5586	5584	5582	5580
0.92	0.5578	5576	5574	5572	5570	5568	5565	5563	5561	5559
0.93	0.5557	5555	5553	5551	5549	5547	5545	5543	5541	5539
0.94	0.5537	5535	5533	5531	5529	5527	5525	5523	5521	5519
0.95	0.5517	5515	5513	5511	5509	5500	5505	5503	5501	5499
0.96	0.5497	5495	5493	5491	5489	5487	5485	5483	5481	5479
0.97	0.5477	5475	5473	5471	5469	5467	5464	5462	5460	5458
0.98	0.5466	5454	5452	5450	5448	5446	5444	5442	5440	5438
0.99	0.5436	5434	5432	5430	5428	5426	5424	5422	5420	5418
1	0.5416	5414	5412	5409	5407	5405	5403	5400	5398	5396
1.01	0.5394	5391	5389	5387	5385	5383	5380	5378	5376	5374
1.02	0.5371	5369	5367	5365	5362	5360	5358	5356	5354	5351
1.03	0.5349	5347	5345	5344	5340	5338	5336	5333	5331	5329
1.04	0.5327	5325	5322	5320	5318	5316	5313	5311	5309	5307
1.05	0.5305	5302	5300	5298	5296	5293	5291	5289	5287	5284
1.06	0.5282	5280	5278	5276	5273	5271	5269	5267	5264	5262
1.07	0.526	5258	5255	5253	5251	5249	5247	5244	5242	5240
1.08	0.5238	5235	5233	5231	5229	5229	5224	5222	5219	5217
1.09	0.5215	5213	5211	5209	5206	5204	5202	5200	5197	5195
1.1	0.5193	5190	5188	5185	5183	5180	5178	5175	5173	5170
1.11	0.5168	5165	5163	5160	5158	5155	5153	5150	5148	5145
1.12	0.5143	5140	5137	5135	5132	5130	5127	5125	5122	5120
1.13	0.5118	5115	5113	5110	5108	5105	5103	5100	5098	5095
1.14	0.5093	5090	5088	5085	5083	5080	5078	5075	5073	5070
1.15	0.5068	5065	5062	5060	5057	5055	5052	5050	5047	5045
1.16	0.5042	5040	5037	5035	5032	5030	5027	5025	5022	5020
1.17	0.5017	5015	5012	5010	5007	5005	5002	5000	5997	4995
1.18	0.4992	4990	4987	4985	4982	4980	4977	4975	4972	4970
1.19	0.4967	4965	4962	4960	4957	4955	4952	4950	4947	4945

μ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.2	0.4942	4939	4936	4933	4930	4928	4925	4922	4919	4916
1.21	0.4913	4910	4907	4904	4901	4899	4896	4893	4890	4887
1.22	0.4884	4881	4878	4875	4872	4870	4867	4864	4861	4858
1.23	0.4855	4852	4849	4846	4843	4841	4831	4835	4832	4829
1.24	0.4826	4823	4820	4817	4814	4812	4809	4806	4803	4800
1.25	0.4797	4794	4791	4788	4785	4783	4780	4777	4774	4771
1.26	0.4768	4765	4762	4759	4756	4754	4751	4748	4745	4742
1.27	0.4739	4736	4733	4730	4727	4725	4722	4719	4716	4713
1.28	0.471	4707	4704	4701	4698	4696	4693	4690	4687	4684
1.29	0.4681	4678	4675	4672	4669	4667	4664	4661	4658	4655
1.3	0.4652	4649	4645	4642	4638	4635	4631	4628	4625	4621
1.31	0.4618	4614	4611	4607	4604	4601	4597	4594	4590	4586
1.32	0.4583	4580	4577	4573	4570	4566	4563	4559	4556	4553
1.33	0.4549	4546	4542	4539	4535	4532	4529	4525	4522	4518
1.34	0.4515	4511	4508	4505	4501	4498	4494	4491	4487	4484
1.35	0.4481	4477	4474	4470	4467	4463	4460	4457	4453	4450
1.36	0.4446	4443	4439	4436	4432	4429	4426	4422	4419	4415
1.37	0.4412	4408	4405	4402	4398	4395	4391	4388	4384	4381
1.38	0.4378	4374	4371	4367	4364	4360	4357	4354	4350	4347
1.39	0.4343	4340	4336	4333	4330	4326	4323	4319	4316	4312
1.4	0.4309	4305	4301	4296	4292	4288	4284	4280	4275	4271
1.41	0.4267	4263	4258	4254	4250	4246	4242	4237	4233	4229
1.42	0.4225	4221	4216	4212	4208	4204	4200	4195	4191	4187
1.43	0.4183	4178	4174	4170	4166	4162	4157	4153	4149	4145
1.44	0.4141	4136	4132	4128	4124	4120	4115	4111	4107	4103
1.45	0.4099	4094	4090	4086	4082	4077	4073	4069	4065	4061
1.46	0.4056	4052	4048	4044	4040	4035	4031	4027	4023	4018
1.47	0.4014	4010	4006	4001	3997	3993	3989	3985	3980	3976
1.48	0.3972	3968	3964	3959	3955	3951	3947	3943	3938	3934
1.49	0.393	3926	3921	3917	3913	3909	3905	3900	3896	3892
1.5	0.3888	3883	3878	3874	3869	3864	3859	3854	3850	3845
1.51	0.384	3835	3830	3825	3820	3816	3811	3806	3801	3796
1.52	0.3791	3786	3781	3776	3771	3766	3760	3755	3750	3745
1.53	0.374	3735	3730	3724	3719	3714	3709	3704	3698	3693
1.54	0.3688	3683	3677	3672	3667	3662	3656	3651	3646	3640
1.55	0.3635	3630	3624	3619	3613	3608	3602	3597	3591	3586
1.56	0.358	3574	3569	3563	3557	3552	3546	3540	3534	3528
1.57	0.3523	3517	3511	3506	3500	3494	3488	3482	3477	3471
1.58	0.3465	3459	3453	3447	3441	3435	3429	3423	3417	3411
1.59	0.3405	3399	3393	3386	3380	3374	3368	3362	3355	3349

EK-2 Gürültü Sinyali için Kullanılan Filtre Programı

MATLAB programı

```
clear;
clc;
format short e
liste=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 ];
sira=[35 40 45 50 55 60 75 105 155 205 255 355 455 500 750 1000 1500];
s=0;
z=45;
for t=liste
    s=s+1;
    input=xlsread(strcat(num2str(t),'m',num2str(z),'hz.xls'));
    time=input(:,1);
    girisgerilim=input(:,2);
    girisakim=input(:,3);
    gerilim1=fft(girisgerilim);
    subplot(9,1,s),plot(time,girisgerilim,'g',time,girisakim,'b'),...
        title(strcat(num2str(z),'Hz',num2str(t),'m için Akim-Gerilim Egrisi')),grid;
    akim1=fft(girisakim);
    sonucgerilim=abs(gerilim1);
    sonucakim=abs(akim1);
    satirsayisi=size(time);
    olcmesayisi=satirsayisi(:,1);
    zaman=time(olcmesayisi)-time(1);
    peryot=zaman/olcmesayisi;
    frekans=1/(zaman);
    n=(olcmesayisi-1)*frekans;
    M=linspace(0,n,olcmesayisi);
    m=M';
    sonucgerilim=sonucgerilim';
    sonucakim=sonucakim';
```

```

gerilim1(1)=0;
akim1(1)=0;
gerilimmax=max(gerilim1);
akimmax=max(akim1);
for k=1:olcmesayisi,
    if gerilim1(k)==gerilimmax
        gerilim(k)=gerilimmax;
    else gerilim(k)=0;
    end
    if akim1(k)==akimmax
        akim(k)=akimmax;
    else akim(k)=0;
    end
end
gercekgerilim=real(ifft(gerilim));
gercekakim=real(ifft(akim));
T=t/1;
gerilimrms(T)= norm(gercekgerilim)/sqrt(olcmesayisi);
akimrms(T)= norm(gercekakim)/sqrt(olcmesayisi);
empedans(T)=gerilimrms(T)/akimrms(T);
empedans1(T)=gerilimmax/akimmax;
aci(T)=rad2deg(angle(empedans1(T)));
A=abs(empedans1);
end
end
fftempedans=empedans1(1:T)
rmsempedans=empedans(1:T)
fftempedansdegeri=A(1:T)
fazfarki=aci(1:T)
fid = fopen('data.xls','w+');
fprintf(fid,'%f\n',rmsempedans);
fprintf(fid,'%12.8f\n',fazfarki);
fclose(fid)

```

Kullanılan diğer MATLAB programı

```
clear;
clc;
format short e
liste=[35 40 45 50 55 60 75 105 155 205 255 355 455 500 750 1000 1500];
T=0;
for t=liste
    input=xlsread(strcat('90m',num2str(t),'hz.xls'));
    time=input(:,1);
    girisgerilim=input(:,2);
    girisakim=input(:,3);
    gerilim1=fft(girisgerilim);
    akim1=fft(girisakim);
    sonucgerilim=abs(gerilim1);
    sonucakim=abs(akim1);
    satirsayisi=size(time);
    olcmesayisi=satirsayisi(:,1);
    zaman=time(olcmesayisi)-time(1);
    peryot=zaman/olcmesayisi;
    frekans=1/(zaman);
    n=(olcmesayisi-1)*frekans;
    M=linspace(0,n,olcmesayisi);
    m=M';
    sonucgerilim=sonucgerilim';
    sonucakim=sonucakim';
    dcbilesengerilim=gerilim1(1);
    dcbilesenakim=akim1(1);
    gerilimmax=max(gerilim1(2:olcmesayisi));
    akimmax=max(akim1(2:olcmesayisi));
    for k=2:olcmesayisi,
        if gerilim1(k)==gerilimmax
            gerilim(k)=gerilimmax;
        else gerilim(k)=0;
        end
    end
end
```

```

    if akim1(k)==akimmax
        akim(k)=akimmax;
    else akim(k)=0;
    end
end
T=T+1;
gerilim(1)=dcbilesengerilim;
akim(1)=dcbilesenakim;
gercekgerilim=ifft(gerilim);
gercekakim=ifft(akim);
gerilimrms(T)= norm(gercekgerilim)/sqrt(olcmesayisi);
akimrms(T)= norm(gercekakim)/sqrt(olcmesayisi);
empedans(T)=gerilimrms(T)/akimrms(T);
empedans1(T)=gerilimmax/akimmax;
aci(T)=rad2deg(angle(empedans1(T)));
A=abs(empedans1);
end
plot(liste,abs(empedans1(1:T))),...
    xlabel('Frekans(hz)'),ylabel('direnc(ohm)'),...
    title('empedans dagilimi'),grid;
fftempedans=empedans1(1:T)
direnc=abs(real(empedans1(1:T)))
xdirenc=abs(imag(empedans1(1:T)))
rmsempedans=empedans(1:T)
fftempedansdegeri=A(1:T);
fazfarki=aci(1:T)

```

Gürültü sinyali için kullanılan matlab programı

```

clc;
clear;
format short e
input=xlsread(strcat('gurultu1.xls'));
time=input(:,1);
girisgerilim=input(:,2);
subplot(4,1,1),plot(time,girisgerilim,'g'),...
    xlabel('Zaman(sn)'),ylabel('Gerilim(V)'),Grid
gerilim1=fft(girisgerilim);
sonucgerilim=abs(gerilim1);
satirsayisi=size(time);
olcmesayisi=satirsayisi(:,1);
girisgerilimrms=norm(girisgerilim)/sqrt(olcmesayisi)
zaman=time(olcmesayisi)-time(1);
periyot=zaman/olcmesayisi;
frekans=1/(zaman);
n=(olcmesayisi-1)*frekans;
M=linspace(0,n,olcmesayisi);
m=M';
sonucgerilim=sonucgerilim'
subplot(4,1,2),stem(m,sonucakim),...
    xlabel('Frekans (Hz)'),ylabel('magnitude'),...
axis([0 2500 0 250]),grid
gerilim1(1)=0;
gerilimmax=max(gerilim1);
y=0;
for k=1:olcmesayisi,
    y=y+1;
    if gerilim1(k)==gerilimmax
        n=y;
        gerilim(k)=gerilimmax;
    else gerilim(k)=0;

```

```

    end
end
sabitgerilim=abs(gerilim1(n-1))+abs(gerilim1(n+1));%+gerilim1;
gerilim(n)=gerilim(n)+sabitgerilim;
subplot(4,1,3),stem(m,sonucgerilim),...
    xlabel('Frekans (Hz)'),ylabel('magnitude'),...
axis([0 2500 0 250]),grid
gercekgerilim=(ifft(gerilim));
gercekgerilimmax=max(gercekgerilim)
subplot(4,1,4), plot(time,real(gercekgerilim),'g')
    xlabel('Zaman(sn)'),ylabel('Gerilim'),...
    title('Monitörün Akim egrisi'),grid
gerilimrms= norm(gercekgerilim)/sqrt(olcmesayisi);

```

1 IEEE: ‘ANSI/IEEE Std 81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System’, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1983

2 IEEE: ‘IEEE Std 81.2-1991, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems’, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1991

3 THE ELECTRICITY ASSOCIATION: ‘Engineering Recommendation S.34 – A Guide for Assessing the Rise of Earth Potential at Substation Sites’. The Electricity Association, 1996

4 IEEE: ‘IEEE 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding’, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, 1980

5 ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI : ‘Elektrik Tesislerinde topraklamalar yönetmeliği’, 24500 sayılı resmi gazette, s. 222 21 Ağustos 2001

6 prEN 50179-1996: ‘Power installations exceeding 1 kV ac’, CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardisation) CLC TC 99X (July 1997 Draft).

7 BS 7354:1990: ‘Code of Practice for Design of High-Voltage Open-Terminal Stations’, BSI Standard

8 MORGAN, A. & TAYLOR, H.G.: “Measurement of the Resistance of Earth Electrodes”, World Power, 1934, XXI (CXXI) pp. 22-27, 76-81, 130-135

9 PETERS, O. S.: Bureau of Standards Technologic Paper NO.108, 1918

10 TAGG, G.F.: "Measurement of Low Earth Electrode Resistances", The Electrical Times, 26th November 1936 pp.713-714

11 TAGG, G.F.: "Measurement of Low Resistance Earth Connections", The Electrical Times, 16th April 1953 pp. 709-767

12 CURDTS, E.B.: "Some of the Fundamental Aspects of Ground Resistance Measurements", AIEE Transaction, 1958, 77 (1) pp.760-767

13 TAGG, G.F.: "Measurement of Earth-Electrode Resistance with Particular Reference to Earth-Electrode Systems Covering a Large Area", IEE Proceedings, 1964,111(12) pp.2118-2130

14 TAGG, G.F.: "Measurement of the Resistance of an Earth- Electrode System Covering a Large Area" IEE Proceedings, 1969, 116(3) pp 2225-2234

15 TAGG, G.F.: "Measurement of the Resistance of Physically Large Earth-Electrode Systems" , IEE Proceedings, 1970, 117(11) pp. 2185-2189

16 LAURENT, P.G.: 'Les Bases Generales de la Technique des Mises ala Terre dans les Installations Elecriques', Bulletin de la Societe Francaise des Eletriciens, vol.1, ser. 7 pp.368-402, July 1951.

17 NIEMANN, J.: 'Unstellung von Hochspannungs Erdungsalagen Aufden Betried Mit Starr Geerdetem Sternpunkt', Electrotechnische Zeitschrift, vol. 73, no.10, pp. 333-337, May 1952

18 SVERAK, J. G.: Sizing of Ground Conductors agaist Fusing', IEEE transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 1. pp. 51-59, Jan. 1981.

19 SCWHARZ, S.J.: 'Analytical expression of Grounding Systems', AIEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. 73, no. 13, part III-B, pp.1011-1016, Aug. 1954

20 SUNDE, E. D.: 'Earth Conduction Effects in Transmission Systems, New York, McMillan, 1968

21 RÜDENBERG, R.: 'Grounding Principles and Practices-Part 1, Fundamental Considerations on Grounding Currents', Electrical Engineering, vol. 64, no. 1, pp. 1-13. Jan, 1945

22 LARSEN, S.L. & NODELL, D.E.: "The Measurement of Substation Ground Resistance and its in Determining Protection for Metallic Communication Circuits", IEEE Transaction on Power Apparatus And Systems, 1975, 94(5) pp. 1666-1673

23 TAGG, G.F.: "Earth Resistance", Georges Newnes Ltd, England, 1964.

24 SMITH, L.E. & DUKE., C.A.: "The Technique and Instrumentation of Low Impedance Ground Measurement", AIEE Transaction, 1958, 77(1) pp. 767-770

25 DICK, E.P. & ERVEN, C.C. & HARVEY, S.M.: "Grounding System Tests for Analysis of Fault-Induced Voltages on Communications Equipment", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1979, 98(6) pp. 2115-2125

26 REYNOLDS, P.H. & IRONSIDE, D.S. & SILCOCKS, A.H. & WILLIAMS, J.B.: "A New Instrument for Measuring Ground Impedances". IEEE PES Winter Meeting, 1979 New York, A 79 080-3

27 LAIDING, J.F. & ZUPA, F.D.: "A Practical Ground Potential Rise Prediction Technique for Power Stations", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1980, 99(1) pp. 207-216

28 SHIER, R.M. & LU, I.D.: "Application of a Digital Signal Analyser to the Measurement of Power System Ground Impedances", IEEE Transaction on Power Apparatus and systems, 1981, 100 (4)pp. 1918-1922

29 SARMIENTO, H.G. & VELAZQUEZ, R. & FORTIN, J & MUKHEDKAR, D.: "Survey of low Ground Impedance Measurements", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, 102 (9) pp.2842-2849

30 VELAZQUEZ, R. & REYNOLDS, P.H. & MUKHEDKAR, D.: "Earth Return Mutual Coupling Effects in Ground Resistance Measurements", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, 102 (6) pp.1850-1857

31 PILLAI, P.R. & DICK, E.P.: 'A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems', IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7 (1) pp. 53-61

32 MELIOPOULOS, A.P. & COKKINIDES, G. & ABDALLAH, H.: 'A PC Based Ground Impedance Measurement System', IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8 (3) pp. 1095-1106

33 CARSON, J.R.: 'Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return', Bell System Technical Journal, 1926, 5 (10) pp. 539-554

34 CAMPBELL, G.A.: 'Mutual Impedance of Grounded Circuits', Bell System Technical Journal, 1923, 2 (4) pp. 1-30

35 FOSTER, R.M.: 'Mutual Impedance of Grounded Wires Lying on the Surface of the Earth', Bell System Technical Journal, 1931, X (3) pp. 408-419

36 CLEM, J.E.: 'Reactance of Transmission Lines with Ground Return', AIEE Transactions, 1931, 31 (64) pp. 901-918

37 GARY, C.: 'Approche Complete de la Propagation Multifilaire en Haute Frequence par Utilisation des Matrices Complexes', EDF Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, 1976, B (3/4) pp. 5-20

38 NAKAGAWA, M. & IWAMOTO, K.: 'Earth-Return Impedance for the Multi-Layer Case', IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1976, 95 (2) pp. 671-676

39 DERI, A. & TEVAN, G. & SEMLYEN, A. & CASTANHEIRA, A.: 'The Complex Ground Return Plane, A Simplified Model for Homogeneous and Multi-Layer Earth Return', IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1981, 100 (8) pp. 3686-3693

40 JONES, P.: "Electrical Measurement of Large Area Substation Earth Grids", Electrical Division, School of Engineering, University of Wales, Cardiff, May-2001

41 California Instruments 'User Guide'

42 Fluke Instruments 'Fluke 192S User Guide'