

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK DOĞRULUĞA SAHİP
100 kV YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Ahmet MEREV**

**Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
Programı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**

AĞUSTOS 2005

**YÜKSEK DOĞRULUĞA SAHİP
100 kV YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Ahmet MEREV
(504992437)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ağustos 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Kasım 2005**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Kevork MARDİKYAN (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Celal KOCATEPE (Y.T.Ü.)
Y. Doç. Dr. Serhat İKİZOĞLU (İ.T.Ü.)
Y. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU (Kocaeli Üniv.)**

AĞUSTOS 2005

ÖNSÖZ

Yüksek gerilim ölçmelerindeki ölçüm belirsizliğine etki eden birçok bileşen bulunmaktadır. Bunlar; gerilim bölücülerinin belirsizliği, güç kaynağının neden olduğu belirsizlik, ölçüm kablosundan gelen hatalar, alçak gerilim ölçüm cihazlarından ve kaydedicilerinden kaynaklanan belirsizlik bileşenleridir. Ancak bu bileşenlerden en önemlisi, gerilim bölücülerden gelen belirsizliklerdir ve bazı ölçüm bölgelerinde diğer bileşenlerin belirsizlik etkisi ihmal edilebilmektedir. Bu nedenle, yüksek gerilim bölücülerinin en düşük belirsizlikte ölçüm yeteneğine sahip olarak tasarlanmaları ve üretilmeleri yüksek gerilim metrolojisi için çok önemlidir.

Yüksek doğru gerilimler geçmişte sadece bilimsel çalışmalar ve araştırmalar için kullanılmakta iken, günümüzde tıp ve enerji iletim teknolojilerinde, yüksek kapasiteli yalıtım ve iletim malzemelerinin deneylerinde, uygulamalı fizikte (elektron mikroskobu, parçacık hızlandırıcı vb.), endüstriyel uygulamalarda (elektrostatik boyama, baca filtrelemesi vb.) ve haberleşme elektronığı (televizyon teknolojisi, uydu haberleşmesi vb.) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yüksek doğru gerilimlere olan gereksinim beraberinde ölçüm tekniklerinin geliştirilmesini ve kullanılmasını da zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmayla; Türkiye’de yüksek doğru gerilim tekniğinde kullanılan tüm ölçme ve cihaz ve sistemlerinin, 100 ppm’den küçük ölçüm belirsizliğinde kalibrasyonuna olanak tanıyacak 100 kV’luk dirençsel bir yüksek doğru gerilim bölücüsünün tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması sırasında bana her zaman, her konuda destek veren, yardımlarını esirgemeyen, tezin oluşumu sırasında beni yönlendiren tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ’ye, çalışmakta olduğum TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü’ndeki tüm çalışma arkadaşlarıma, desteklerini ve iyi niyetlerini her zaman sunan doktora tez izleme jüri üyelerim ve hocalarım Prof. Dr. Kevork MARDİKYAN ve Prof. Dr. Celal KOCATEPE’ye yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Son olarak, bana sabır, ilgi ve sevgisiyle destek veren sevgili eşim Birsen MEREV’e ve doktora eğitimime başladığım günlerde dünyaya gelerek varlığıyla bana büyük moral kaynağı olan sevgili kızım Nisa Nur MEREV’e çok teşekkür ederim.

Ağustos 2005

Ahmet MEREV

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yüksek Doğru Gerilimlerin Ölçülmesi	2
1.1.1. Küresel Elektrotlarla Ölçme Yöntemi	2
1.1.2. Seri Dirençle Ölçme Yöntemi	4
1.1.3. Dirençsel Gerilim Bölücü ile Ölçme Yöntemi	4
1.1.4. Elektrostatik Voltmetrelerle Ölçme Yöntemi	6
1.1.5. Generatör İlkeli Ölçme Yöntemi	7
1.1.6. Çubuk Elektrotlarla Ölçme Yöntemi	8
1.2. Yüksek Doğru Gerilim Bölücülerinin Geçmişi	9
1.3. Park Tipi Gerilim Bölücüler ve Tasarımı	10
2. GENEL METROLOJİ VE İZLENEBİLİRLİK	13
2.1. Metroloji Nedir?	13
2.2. Metre Uzlaşması	13
2.3. SI Temel Birimleri	14
2.3.1. Kilogram (kg)	14
2.3.2. Metre (m)	14
2.3.3. Saniye (s)	14
2.3.4. Amper (A)	15
2.3.5. Kandela (cd)	15
2.3.6. Kelvin (K)	15
2.3.7. Mol (mol)	15
2.4. Türetilmiş Birimler	15
2.5. Metrolojinin Sınıflandırılması	17
2.5.1. Bilimsel Metroloji	17
2.5.2. Endüstriyel Metroloji	17
2.5.3. Yasal Metroloji	17
2.6. Türkiye’de Metroloji	19
2.7. İzlenebilirlik	19
2.8. Standartlar Hiyerarşisi	20
2.8.1. Ulusal Standart	21
2.8.2. Referans Standart	21

2.8.3. Transfer Standardı	21
2.8.4. Çalışma Standardı	21
2.9. Karşılaştırmalar	21
2.10. Belirsizlik ve Doğruluk Kavramları	22
2.11. Belirsizlik Hesaplamaları	23
2.11.1. A-tipi Belirsizlik	24
2.11.1.1. Student Dağılımı ($1 < n \leq 10$)	24
2.11.1.2. Normal Dağılım ($n > 10$)	25
2.11.2. B-tipi Belirsizlik	25
2.11.3. Bileşik Belirsizlik	27
2.11.4. Genişletilmiş Belirsizlik	28
2.12. Yüksek Gerilim Metrolojisi	29
2.12.1. Yüksek Doğru Gerilimde İzlenebilirlik	29
2.12.2. Yüksek Alternatif Gerilimde İzlenebilirlik	31
2.12.3. Yüksek Darbe Geriliminde İzlenebilirlik	33
2.13. Akreditasyon Nedir?	35
2.14. Laboratuvar Akreditasyonu	35
3. UME YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜ	37
3.1. Gerilim Bölücünün Yüksek Gerilim Kolunda Kullanılan Dirençler	37
3.2. Gerilim Bölücünün Yüksek Gerilim Kolunda Kullanılan Dirençlerin Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi	38
3.3. Gerilim Bölücünün Yüksek Gerilim Kolunda Kullanılan Dirençlerin Sıcaklık Katsayılarının Belirlenmesi	42
3.4. Gerilim Bölücünün Yüksek Gerilim Kolunda Kullanılan Dirençlerin Gerilim Katsayılarının Belirlenmesi	44
3.5. Gerilim Bölücünün Yüksek Gerilim Kolunda Kullanılan Dirençlerin Seçilmesi	50
3.6. Gerilim Bölücünün Alçak Gerilim Kolunda Kullanılan Direncin Seçilmesi	53
3.7. Gerilim Bölücünün Montajı	56
3.8. Gerilim Bölücünün Çevirme Oranı	59
4. YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜNDEKİ DİRENÇLERİN DİZİLİŞİ VE ELEKTROT TASARIMI	60
4.1. Giriş	60
4.2. Dirençlerin Dizilişi	61
4.3. Korona Boşalmaları ve Korona Halkası Eğrilik Yarıçapı	64
4.4. Elektrostatik Alan Dağılımı ve Bölücüye Etkisi	67
4.4.1. Direnç Ekranının Topraklanması Durumu	71
4.4.2. Direnç Ekranının Gerilim Altında Olması Durumu	73
4.5. Elektrodun Elektrik Alan Analizi	74

5. YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜ PERFORMANS DENEYLERİ	80
5.1. Giriş	80
5.2. Kararlılık Deneyi	81
5.3. Sıcaklık Dağılım Deneyi	83
5.4. Doğrusallık Deneyi	87
5.5. Farklı Yüksek Alternatif Gerilimler Altında Bölücünün Çevirme Oranının Belirlenmesi Deneyi	89
5.6. Kısmi Boşalma (PD) Deneyi	90
5.7. Korona Deneyi ve Korona Başlangıç Geriliminin Belirlenmesi	93
5.8. Kaçak Akım Deneyi	95
5.9. Gerilim Bölücü Birim Basamak Yanıtının Belirlenmesi	96
5.9.1. Gerilim Bölücünün Geçici Rejim Yanıtının Özellikleri	96
5.9.2. Deney	99
6. YÜKSEK DOĞRU GERİLİM BÖLÜCÜSÜNÜN ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	102
6.1. Giriş	102
6.2. Bölünmüş Gerilim Değerinin Ölçüm Belirsizliği	102
6.3. Alçak Gerilimde Çevirme Oranının Belirlenmesindeki Belirsizlik	103
6.4. Sıcaklık Etkisinden Kaynaklanan Belirsizlik	106
6.5. Gerilim Etkisinden Kaynaklanan Belirsizlik	107
6.6. Kaçak Akımların Neden Olduğu Belirsizlik	108
6.7. Korona Akımlarının Neden Olduğu Belirsizlik	108
6.8. Kısa Dönem Kararlılığı	109
6.9. Belirsizlik Bütçesi	109
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	116
EK A R97 VE R169 DİRENÇLERİNİN YÜZEY SICAKLIKLARI VE ZAMAN İLİŞKİSİ	123
EK B R97 VE R169 DİRENÇLERİNİN YÜZEY SICAKLIKLARININ BELİRLENMESİ	127
EK C SICAKLIK KATSAYILARI BELİRLENEN DİRENÇ ELEMANLARININ 13-43°C SICAKLIK ARASINDAKİ DEĞERLERİ VE 23-33°C SICAKLIK ARASINDAKİ SICAKLIK KATSAYILARI 135	
EK D SICAKLIK KATSAYILARI BELİRLENEN DİRENÇ ELEMANLARININ 13-43°C SICAKLIK ARASINDAKİ DEĞİŞİMLERİ	141

EK E SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE EKSENEL SİMETRİLİ ALAN PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ	206
EK F YÜKSEK GERİLİM BÖLÜCÜSÜNÜN ANMA GERİLİMİNDE VE FARKLI ZAMANLARDAKİ SICAKLIK DAĞILIMLARI	216
ÖZGEÇMİŞ	225

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
AQAP	: Allied Quality Assurance Publications
BIPM	: Bureau International des Poids et Mesures
BS	: British Standard (İngiliz Standardı)
CIPM	: Comite International des Poids et Mesures
CPEM	: Conference on Precision Electromagnetic Measurements
DA	: Doğru Akım
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
FEMM	: Finite Element Method Magnetics
HVDC	: High Voltage Direct Current (Yüksek Gerilim Doğru Akım)
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komitesi)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
ISH	: International Symposium of High-Voltage (Uluslararası Yüksek Gerilim Sempozyumu)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Oluşturma Kuruluşu)
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
LI	: Lightning Impulse (Yıldırım Darbesi)
NTC	: Negative Temperature Coefficient-(Negatif Sıcaklık Katsayısı)
OIML	: Organisation Internationale de Métrologie Légale
ÖS	: Ölçüm Sistemi
PD	: Partial Discharge (Kısmi Boşalma)
PTB	: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RÖS	: Referans Ölçüm Sistemi
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
SI	: Switching Impulse (Anahtarlama Darbesi)
TS	: Türk Standardı
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
YG	: Yüksek Gerilim
ZP	: Zaman Parametresi

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Küreler arası açıklık ve küre çapının ölçüm belirsizliğine etkisi	4
Tablo 2.1	Yedi temel SI biriminden türetilmiş bazı büyüklükler.....	16
Tablo 2.2	Student ve normal dağılım katsayıları.....	25
Tablo 2.3	Güvenilirlik düzeyleri ve kapsam faktörleri.....	28
Tablo 2.4	Yüksek doğru gerilim ölçme sisteminin belirsizlik bileşenleri.	31
Tablo 2.5	Yüksek alternatif gerilim ölçme sisteminin belirsizlik bileşenleri.....	33
Tablo 2.6	Darbe ölçme sisteminin genlik büyüklüğündeki belirsizlik bileşenleri.....	34
Tablo 2.7	Darbe ölçme sisteminin zaman büyüklüklerindeki belirsizlik bileşenleri.....	34
Tablo 3.1	R_S standart direncin değerleri.....	47
Tablo 3.2	Dirençlerin gerilim katsayıları.....	50
Tablo 3.3	Bölücünün yüksek gerilim kolu için seçilen dirençler.....	52
Tablo 3.4	100 k Ω 'luk dirençler.....	55
Tablo 3.5	Pleksiglas malzemenin bazı temel özellikleri.....	57
Tablo 3.6	Derlin malzemenin bazı temel özellikleri.....	58
Tablo 4.1	Bölücüye bağlanan dirençlerin sırası (yukarıdan-aşağıya).....	65
Tablo 5.1	Kararlılık deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar.....	82
Tablo 5.2	Kararlılık deneyi sonuçları.....	83
Tablo 5.3	Sıcaklık dağılımı deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar...	84
Tablo 5.4	Anma geriliminde bölücünün sıcaklık dağılımı deneyi sonuçları.....	86
Tablo 5.5	Doğrusallık deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar.....	88
Tablo 5.6	Doğrusallık deney sonuçları.....	88
Tablo 5.7	Yüksek alternatif gerilimde bölücünün çevirme oranının belirlenmesi deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar	89
Tablo 5.8	Yüksek alternatif gerilimde bölücünün çevirme oranının belirlenmesi deney sonuçları.....	90
Tablo 5.9	Kısmi boşalma ölçmelerinde kullanılan aletler ve donanımlar.	92

Tablo 5.10	Kısmi boşalma ölçme sonuçları.....	93
Tablo 5.11	Korona deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar.....	95
Tablo 5.12	Birim basamak yanıtı deneyinde kullanılan aletler ve donanımlar.....	100
Tablo 6.1	Paralel kollardan seçilen dirençler.....	106
Tablo 6.2	Belirsizlik bütçesi.....	110
Tablo A.1	R97 direncinin farklı gerilimlerdeki yüzey sıcaklıkları ve zaman ilişkisi.....	123
Tablo A.2	R97 direncinin farklı gerilimlerdeki yüzey sıcaklıkları ve zaman ilişkisi (devamı).....	124
Tablo A.3	R169 direncinin farklı gerilimlerdeki yüzey sıcaklıkları ve zaman ilişkisi.....	125
Tablo A.4	R169 direncinin farklı gerilimlerdeki yüzey sıcaklıkları ve zaman ilişkisi (devamı)	126
Tablo C.1	R1-R28 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	135
Tablo C.2	R29-R64 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	136
Tablo C.3	R65-R100 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	137
Tablo C.4	R101-R136 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	138
Tablo C.5	R137-R172 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	139
Tablo C.6	R173-R194 numaralı dirençlerin farklı sıcaklıklardaki direnç değerleri ve 23 °C-33 °C aralığındaki sıcaklık katsayıları.....	140

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	: Yatay düzende 250 mm çaplı küresel elektrotlar..... 3
Şekil 1.2	: Seri dirençle yüksek doğru gerilim ölçme 5
Şekil 1.3	: Dirençsel gerilim bölücü devre şeması..... 5
Şekil 1.4	: 400 kV' luk dirençsel yüksek doğru gerilim bölücüsü..... 6
Şekil 1.5	: Generatör ilkeli gerilim ve alan ölçme cihazının basitleştirilmiş yapısı..... 7
Şekil 1.6	: Park tipi gerilim bölücüsü..... 10
Şekil 2.1	: Yedi temel SI birimleri..... 16
Şekil 2.2	: İzlenebilirlik zinciri..... 20
Şekil 2.3	: Uluslararası karşılaştırma tipleri..... 22
Şekil 2.4	: Dikdörtgen dağılım..... 26
Şekil 2.5	: Üçgen dağılım..... 27
Şekil 2.6	: Josephson gerilim standardı..... 30
Şekil 3.1	: Gerilim bölücüde kullanılan dirençler ve iç yapıları..... 38
Şekil 3.2	: Ölçülen yüzey sıcaklık noktaları ve deney devresi..... 39
Şekil 3.3	: R97 direncinin farklı gerilimlerdeki ortalama yüzey sıcaklığı..... 41
Şekil 3.4	: R169 direncinin farklı gerilimlerdeki ortalama yüzey sıcaklığı..... 41
Şekil 3.5	: Bakır blok..... 42
Şekil 3.6	: Dirençlerin sıcaklık katsayılarının belirlendiği düzenek..... 43
Şekil 3.7	: Ölçümü yapılacak bir direnç ve ekranlama kutusu..... 44
Şekil 3.8	: Wheatstone köprüsü..... 45
Şekil 3.9	: Wheatstone köprüsünde kullanılan cihazlar..... 46
Şekil 3.10	: Standart direnç ve gerilim katsayısı belirlenecek direncin konulduğu ekranlı özel kutunun sıcaklık kabini içerisindeki görüntüsü..... 47
Şekil 3.11	: R145 direncinin gerilim-direnç değişimi..... 49
Şekil 3.12	: Dirençlerin sıcaklık katsayıları ve sayıları..... 51
Şekil 3.13	: Alçak gerilim kolundaki 100 k Ω direncin yapısı..... 54
Şekil 3.14	: 100 k Ω 'luk dirençlerin sıcaklıkla değişimleri..... 55
Şekil 3.15	: Direnç montajı ve pleksiglas taşıyıcılar..... 56
Şekil 3.16	: Dirençlerin birbirleri ile bağlantısı..... 58
Şekil 3.17	: Bölücünün yerleştirildiği Derlin malzemesinden yapılmış kaide..... 59
Şekil 4.1	: Küresel elektrot sisteminde alan dağılımı..... 62
Şekil 4.2	: Bölücü boyunca alan dağılımı..... 63
Şekil 4.3	: Gerilim bölücünün elektrotları..... 66

Şekil 4.4	: Basit bir gerilim bölücü eşdeğer devresi.....	68
Şekil 4.5	: Ekranlı direncin basit gösterilimi.....	69
Şekil 4.6	: Yüksek gerilim bölücüsünün ya da direncinin ekranlanması için uygun yöntemler (a) Kademeli elektrot sistemi (b) Tek elektrot sistemi.....	74
Şekil 4.7	: Birinci elektrot sisteminin sonlu elemanlar yöntemi modeli..	75
Şekil 4.8	: İkinci elektrot sisteminin sonlu elemanlar yöntemi modeli...	76
Şekil 4.9	: Üçüncü elektrot sisteminin sonlu elemanlar yöntemi modeli.	77
Şekil 4.10	: Birinci elektrot sisteminin alan dağılımı.....	77
Şekil 4.11	: İkinci elektrot sisteminin alan dağılımı.....	78
Şekil 4.12	: Üçüncü elektrot sisteminin alan dağılımı.....	78
Şekil 4.13	: Üçüncü elektrot sisteminin potansiyel dağılımı.....	79
Şekil 5.1	: Doğrusallık deney düzeneği.....	81
Şekil 5.2	: Çevirme oranının zamanla değişimi.....	82
Şekil 5.3	: Isıl kamera ve gerilim bölücü.....	85
Şekil 5.4	: Gerilim bölücünün 240. (a) ve 360. (b) dakikalardaki sıcaklık dağılımı.....	87
Şekil 5.5	: Kısmi boşalma ölçme düzeneği.....	92
Şekil 5.6	: Anma gerilimindeki kısmi boşalmalar.....	93
Şekil 5.7	: Korona deney düzeneği.....	94
Şekil 5.8	: Ölçme sistemlerinin birim basamak yanıtları a)RC davranışı b) RLC davranışı.....	97
Şekil 5.9	: Dirençsel gerilim bölücünün a) Devre şeması b) Toprak kaçak kapasiteli eşdeğer devresi.....	99
Şekil 5.10	: Birim basamak yanıtı deneyinde kullanılan darbe kalibratörü ve kaydedicisi.....	101
Şekil 5.11	: Bölücünün birim basamak yanıt eğrisi	101
Şekil 6.1	: Gerilim bölücüsünün üst, orta ve alt bölgelerindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi.....	107
Şekil B.1	: R169 direncinin anma gerilimdeki yüzey sıcaklığı.....	127
Şekil B.2	: R169 direncinin anma geriliminin %75'indeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	128
Şekil B.3	: R169 direncinin anma geriliminin %50'sindeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	129
Şekil B.4	: R169 direncinin anma geriliminin %25'indeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	130
Şekil B.5	: R97 direncinin anma gerilimdeki yüzey sıcaklığı.....	131
Şekil B.6	: R97 direncinin anma geriliminin %75'indeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	132
Şekil B.7	: R97 direncinin anma geriliminin %50'sindeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	133
Şekil B.8	: R097 direncinin anma geriliminin %25'indeki gerilimde yüzey sıcaklığı.....	134
Şekil D.1	: R1 ve R2 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	141
Şekil D.2	: R3, R4 ve R5 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	142
Şekil D.3	: R6, R7 ve R8 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	143
Şekil D.4	: R9, R10 ve R11 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	144
Şekil D.5	: R12, R13 ve R14 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	145

Şekil D.6	: R15, R16 ve R17 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	146
Şekil D.7	: R18, R19 ve R20 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	147
Şekil D.8	: R21, R22 ve R23 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	148
Şekil D.9	: R24, R25 ve R26 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	149
Şekil D.10	: R27, R28 ve R29 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	150
Şekil D.11	: R30, R31 ve R32 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	151
Şekil D.12	: R33, R34 ve R35 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	152
Şekil D.13	: R36, R37 ve R38 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	153
Şekil D.14	: R39, R40 ve R41 dirençlerinin değişimleri.....	154
Şekil D.15	: R42, R43 ve R44 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	155
Şekil D.16	: R45, R46 ve R47 dirençlerinin değişimleri.....	156
Şekil D.17	: R48, R49 ve R50 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	157
Şekil D.18	: R51, R52 ve R53 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	158
Şekil D.19	: R54, R55 ve R56 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	159
Şekil D.20	: R57, R58 ve R59 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	160
Şekil D.21	: R60, R61 ve R62 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	161
Şekil D.22	: R63, R64 ve R65 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	162
Şekil D.23	: R66, R67 ve R68 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	163
Şekil D.24	: R69, R70 ve R71 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	164
Şekil D.25	: R72, R73 ve R74 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	165
Şekil D.26	: R75, R76 ve R77 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	166
Şekil D.27	: R78, R79 ve R80 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	167
Şekil D.28	: R81, R82 ve R83 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	168
Şekil D.29	: R84, R85 ve R86 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	169
Şekil D.30	: R87, R88 ve R89 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	170
Şekil D.31	: R90, R91 ve R92 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	171
Şekil D.32	: R93, R94 ve R95 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	172
Şekil D.33	: R96, R97 ve R98 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	173
Şekil D.34	: R99, R100 ve R101 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	174
Şekil D.35	: R102, R103 ve R104 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	175
Şekil D.36	: R105, R106 ve R107 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	176
Şekil D.37	: R108, R109 ve R110 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	177
Şekil D.38	: R111, R112 ve R113 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	178
Şekil D.39	: R114, R115 ve R116 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	179
Şekil D.40	: R117, R118 ve R119 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	180
Şekil D.41	: R120, R121 ve R122 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	181
Şekil D.42	: R123, R124 ve R125 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	182
Şekil D.43	: R126, R127 ve R128 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	183
Şekil D.44	: R129, R130 ve R131 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	184
Şekil D.45	: R132, R133 ve R134 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	185
Şekil D.46	: R135, R136 ve R137 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	186
Şekil D.47	: R138, R139 ve R140 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	187
Şekil D.48	: R141, R142 ve R143 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	188
Şekil D.49	: R144, R145 ve R146 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	189
Şekil D.50	: R147, R148 ve R149 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	190
Şekil D.51	: R150, R151 ve R152 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	191
Şekil D.52	: R153, R154 ve R155 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	192
Şekil D.53	: R156, R157 ve R158 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	193

Şekil D.54	: R159, R160 ve R161 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	194
Şekil D.55	: R162, R163 ve R164 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	195
Şekil D.56	: R165, R166 ve R167 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	196
Şekil D.57	: R168, R169 ve R170 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	197
Şekil D.58	: R171, R172 ve R173 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	198
Şekil D.59	: R174, R175 ve R176 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	199
Şekil D.60	: R177, R178 ve R179 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	200
Şekil D.61	: R180, R181 ve R182 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	201
Şekil D.62	: R183, R184 ve R185 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	202
Şekil D.63	: R186, R187 ve R188 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	203
Şekil D.64	: R189, R190 ve R191 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	204
Şekil D.65	: R192, R193 ve R194 dirençlerinin sıcaklıkla değişimleri.....	205
Şekil E.1	: İki boyutlu bölge.....	206
Şekil E.2	: Silindirselsel koordinat sistemi.....	208
Şekil E.3	: Radyal-eksenel koordinatlarda bir üçgen eleman.....	209
Şekil E.4	: Radyal-eksenel koordinatlarda bir üçgen kesitli halka eleman.....	211
Şekil F.1	: UME yüksek gerilim bölücüsü.....	216
Şekil F.2	: Başlangıçtaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	216
Şekil F.3	: Deneyin 15. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	217
Şekil F.4	: Deneyin 30. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	217
Şekil F.5	: Deneyin 45. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	217
Şekil F.6	: Deneyin 60. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	218
Şekil F.7	: Deneyin 75. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	218
Şekil F.8	: Deneyin 90. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	218
Şekil F.9	: Deneyin 105. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	219
Şekil F.10	: Deneyin 120. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	219
Şekil F.11	: Deneyin 135. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	219
Şekil F.12	: Deneyin 150. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	220
Şekil F.13	: Deneyin 165. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	220
Şekil F.14	: Deneyin 180. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	220
Şekil F.15	: Deneyin 195. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	221
Şekil F.16	: Deneyin 210. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	221
Şekil F.17	: Deneyin 225. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	221
Şekil F.18	: Deneyin 240. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	222
Şekil F.19	: Deneyin 255. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	222
Şekil F.20	: Deneyin 270. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	222
Şekil F.21	: Deneyin 285. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	223
Şekil F.22	: Deneyin 300. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	223
Şekil F.23	: Deneyin 315. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	223
Şekil F.24	: Deneyin 330. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	224
Şekil F.25	: Deneyin 345. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	224
Şekil F.26	: Deneyin 360. dakikasındaki sıcaklık dağılım görüntüsü.....	224

SEMBOL LİSTESİ

δ_1	: Bağlı hava yoğunluğu
δ_2	: Nem düzeltme katsayısı
δ_t	: Ortam düzeltme katsayısı
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
$u_{\delta TN}$: Referans sistemin ZP için verilen sertifika belirsizliği
$u_{\delta Tnemi}$: Referans sistemdeki ZP için EMI etkinin neden olduğu belirsizlik bileşeni
$u_{\delta TX\text{öz}}$: Kalibre edilen sisteme ait ZP için çözünürlük belirsizlik bileşeni
$u_{\delta TXe}$: Kalibre edilen sistemin ZP için nominal sapmasından gelen belirsizlik bileşeni
$u_{\delta TXemi}$: Kalibre edilen sistemdeki ZP için EMI etkinin neden olduğu belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UN}$: Referans sistemin genlik sertifika belirsizliği
$u_{\delta UNemi}$: Referans sistemdeki EMI etkisinin neden olduğu belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UNfre}$: Referans sistemin frekans etkisinin neden olduğu belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UX\text{öz}}$: Kalibre edilen sisteme ait ölçüm cihazının çözünürlük belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXkar}$: Kalibre edilen sistemin kısa dönem kararlılığı belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXkay}$: Kalibre edilen sisteme ait ölçüm cihazının kayması belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXkut}$: Kutbiyet etkisi belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXlin}$: Kalibre edilen sistemin doğrusalılık belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXsıc}$: Kalibre edilen sistemin sıcaklık etkisinin neden olduğu belirsizlik bileşeni
$u_{\delta UXyak}$: Yakınlık etkisi belirsizlik bileşeni
b	: Basınç
C_e'	: Bölücüdeki her potansiyel noktasından toprağa olan kaçak kapasite
C_h'	: Bölücüdeki her potansiyel noktasından YG elektroduna olan kaçak kapasite
C_p'	: Bölücüdeki her bir dirence paralel kaçak kapasite
E	: Elektrik alan şiddeti
E_r	: Radyal elektrik alan şiddeti bileşeni
E_z	: Eksenel elektrik alan şiddeti bileşeni
k	: Güvenilirlik düzeyi
K	: Çevirme oranı
T	: Sıcaklık
T_{neg}	: Negatif sıcaklık katsayısı
T_{poz}	: Pozitif sıcaklık katsayısı
u	: Bileşik belirsizlik
U	: Genişletilmiş belirsizlik
u_A	: A tipi belirsizlik bileşeni
u_B	: B tipi belirsizlik bileşeni
U_k	: Korona gerilimi
U_o	: Çarpma ile iyonizasyonun başladığı gerilim