

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ ELEKTRONİĞİ SİSTEMLERİNDE
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUĞUN
İNCELENMESİ**

Elektrik Müh. İhsan Dora ÜNER

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. A. Faruk BAKAN

İSTANBUL, 2008

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

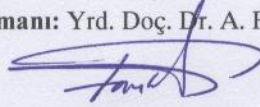
**GÜÇ ELEKTRONİĞİ SİSTEMLERİNDE
ELEKTROMANYETİK UYUMLULUĞUN
İNCELENMESİ**

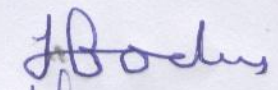

Elektrik Müh. İhsan Dora ÜNER

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Makinaları ve Güç Elektroniği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. A. Faruk BAKAN



Prof. Dr. Hacı BODUR 
Y. Doç. Dr. Hamid TORPİ 

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. Elektromanyetik Dalgalar	2
2.1 Farklı Ortamlarda Elektromanyetik Dalga	3
2.2 Elektromanyetik Girişim Kaynakları.....	5
2.2.1 Doğal Kaynaklar	6
2.2.2 Yapay Kaynaklar	6
3. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK VE DÜZENLEMELERİ	10
3.1 Elektromanyetik Uyumluluk Problemlerinin Oluşumu ve Örnekler.....	11
3.2 Elektromanyetik Uyumluluk Düzenlemeleri.....	14
3.2.1 Elektromanyetik Uyumluluk ve Avrupa Birliği	15
3.2.2 Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi.....	16
3.2.3 Avrupa Normları ve Standart Oluşturma Kuruluşları	22
3.2.4 CE ve Türkiye.....	27
3.2.5 Diğer Uluslararası Kuruluşlar.....	29
4. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİ	30
4.1 Elektrostatik Boşalma Bağışıklık Testleri	30
4.2 Ani Yükselmelere Karşı Bağışıklık Testi (Surge).....	36
4.3 Işıyan, Radyo Frekans, Elektromanyetik Alan Bağışıklık Testi	42
4.4 RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletilen Bozulmalara Karşı Bağışıklık Testi.....	48
4.5 Gerilim Çukurları, Kısa Kesintiler ve Gerilim Değişmelerine Karşı Bağışıklık.....	54
4.6 Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma	56
4.7 Harmonikler	60
4.7.1 Harmonikleri Oluşturan Donanım Tipleri	62
4.7.2 Harmoniklerin Yol Açtığı Problemler.....	69
4.7.3 Elektromanyetik Uyumluluk İçin Harmonikler.....	79

5.	GÜÇ ELEKTRONİĞİNDE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM İÇİN ALINAN ÖNLEMLER	82
5.1	Ekranlama	82
5.2	İletim Yoluyla Elektromanyetik Girişimi Azaltma	93
5.2.1	Devre Elemanlarının İdeal Olmayan Davranışları	95
5.2.2	Filtre Tasarımı	98
5.2.3	Filtre Elemanlarının Değerlerinin Bulunması	101
5.2.4	Sayısal Örnekler	107
5.2.5	PCB Tasarımından Kaynaklanan Problemler	120
6.	SONUÇLAR.....	128
	KAYNAKLAR.....	129
	ÖZGEÇMİŞ.....	131

SİMGE LİSTESİ

I_{tepe}	Akımın tepe değeri
d	Bariyer kalınlığı
Z_b	Bariyer empedansı
W	Çap
λ	Dalga boyu
R_s	Darbe süresi ayarlama direnci
N	Delik sayısı
L_d	Diferansiyel mod filtre için endüktans
C_{DM}	Diferansiyel mod kondansatör
$I_{S,DM}$	Diferansiyel mod gürültü akımı
$f_{R,DM}$	Diferansiyel mod zayıflatma frekansı
E	Elektrik alan
ρ	Elektrik yükü
S	Elektromanyetik dalgada enerji akış hızı
C_c	Enerji depolama kondansatörü
R_m	Empedans eşleme direnci
δ	Etkilenen yüzey derinliği
C_y	Fazlar arası kondansatör
f	Frekans
V	Gerilim
d_{max}	Gerilimdeki maksimum değişme
v	Hız
c	Işık hızı
R	Işıma kaynağına uzaklık
P_t	İletilen güç
σ	İletkenlik
φ_k	k. frekanstaki gerilim kırpışma faz açısı
A_k	k. frekanstaki gerilimin kırpışma genliği
d_c	Kararlı haldeki gerilim değişimi
Z_T	Levha empedansı
e	Levhalar arasındaki potansiyel fark
B,H	Manyetik alan
μ_o	Manyetik geçirgenlik
L_c	Ortak mod filtre için endüktans
$I_{S,CM}$	Ortak mod gürültü akımı
$f_{R,CM}$	Ortak mod zayıflatma frekansı
n	Ortamın kırılma indisi
T	Periyot
P_R	R mesafesindeki alan kuvveti
ϵ_o	Serbest uzay dielektrik katsayısı
R_c	Şarj direnci
φ_o	Temel bileşen gerilim faz açısı
A_o	Temel bileşen gerilim genliği
L_{DM}	Toplam diferansiyel mod endüktans
L_{CM}	Toplam ortak mod endüktans
∇	Türev operatörü
J_S	Yüzey akım yoğunluğu

U	Yüksek gerilim kaynağı
L_r	Yükselme zamanı şekillendirme endüktansı
t	Zaman
Q	Zıt elektrik yükü

KISALTMA LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABS	: Anti Blokaj Fren Sistemi
AC/AA	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
AWG	: Amerikan Tel Skalası (American Wire Gauge)
BS	: İngiliz Standartları
CDN	: Birleştirme-Ayırma Ağı
CE	: Avrupa Uyumluluğu (Conformity of Europe)
CECC	: GENEL Komponentler Komitesi
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi (The European Committee For Standardization)
CENELEC	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (The European Committee For Electrotechnical Standardization)
CFL	: Kompakt Flüoresan Lamba
CISPR	: Avrupa Radyo Girişimleri Komitesi (Comité International Speciale Des Perturbations Radioelectriques)
CRT	: Katot Işınlı Tüp
DC/DA	: Doğru Akım
DIN	: Alman Standardizasyon Enstitüsü
EEC	: Avrupa Ekonomik Topluluğu
EFTA	: Avrupa Serbest Ticaret Topluluğu
ELSECOM	: Avrupa Elektronik Sektörel Komitesi
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMD	: Nükleer Patlamalara Bağlı Olan Elektromanyetik Darbeler (NEMD)
EMI	: Elektromanyetik Girişim
EN	: Avrupa Normu (European Norm)
ENV	: Avrupa Ön Standardı
EOTC	: Test ve Belgelendirmede Avrupa Teşkilatı
ESD	: Elektrostatik Boşalma
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Kurumu (The European Telecommunication Standards Institution)
FCC	: ABD Federal İletişim Komisyonu
FM	: Frekans Modülasyonu
GB	: Gümrük Birliği
GENELEC	: Avrupa Elektronik Standardizasyon Komitesi
HD	: Harmonize Standartlar
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Standartlar Teşkilatı (International Electronic Commission)
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
IT	: Bilgi Teknolojileri
KTD	: Karşılıklı Tanınma Düzenlemeleri
LVD	: Alçak Gerilim Direktifi
MCB	: Minyatür Devre Kesicileri (Miniature Circuit Breakers)
NAD	: Yeni Yaklaşım Direktifleri (New Approach Directives)
NE	: Norveç Standartları Enstitüsü
OG	: Orta Gerilim
PCC	: Ortak Birleşme Noktası (Point of Common Coupling)
PCB	: Baskı Devre Plakası

PFC	: Güç Faktörü Düzeltme
PrEN	: Taslak Avrupa Standardı
RCCB	: Artık Mıknatısiyet Akım Devre Kesicileri (Residual Current Circuit Breakers)
RF	: Radyo Frekans
RMS	: Efektif Değer
SC	: Alt Komite (Sub-Committe)
SE	: Ekranlama Etkinliği
SMPS	: Anahtarlama Güç Kaynakları (Switched Mode Power Supplies)
TC	: Teknik Komite
THD	: Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion)
TK	: Teknik Kurul
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TSK	: Teknik Sektör Kurulları
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektrik alan dikey polarizasyonu ve manyetik alan yatay polarizasyonu.....	2
Şekil 2.2 Bir dalğanın n_1 ortamından n_2 ortamına geçişinde oluşan yansıma	4
Şekil 2.3 Elektromanyetik girişimi oluşturan faktörler	5
Şekil 3.1 EMC problemi unsurları.....	12
Şekil 3.2 Orta ölçekli bir EMC sistemi	14
Şekil 3.3 CE işareti ölçüleri.....	19
Şekil 4.1 Elektrostatik boşalmadan etkilenen cihaz sembolü.....	30
Şekil 4.2 İnsanda biriken statik yük boşalması	32
Şekil 4.3 Tipik bir ESD boşalması ve frekans spektrumu.....	32
Şekil 4.4 Tipik bir ESD test ortamı	33
Şekil 4.5 ESD üreticinin akım dalga şekli	34
Şekil 4.6 Elektrostatik boşalmalara karşı bağışıklık test rapor örneği [22].....	35
Şekil 4.7 Örnek ESD testi.....	36
Şekil 4.8 Basitleştirilmiş test devre şeması	37
Şekil 4.9 Açık devre gerilim dalga şekli (1,2/50 μ s).....	38
Şekil 4.10 Kısa devre akım dalga şekli (8/20 μ s).....	39
Şekil 4.11 Örnek ani yükselmelere karşı bağışıklık test raporu	40
Şekil 4.12 Örnek ani yükselmelere karşı bağışıklık test raporu [22]	41
Şekil 4.13 Ani yükselmelere karşı bağışıklık test düzeneği.....	42
Şekil 4.14 Yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklık testi için üretilen test sinyali....	44
Şekil 4.15 Yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklık test düzeneği.....	44
Şekil 4.16 Işıyan, radyo frekans, elektromanyetik alan bağışıklık test raporu.....	46
Şekil 4.17 Işıyan, radyo frekans, elektromanyetik alan bağışıklık test raporu [22]	47
Şekil 4.18 Örnek test düzeneği.....	48
Şekil 4.19 RF alanlar tarafından endüklenen iletim bozulmalarına karşı bağışık test düzeneği.	49
Şekil 4.20 Örnek akım enjekte ve akım izleme probu.....	49
Şekil 4.21 CDN test ekipmanı	50
Şekil 4.22 CDN ekipmanı devre şeması.....	51
Şekil 4.23 EM-Pensesi.....	52
Şekil 4.24 Akım enjekte probu.....	52
Şekil 4.25 RF alanlar ile indüklenen, iletilen bozulmalara karşı bağışıklık test raporu [22] ...	54
Şekil 4.26 Beyan gerilimi ve %70 oranındaki beyan gerilimi.....	55
Şekil 4.27 Gerilim çukurları, kısa kesinti ve gerilim değişimlerine karşı test düzeneği	55
Şekil 4.28 Sinusoidal modülasyonlu kırpışma örneği	57
Şekil 4.29 Dört terime kadar fourier serisine açılmış dikdörtgen zarflı gerilim kırpışma modeli58	
Şekil 4.30 Ara harmonik modülasyonlu kırpışma örneği.....	59
Şekil 4.31 Kırpışma deneyi grafiği.....	60
Şekil 4.32 Temel bileşen ile 3. ve 5. harmonikler	61
Şekil 4.33 Bozuk akım dalga şekilleri	61
Şekil 4.34 Tipik bir PC’de harmonik spektrumu	63
Şekil 4.35 Tipik bir CFL harmonik spektrumu.....	64
Şekil 4.36 Üç fazlı veya altı darbeleri köprü	64
Şekil 4.37 Tipik bir 6 darbeleri köprü harmonik spektrumu	65
Şekil 4.38 On iki darbeleri köprü	65
Şekil 4.39 Tipik bir on iki darbeleri köprü harmonik spektrumu	66
Şekil 4.40 Doğrusal bir yükte akım dalga şekli.....	67
Şekil 4.41 Doğrusal olmayan yükte akım dalga şekli	67

Şekil 4.42 Doğrusal olmayan yük eşdeğer devresi.....	68
Şekil 4.43 Nötr hattında birleşen üçlü N akımları.....	70
Şekil 4.44 Üçlü-N harmonikleri için kablo anma değeri yenilenmesi	71
Şekil 4.45 PFC kapasitörlü doğrusal olmayan yüke ait eşdeğer devre.....	72
Şekil 4.46 Doğrusal olmayan yükün neden olduğu gerilim bozulması.....	73
Şekil 4.47 Doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin ayrımı	74
Şekil 4.48 Pasif harmonik şönt filtre	76
Şekil 4.49 Pasif seri ve şönt filtreler.....	76
Şekil 4.50 Yıldız üçgen izolasyon transformatörü	77
Şekil 4.51 Aktif harmonik şartlandırıcı	78
Şekil 4.52 Doğrultucu çıkışındaki kondansatörün çektiği akım.....	79
Şekil 4.53 Sınıf A ve D için harmonik akımı değerleri	80
Şekil 4.54 Harmonik ölçüm diyagramı	80
Şekil 4.55 Harmonik ölçüm ünitesi	81
Şekil 4.56 Örnek test düzeneği [22]	81
Şekil 5.1 İletkenden bir sinyali iletimi.....	83
Şekil 5.2 Elektromanyetik alan oluşumu.....	83
Şekil 5.3 Ekranlamanın üzerinden akım geçmesi.....	85
Şekil 5.4 Ekranlama etkinliği tanımı	87
Şekil 5.5 Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi	87
Şekil 5.6 Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri	88
Şekil 5.7 Delik ve yarıkların tipik ekranlama etkinliği davranışları.....	91
Şekil 5.8 Havalandırma paneli ve ekranlama etkinliği.....	92
Şekil 5.9 İletim hattı tipleri ve ekranlama etkinliği performansları	93
Şekil 5.10 EMI gürültü çeşitleri	94
Şekil 5.11 Ortak mod filtre	94
Şekil 5.12 Temel LC filtreler.....	96
Şekil 5.13 Direnç elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri	97
Şekil 5.14 Kondansatör elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri.....	97
Şekil 5.15 Endüktans elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri	98
Şekil 5.16 R,L,C elemanlarının gerçek davranışları.....	98
Şekil 5.17 Genel bir EMI filtresi	99
Şekil 5.18 Ortak mod filtre	99
Şekil 5.19 Diferansiyel mod filtre	99
Şekil 5.20 EMI filtresi dizaynında uygulanması gereken akış diyagramı.....	100
Şekil 5.21 Örnek bir test düzeneği	101
Şekil 5.22 Ortak mod gürültünün modellenmesi.....	102
Şekil 5.23 Ortak mod EMI filtresi modeli.....	102
Şekil 5.24 Ortak mod filtre modeline karşılık gelen devre	102
Şekil 5.26'da ortak mod filtrenin düşürme oranı grafiği gösterilmiştir.....	102
Şekil 5.25 Ortak mod filtre modeline karşılık gelen devre (sadeleştirilmiş).....	103
Şekil 5.26 Ortak mod filtre gürültü düşürme oranı	103
Şekil 5.27 Diferansiyel mod gürültünün eşdeğer devresi.....	104
Şekil 5.28 Diferansiyel mod filtrenin eş değer devresi ve zayıflatma oranları (b) doğrultucu diyotları iletimde iken diferansiyel mod filtre eşdeğer devresi (a) doğrultucu diyotları kesimde iken diferansiyel mod filtre eşdeğer devresi	105
Şekil 5.29 Örnek bir geri dönüşlü (flyback) güç dönüştürücü şeması.....	107
Şekil 5.30 (a) 43 W geri dönüşlü anahtarlamalı güç kaynağı devre şeması (b) ortak mod gürültü taban çizgisi (c) diferansiyel mod gürültü taban çizgisi (d) toplam gürültünün taban çizgisi.....	108
Şekil 5.31 (a) Ortak mod zayıflatma oranı (b) diferansiyel mod zayıflatma oranı	109

Şekil 5.32 Filtre 2 devredeyken ölçülen (a) ortak mod gürültü (b) diferansiyel mod gürültü (c) ölçülen toplam gürültü. (d) diferansiyel mod gürültü.....	110
Şekil 5.33 Teorik olarak zayıflama ve gerçekteki zayıflamanın karşılaştırılması (a) ortak mod zayıflama (b) diferansiyel mod zayıflama	111
Şekil 5.34 (a) gerçek filtre performansını karşılaştırmak için daha küçük bir filtre (b) ölçülen ortak mod gürültü (c) ölçülen diferansiyel mod gürültü (d) ortak mod gürültü zayıflatma performansı (e) diferansiyel mod gürültü zayıflatma performansı	112
Şekil 5.35 (a) 100 W ileri yönlü anahtarlamalı güç kaynağı devre şeması (b) ortak mod gürültü (c) diferansiyel mod gürültü (d) toplam gürültü.....	113
Şekil 5.36 (a) Ortam mod zayıflatma oranı (b) diferansiyel mod zayıflatma oranı	114
Şekil 5.37 Filtre devredeyken (a) ölçülen ortak mod gürültü (b) ölçülen diferansiyel mod gürültü (c) ölçülen toplam gürültü	115
Şekil 5.38 Tam köprü dönüştürücü devre şeması.....	116
Şekil 5.39 Filtre olmadan ölçülen ortak mod gürültü.....	116
Şekil 5.40 Filtre olmadan ölçülen diferansiyel mod gürültü	117
Şekil 5.41 Filtre devredeyken ölçülen ortak mod gürültü	118
Şekil 5.42 Filtre devredeyken ölçülen diferansiyel mod gürültü.....	119
Şekil 5.43 Filtre devredeyken ölçülen toplam gürültü	119
Şekil 5.44 Çeşitli toroid nüveler	120
Şekil 5.45 PCB üzerinde RF enerjinin oluşumu.....	121
Şekil 5.46 Tek Katlı PCB için Kötü Yerleşim.....	124
Şekil 5.47 Simetrik yapıda katman aralıkları ve düzenlenmesi.....	126
Şekil 5.49 Asimetrik yapıda katman aralıkları ve düzenlenmesi	127

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Elektrik yüklenme değerleri	31
Çizelge 4.2 Darbe parametreleri	34
Çizelge 4.3 Kademelere göre açık devre test gerilimleri.....	37
Çizelge 4.4 Açık devre gerilim tepe değerine karşılık gelen kısa devre akımının tepe değeri	39
Çizelge 4.5 Elektromanyetik ortam kademesine göre test için uygulanacak alan şiddetleri....	43
Çizelge 4.6 Frekansa göre harmonik tanımları.....	58
Çizelge 5.1 Tipik ekranlama değerleri (E: EM alan, P: EM güç)	90
Çizelge 5.1 Devre elemanları, birimleri, semboller ve ideal AC modelleri (V=ZI).....	95
Çizelge 5.2 Katman sayılarına göre yapılandırma.....	123

ÖNSÖZ

Gelişen teknolojiye paralel olarak ürün güvenliği kavramı ülkemizde ve dünyada önem kazanmıştır. Bu tezde güç elektroniği uygulamaları için en kritik ürün güvenliği kavramı olan elektromanyetik uyumluluk, elektromanyetik uyumluluk standartları ve elektromanyetik bozulmalara karşı alınacak önlemler incelenmiştir.

Tez çalışması boyunca bana hedefler gösteren ve bilimsel kaynaklara erişmemi sağlayan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Faruk Bakan'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamda bana yardımcı olan çok değerli dostlarıma, anlayışları ile benden manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve son olarak da zamanımın büyük bir kısmını birlikte geçirdiğim, bana moral verip destek olan çalışma arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

GÜÇ ELEKTRONİĞİ SİSTEMLERİNDE ELEKTROMANYETİK UYUMLULUĞUN İNCELENMESİ

ÖZET

Teknolojik ürünlerde yaygın olarak kullanılan yüksek frekanslı devreler güç yoğunluğu açısından üstün olmalarına rağmen gerekli önlemler dikkate alınmaz ise ürün güvenliği ve ortam güvenliği açısından sorunlara neden olur. Bu önlemlerin başında elektromanyetik güvenlik gelmektedir.

Bu tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde elektromanyetik dalga ve kaynakları hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde elektromanyetik uyumluluk ve hangi kuruluşlar tarafından belirlendiği anlatılmıştır. Üçüncü bölümde elektromanyetik uyumluluk standartları ve bu konudaki testlerin nasıl yapıldığı incelenmiştir. Dördüncü ve son bölümde ise güç elektroniği devrelerinde karşılaşılan elektromanyetik girişim sorunları ve bunları önleme yöntemleri ele alınmıştır.

Güç elektroniği devrelerinin tasarımı sırasında elektromanyetik uyumluluk konusuna dikkat edilmesinin, üretim sırasında ve sonrasında oluşabilecek sorunların en aza indirgenmesi açısından son derece önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güç elektroniği, EMC, EMI, EMI filtresi

Temmuz, 2008

İhsan Dora ÜNER

ANALYSIS OF ELECKTROMAGNETIC COMPABILITY IN POWER ELECTRONIC SYSTEMS

ABSTRACT

The high frequency circuits widely used in technological products are excellent in terms of power density, but they produce product and environment safety problems if the necessary precautions are not taken. The most important precaution is Electromagnetic compatibility (EMC) issue.

This thesis is composed of four chapters. In the first chapter electromagnetic waves and sources of the electromagnetic waves are explained. In the second chapter electromagnetic compatibility and the authorities of electromagnetic compatibility are explained. In the third chapter electromagnetic compatibility tests and the key points are described. In the fourth chapter the most critical parts of EMC regulations and solving the EMC problems in power electronic circuits are given.

It is very important to take precautions of EMC regulations in the design stage of power electronic circuits to minimize the problems that could occur during the production and after the production stage.

Keywords: Power electronics, EMC, EMI, EMI filters

July, 2008

İhsan Dora ÜNER

1. GİRİŞ

Hayatımızda vazgeçilmez bir yeri olan elektrikli sistemlerin birbirleri olumsuz olarak etkilemeden ve performanslarını düşürmeden güvenli bir şekilde çalışması önemli bir konu haline gelmiştir. Bu konuda standart oluşturan kuruluşlar elektromanyetik uyumluluk (EMC) direktifi yayınlamış ve bir çok ülkede elektrikli sistemlerin elektromanyetik uyumluluk direktifine uygun çalışması zorunlu olmuştur (CE, FCC vb).

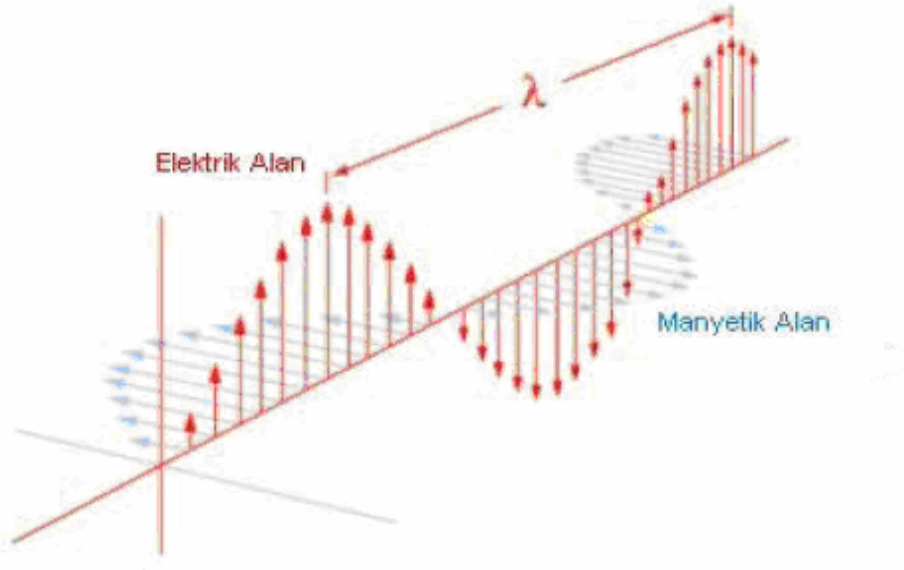
AB çerçevesinde başlatılan EMC düzenlemeleri, AB pazarına girecek elektrikle çalışan her ürün için EMC markası CE'yi taşıma zorunluluğu getirmiştir. Avrupa Birliği, müşteri beğenisine sunulacak ürünlerin; kullanıcı sağlığı, güvenliği ve çevrenin korunmasına uygun olmasını öngörmektedir. Tasarımı ve prototip üretimi yapılan elektrikli ürün Avrupa pazarında satışa sunulmadan gerekli EMC testlerinin yapıp üzerine CE işaretinin konulması gerekmektedir. Üretimden satışa kadar yapılan EMC ölçüm testleri ürünün ortak pazarda yer bulması açısından önemlidir.

Güç elektroniği sistemleri yüksek güç ve frekansta gerek iletim gerek ışıma olarak elektromanyetik uyumluluk açısından kritik sistemler olmuştur. Tasarım aşamasında gerekli önlemler alınmazsa, tasarlanan sistemlerin elektromanyetik olarak uyumlu olması maliyeti oldukça artıracak yöntemlerle sağlanabilmektedir.

Bu tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde elektromanyetik dalga ve elektromanyetik gürültü kaynakları incelenmiştir. İkinci bölümde elektromanyetik uyumluluğun gerekliliği, elektromanyetik uyumluluk direktifi ve ilgili standartları oluşturan kuruluşlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde güç elektroniği sistemlerine uygulanan elektromanyetik uyumluluk standartları ve gerekli test düzenekleri incelenmiştir. Dördüncü ve son bölümde güç elektroniği sistemlerinin elektromanyetik açıdan uyumlu olabilmeleri için ekranlama gereksinimleri, ekranlama yapıları, elektromanyetik uyumlu PCB tasarımı, elektromanyetik girişim (EMI) filtreleri için kullanılacak elemanların seçimi, EMI filtreli ve EMI filtresiz olarak ölçülen gürültü değerleri incelenmiştir.

2. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalgalar ivmelendirilmiş elektrik yükleri tarafından oluşturulur. Yayınlanan bu tür dalgalar birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik ve manyetik alanlardan ibarettir. Maxwell teorisi ile bir elektromanyetik dalga içindeki elektrik ve manyetik alanların \vec{E} ve \vec{B} genliklerinin birbirlerine E/B bağlı olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Elektrik alan dikey polarizasyonu ve manyetik alan yatay polarizasyonu

Maxwell denklemleri serbest uzayda,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Gauss Yasası}) \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Faraday Yasası}) \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{Amper Yasası}) \quad (2.4)$$

ile gösterilir. Bu denklemler \vec{E} ve \vec{B} 'ye göre birinci dereceden kısmi diferansiyel sistemi oluşturur. (1.3) ve (1.4) denklemlerinin rotasyoneli alınarak,

$$\nabla^2 \vec{E} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.5)$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (2.6)$$

elde edilir. \vec{E} ve \vec{B} ,

$$\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \quad (2.7)$$

denklemini sağlar ve bu denkleme klasik dalga denklemi denilir. Bu denklem v hızı ile ilerleyen bir dalganın hareketini gösterir. Dalga hızı,

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2.8)$$

olarak tanımlandığına göre, serbest uzayda dielektrik katsayısı $\varepsilon_0 = 8,85418 \times 10^{-12} C^2 / Nm^2$ ve manyetik geçirgenlik katsayısı $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Wb / Am$ olarak alınır,

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3,00 \times 10^8 m / sn = c \quad (2.9)$$

olarak bulunur.

2.1 Farklı Ortamlarda Elektromanyetik Dalga

Eğer elektromanyetik dalgaları herhangi bir ortamda ilerlerken düşünürsek ε_0 yerine ε , μ_0 yerine de μ alınarak ortamdaki dalga hızı,

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{n} \quad (2.10)$$

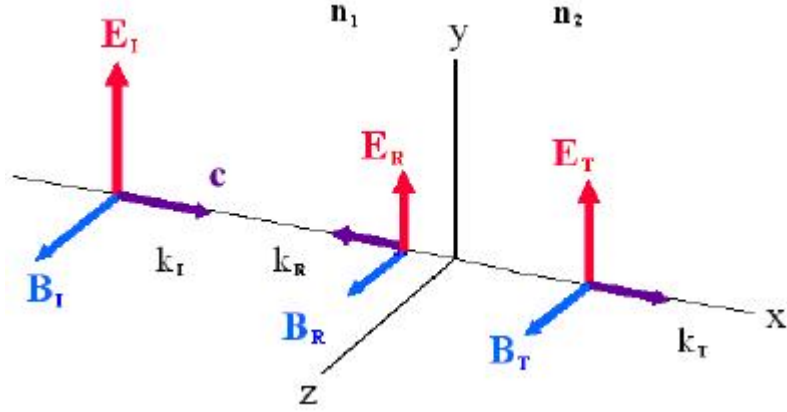
olarak tanımlanır. Buradaki n ortamın kırılma indisi olarak adlandırılır. Şekil 1.2'de bir dalganın n_1 ortamından n_2 ortamına geçişinde dalganın bir kısmının geçtiği ve diğer kısmının yansıdığı gösterilmiştir. Yansıma miktarı iki ortam arasındaki sınır koşullarına bağlıdır. Sınır koşulları aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_1 \vec{E}_{1\perp} = \varepsilon_2 \vec{E}_{2\perp} \quad (2.11)$$

$$\vec{B}_{1\perp} = \vec{B}_{2\perp} \quad (2.12)$$

$$\vec{E}_{\parallel} = \vec{E}_{2\parallel} \quad (2.13)$$

$$\frac{\vec{B}_{\parallel}}{\mu_1} = \frac{\vec{B}_{2\parallel}}{\mu_2} \quad (2.14)$$



Şekil 2.2 Bir dalganın n_1 ortamından n_2 ortamına geçişinde oluşan yansıma

Buna göre +x yönünde ilerleyen ω frekanslı bir dalganın polarizasyonu +y yönünde ise, gelen dalga,

$$E_I(x,t) = E_{0I} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{j} \quad (2.15)$$

$$B_I(x,t) = B_{0I} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{k} = \frac{E_{0I}}{v} e^{i(k_I x - \omega t)} \vec{k} \quad (2.16)$$

yansıyan dalga

$$E_R(x,t) = E_{0R} e^{i(k_R x - \omega t)} \vec{j} \quad (2.17)$$

$$B_R(x,t) = B_{0R} e^{i(k_R x - \omega t)} \vec{k} = -\frac{E_{0R}}{v} e^{i(k_R x - \omega t)} \vec{k} \quad (2.18)$$

ve geçen dalga

$$E_T(x,t) = E_{0T} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{j} \quad (2.19)$$

$$B_T(x,t) = B_{0T} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{k} = -\frac{E_{0T}}{v} e^{i(k_T x - \omega t)} \vec{k} \quad (2.20)$$

olarak tanımlanır.

Elektromanyetik dalgalar enerji taşır ve uzayda yayılırken yollarının üzerinde bulunan cisimlere enerji aktarır. Bir elektromanyetik dalgadaki enerji akış hızı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (2.21)$$

S vektörünün büyüklüğü akış yönüne dik olan birim yüzeyden enerjinin geçiş hızını ifade eder. S'nin yönü dalganın yayılma doğrultusundadır [1].

2.2 Elektromanyetik Girişim Kaynakları

Elektrik/elektronik sistemler, gürültülü ortamlarda bulunabilir ve elektromanyetik girişim yüzünden tehlikeli durumlar oluşabilir. Cihazın performansını ve/veya çalışmasını etkileyecek istenmeyen iletimle oluşan veya yayınımla meydana gelen sinyallere elektromanyetik girişim (EMI) denir. Gürültü kaynağı, iletim yolu ve alıcı cihaz olmak üzere EMI'yi oluşturan 3 faktör vardır. Şekil 2.3'te EMI'yi oluşturan faktörler gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Elektromanyetik girişimi oluşturan faktörler

Elektriksel gürültü ve girişim kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Gürültü kelimesi kaynağını belirleyebileceğimiz, istenmeyen sinyalleri tanımlar. Elektrik ve manyetik alanlarda zamana bağlı değişmeler oluşturabilecek herhangi bir sistem elektromanyetik girişim oluşturma potansiyeline de sahiptir.

2.2.1 Doğal Kaynaklar

Yıldırım

Yüklü bulutlarla yer arasında oluşan elektriksel deşarj olayı bazı durumlarda ciddi elektromanyetik girişimlere yol açabilir. Bu yüzden tasarımcıların, cihazların kullanılacağı bölgede şiddetli fırtına olma ihtimalini dikkate almaları gerekir. Yıldırım düşmesi sonucu binalarda oluşan fizikî zararlar için geliştirilmiş olan paratoner hattı, elektromanyetik problemleri nadiren engellemektedir. Yıldırımların doğurduğu elektromanyetik bozulmalar genel olarak üç çeşittir.

- Havai bir besleme hattında olduğu gibi, iletkenlere düşen bir yıldırım bütün sistemlerde ani bir yüklenmeye yol açar. Yıldırımın düştüğü noktaya yakın olan sistemlerin toprağa bağlı olması ve toprağın efektif empedansına göre 100-200 kV sınırını aşan gerilimlere maruz kalması nedeniyle korunmaları zordur. Ayrıca yıldırım düşmesi sonucu oluşan toprak akımları, toprak altındaki su, doğal gaz v.b. kanallarda gerilimlerin oluşmasına neden olur.
- Yüklü fırtına bulutlarından ötürü, yer seviyesinde daima 1-10kV/m mertebesinde bir elektrik alanı vardır, yıldırım düştüğünde bulutların boşalan bölgelerine göre, bu alan çöker ve çevredeki iletkenlerde geçici durumlar oluşur. Elektrik alanlarındaki bu değişiklikler, girişim oluşturmalarının ötesinde, oluşabilecek potansiyel tehlikeye sahip fırtınaların belirlenmesinde de kullanılır.
- Boşalma kanalları boyunca ani oluşan akım değişiklikleri oldukça geniş bantlı (50-100MHz) RF sinyalleri yayar. Bu ışımaya atmosferik gürültülerin temel kaynağı olduğu gibi, fırtınaların belirlenmesinde de önemli rol oynar. Yıldırımlar bu yüzden potansiyel anlamda tehlikeli bir geniş bantlı gürültü kaynağı olarak kabul edilmekte, telefon, güç sistemleri, uçaklar ve geniş yerleşim yerlerine dağılmış bilgisayar sistemlerinde (WAN) problemler doğurmaktadırlar.

Kozmik ve Güneş Kaynakları

Güneşteki ışımadan dolayı İyonosfer'de yansıma nedeniyle oluşan 2-30 MHz bandı içindeki deşişmeler radyo iletişimde, 150-500 MHz bantları içinde deşişmeler ise uydu haberleşmesinde problemler doğurmaktadır. Diğer kozmik kaynakların ışıması 100-1000 MHz bandında etkisi fazla olmayan RF sinyalleri üretir.

2.2.2 Yapay Kaynaklar

Elektrostatik Boşalmalar (ESD)

Birbirleriyle temas eden ve biri diğerine göre hareket halinde olan cisimler diğerine yük

yükleyecek şekilde elektron değiş tokuşu yaparak triboelektrik etkisi oluşturabilir. Bir katı üzerinde akan gaz gibi maddelerin oluşturduğu bu yüklemeler, bir kaç mJ'lük enerjileri olan önemli potansiyeller (10-25kV) oluşturabilir ve bu tür yüklerin boşalması, hızlı yükselen akım darbeleri oluşturur. Bu darbeler insanlara ve elektriksel cihazlara zarar verebilir. Aşağıda, ESD'nin son yıllarda meydana getirdiği başlıca problemler sıralanmıştır.

- Süper tankerlerde, tankların temizlenmesi sırasında oluşan patlamalar
- Yarı iletken malzemelerde oluşan hasarlar
- Uçakların yakıt ikmalleri sırasında yer alan patlamalar
- Araçların elektronik sistemlerindeki hasarlar

Cihazlarda elektromanyetik uyumluluğun incelenmesi için ESD testleri de yapılmaktadır. Doğada ESD darbelerinin büyüklükleri istatistiksel olarak bilindiğinden, tipik darbeler ve test akımları simüle edilebilmektedir.

EMD

EMD, nükleer patlamalara bağlı olan elektromanyetik darbedir. Gürültü kaynakları esas olarak askeri sistem tasarımcılarını ilgilendirse de nükleer programı olmayan ülkelerde bile ciddi sivil uygulamaları vardır. Nükleer malzemelerin her patlatılışında çok büyük elektromanyetik darbeler üretilir. Darbenin büyüklüğü ve etkilenen alan dış atmosferik patlamaların ilgi alanına girer. Örneğin 1962 Haziran'ında Pasifik'teki Johnson adasının 250 mil ötesinde patlatılan 1.4 Megatonluk bir bomba, Starfish adındaki bir deneyin sadece bir parçasıydı ve patlama 3500 mil uzaklıktan dahi algılanabildi. Atmosferin üzerinde bir patlama gerçekleştirildiği zaman, gamma ve X ışınları düz hatlar halinde, atmosferin yoğun hava akımlarının bulunduğu üst tabakalarına kadar yayılır. Bu ışınlar, iyonizasyon sebebiyle iki farklı yüksekliğe dizilir, ikincil elektronlar ise çok büyük radyo frekansında gürültü oluşturan ve ışık hızında akan akımları oluştururlar.

Bir noktada gözlenen elektromanyetik darbenin büyüklüğü, patlamada yayılan gamma ve X ışınlarının miktarına, patlamanın ısısına ve ışmanın atmosfere geliş açısına bağlıdır.

EMD kaynağının çapı, bir kaç yüz kilometre ve dünya yüzeyindeki elektrik alanlarının değeri ise 50000 V/m olabilir. Bu yoğun alanlar, etkileşimde oldukları iletkenlerde oldukça yüksek gerilim indükleyebilecekleri gibi, çok ciddi girişimler de oluşturabilir. Güç ve iletim ağları gibi sistemler, bu tür olaylar tarafından ciddi şekilde tehdit edilir. Yükselme zamanı yaklaşık

olarak 10 ns olan EMD darbesi kullanılarak yapılan testlerde, sistemlerin bu tür olaylara cevapları tayin edilir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da, gerekli enerjinin çok büyük olmasından ötürü, bu büyüklükte bir elektromanyetik alanın bütün araziye uygulanamayacağıdır. EMD kaynağının genişletilmesi patlamadan bir kaç yüz km ötedeki alanların, ısı veya patlama gibi hiçbir nükleer silah etkisiyle doğrudan temas etmemiş olsalar dahi, ciddi EMD etkisine maruz kalmaları sonucunu verir. Bu yüzden hem askeri, hem de sivil otoriteler planlarına EMD'leri dahil etmek zorunda kalırlar.

Elektrik ve Elektronik Alt Sistemler

Gürültü oluşturan elektrik ve elektronik sistemler aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Otomobil gürültü kaynakları: Ateşleme sistemi, alternatörler, elektrik motorları,
- 2) Güç dağıtım sistemleri: Güç hatları, AC ve DC alt istasyonlar, üretim santralleri,
- 3) Endüstriyel teçhizat: Kaynak makineleri, endüksiyon ısıtıcıları, devre kesicileri, mikrodalga ısıtıcılar, vinçler, darbe genişlik modülasyon inverterleri kullanan değişken hız sürücüler, lokal osilatörler, bilgisayarlar da dahil olmak üzere sayısal donanımlar.

Bir teçhizatın herhangi bir parçası ele alındığında, geçici gerilim ve akımın gerçek kaynağı üç gruba ayrılabilir.

- Sayısal sistemlerdeki yüksek frekans darbe katları
- Yüksek frekans osilatör devreleri
- Basit anahtarlama işlemleri sonucu oluşan geçici devre durumları

Ana Besleme Gerilimindeki Değişiklikler

Besleme gerilimindeki değişiklikler beslemenin kendisinden veya cihazın bağlı olduğu dağıtım sisteminden kaynaklanabilir ve iki alt gruba ayrılabilirler.

- 1) Düşük Frekanslı Değişiklikler: Güç kaynağının gerilimi, yük arttıkça beslemenin bunu minimuma indirecek şekilde dizayn edilmiş olmasına rağmen, sıfır olmayan kaynak empedansından ötürü düşer. Bu noktada bazı oynamalar engellenemez (İngiliz sisteminde $\pm\%6$ tolerans vardır). Herhangi bir fabrika içinde başka nedenler gerilim düşmeleri meydana getirebilir. Bu yüzden tasarımcının bir kaç saatlik sürede $\pm\%10$ 'luk dalgalanmalar olabileceğini göz önünde bulundurması gerekir. Eğer yük dalgalanmaları daha hızlı gerçekleşirse, gerilim dalgalanmalarının frekansı da artacaktır. Önemli bir arıza meydana geldiğinde düzeltici anahtarlama yapılmadan önce, ani bir gerilim artışı olur. Saf bir sinüs dalgasında, lineer olmayan yüklere bağlı olarak dalga formu distorsiyonları oluşabilir. Ev içi kullanımlarda $\%6$ harmonik distorsiyona izin verilir. 3 fazlı sistemlerde yükün değişmesi dengesizliğe bu da 3 fazlı motorların yol vermesinde problemlere yol açar.
- 2) Yüksek Frekans Değişimleri: Herhangi bir anahtarlama işlemi, güç dağıtım sistemlerinde hızlı geçici durumlara yol açar. Genliğin tepe değeri ve gözleme frekansı arasında kesin

bir ilişki verilemez.

Radyo Vericileri

Elektromanyetik spektrumun geniş bir bölümü iletişim için kullanılır. Temel işıma çevresi bütün legal ve illegal kullanıcıları içerir. Spektrumun tamamı kullanıcılar tarafından çok yoğun bir Şekilde doldurulmuş olduğundan, tahsis edilen frekansların dışına çıkmak çok ciddi problemler oluşturur.

Cihaz tasarımcıları, cihazların vericilere yakın konumda bulunduğunda yukarıdaki kaynaklardan doğan girişimlerin artacağını unutmamalıdır [2].

3. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK VE DÜZENLEMELERİ

Elektrik ve elektronik sistemlerin yaygınlaşması, sistemlerin birbirlerini etkilemeden çalışabilmeleri kavramının önemini arttırmıştır. Örneğin ABS fren sisteminin bulunduğu otobüslerde, uçak ya da hastane gibi birden fazla elektronik sistemin bulunduğu ortamlarda cep telefonlarının açık olmasının oluşturduğu tehlikeyi, yıldırım düştüğünde evdeki bazı elektronik cihazların çalışamaz duruma gelmesini ve cep telefonumuz çaldığında televizyonda oluşan parazitleri ancak etkileşim sorunu ile açıklayabiliriz. Tüm bu sistemlerin beraber ve güvenli çalışabilmeleri için uymaları gereken bir takım standartlar mevcuttur.

Elektromanyetik uyumluluk (EMC) bir alet, cihaz ya da sistemin ortamdaki diğer alet cihaz ya da sistemin verimli çalışmasını engelleyecek seviyede elektromanyetik gürültü oluşturmaması ve aynı şekilde ortamdaki diğer alet, cihaz ya da sistemin yaydığı gürültülere maruz kaldığında istenilen şekilde çalışmasına devam edebilmesi için uygun bağışıklığa sahip olmasıdır [3]. Bu bölümde bir sistemin bir ortamda herhangi başka bir sistemi veya kendisini etkilemeden doğru çalışma yeteneğinin gerekliliği ve bu duruma standartlar getiren kuruluşlar yer almaktadır.

Radyo ve telgraf haberleşmeciliğinin ilk zamanlarından beri boşlukta oluşan atlamaların elektromanyetik dalga yaydığı ve bu elektromanyetik dalganın sistemlerde bozulmalara yol açtığı bilinir. Röleler, DC motorlar, flüoresan lambalar gibi cihazlarda elektromanyetik dalgalar yaymaktadır. Dar bantta elektromanyetik gürültü yayan kaynaklar da vardır. Örnek olarak yüksek gerilim iletim hatları verilebilir. Yüksek gerilim hatları şebeke sisteminin frekansında elektromanyetik dalga yayar (50-60 Hz). Bir başka önemli elektromanyetik dalga kaynağı da lojik sistemlerdir. Lojik sistemler yüksek frekanslı çalışma karakteristiklerinden dolayı çok geniş bir bantta elektromanyetik gürültü yayar [4].

Elektromanyetik uyumluluğun önemi dünyada ikinci dünya savaşı sırasında ortaya çıkmıştır. 1950'li yıllara kadar henüz elektronik cihazlarda EMC'nin önemi tam olarak bilinmediğinden EMC kaynaklı kazalar bu yıllara kadar ABD'de 80'e yakın kişinin yaşamını yitirmesine sebep olmuştur.

EMC ilk zamanlarında üç kuruluş tarafından değerlendiriliyordu. Bunlar: ABD ordusu, CISPR (Avrupa Radyo Girişimleri Komitesi) ve FCC (ABD Federal İletişim Komisyonu).

EMC ilk olarak askeri çevrelerce dikkate alınmaya başlandı. Özellikle gemilerde, bir çok elektrik ve elektronik sistem harmoni içerisinde çalışması gerekmektedir. Bu sistemlerin

başlıcaları haberleşme, navigasyon ve bilgi işleme üniteleriydi. Ekipmanlar radyo frekansındaki güçlü dalgalara maruz kalmaktaydı. Bu dalgaların kaynakları iki yönlü haberleşme ekipmanları, radarlar ve mikrodenetleyici tabanlı ekipmanlardı. Böyle bir sistemde silahların ve hatta uçakların bulunduğu düşünüldüğü zaman elektromanyetik uyumluluğun gerekliliğinin önemi ortaya çıkmıştır.

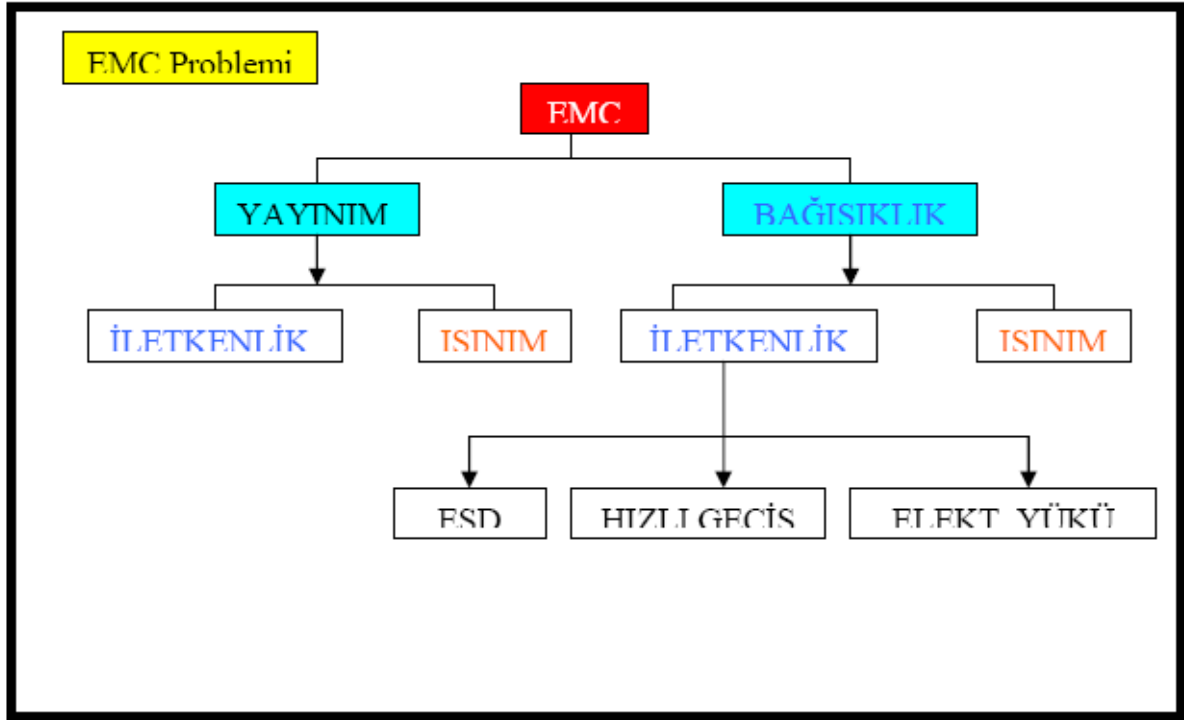
Sivil hayatta elektronik cihazların kullanımının artması EMC'nin günlük hayattaki önemini ortaya çıkardı. Evlerde ve ticari yerlerde onlarca mikrodenetleyici kontrollü ürün bir arada kullanılır (Bilgisayarlar, fırınlar, klimalar, video oynatıcıları vs.). Örnek olarak 100MHz'lik işletim hızındaki bir bilgisayar, FM radyo bandında çalışmaktadır. Üreticiler tarafından önlem alınmazsa radyo yayını üzerinde bozukluklar olur.

3.1 Elektromanyetik Uyumluluk Problemlerinin Oluşumu ve Örnekler

Her elektronik cihaz elektromanyetik girişim yayar. Bu yayılım ışıyım yoluyla ya da iletkenlik yoluyla (kablolar vasıtasıyla) olabilir. Birinci bölümde belirtildiği gibi ancak aşağıda sıralayacağımız üç faktörün aynı anda varlığı durumunda bir elektromanyetik girişim (EMI) ve dolayısıyla bir EMC problemi ortaya çıkar.

- Bir elektromanyetik girişim kaynağı
- Kaynak ile etkilenen arasında bir girişim yolu
- Kaynaktan yayılan girişimden etkilenen bir alıcı

Bir EMC probleminin temel unsurları Şekil 3.1'de gösterilmiştir:



Şekil 3.1 EMC problemi unsurları

Girişim kaynağının iki tür yayını söz konusudur: İletkenlik yolu yayını ve ışınım yolu yayını. Girişimden etkilenen cihaz için bağışıklık iki yollu olabilir: İletkenlik yolu girişime karşı bağışıklık ve ışınım yolu girişime karşı bağışıklık.

Bağışıklığın tersi duyarlılık da EMC tanımlarında yer almaktadır. Bir cihazın bağışıklığı ne kadar yüksek ise duyarlılığı o kadar düşüktür, ya da tersine bir cihaz ne kadar duyarlı ise o denli düşük bağışıklık seviyelerine sahiptir [5].

Düşen bir yıldırımın elektronik cihazları çalışamaz duruma getirmesi, evdeki ya da ofisteki bilgisayarın FM radyo dalga yayınlarını bozması, elektrik süpürgesinin TV'lerde karlanmaya neden olması, flüoresan lambalar yandığında bilgisayar ekranının kırışması, havaalanı radarlarının diz-üstü bilgisayardan etkilenmesi, cep telefonları ya da bilgisayarların araçların ABS fren sistemini kilitlemesi, klima her devreye girdiğinde video cihazının saatini sıfırlaması, radyo kulesi yakınında uçan bir helikopterin kontrolden çıkabilmesi, bilgisayar ana kartına eklemek istediğimiz yeni bir katın daha takarken yanması sık karşılaştığımız ve asıl sebebinin EMC problemi olduğunu bilmemiz gereken durumlardır.

Elektrik süpürgesinin TV'lerde karlanmaya neden olmasını ele alalım; Bu problemin sebebi doğru akım motorlarının fırçalarında oluşan arklardır. Fırçaların teması ve temassızlığı

sırasında motor sargılarındaki akım anlık kesintilere uğrar bu kesinti yüksek gerilim indüklenmesine sebep olur. Bu oluşan elektromanyetik gürültü hem antenin aldığı sinyali bozar hem de şebeke hattında bozulmalara yol açar.

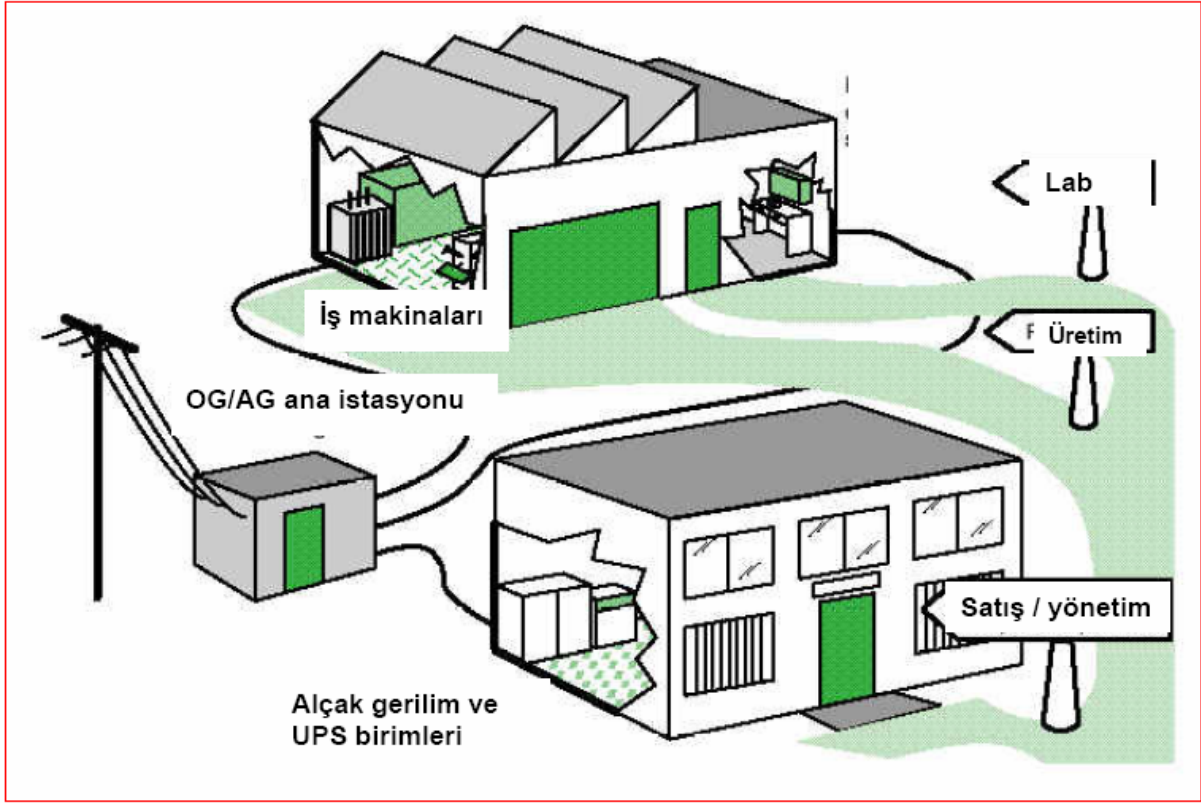
Otomotiv elektroniği yüksek frekanslı lojik devrelerden yapılmaktadır. Bu yüksek frekanslı devreler diğer elektronik sistemlerle etkileşim oluşturur. Bu yüzden otomobil içindeki elektronik devreler ve antenler itinalı seçilmiş konumlara yerleştirilir. Bu yüzden farklı otomobillerde aynı elektronik sistemin kullanımı mümkün değildir [6].

EMC problemleri ile baş etmenin en iyi yolu her aşamada tasarım ilkelerini gözden geçirmektir. Proje geliştirme, tasarım, üretim, test, kalite kontrol aşamalarının tümünde EMC çözüm teknikleri yer almalıdır. EMC kuralları belli bir üründe tasarım aşamasından pazarlama aşamasına kadar göz önünde tutulması gerekir [7].

EMC problemlerinin çözümünde mühendislik bilgisinden çok her problemde kazanılan deneyim etkili olmaktadır. EMC problemleri zor ancak karmaşık olmayan türdendir. Çoğu kez matematiksel çözümü bulunamaz ve ancak ölçü/test ya da sayısal modelleme ile ele alınabilir. EMC problemi ne kadar sona bırakılırsa çözümü o denli pahalılaşır ve hatta çözümü mümkün olmayan bir hale gelir.

İstenmeyen cihaz-cihaz etkileşimi diye de tanımlanabilen EMC problemleri birkaç milimetre boyutundaki bir çip ya da birkaç cm^2 'lik alanı kapsayan bir baskı devre için söz konusu olabileceği gibi yüzlerce metre kare alana yayılı büyük tümleşik bir sistem için de söz konusu olabilir.

Şekil 3.2'de tipik bir orta ölçekli EMC sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Orta ölçekli bir EMC sistemi

Bir orta gerilim (OG) hattından enerji alan bu işletmenin elektrik enerjisi bir alçak gerilim (AG) hattı ile (OG/AG ana istasyonu üzerinden) sağlanmakta. Bu istasyon yönetim binasına 220V'luk besleme sağlarken üretim ve laboratuvar alanlarına 340V'luk gerilim ulaştırmakta. Yönetim binasında mW mertebesinde güçlerle çalışan ve $\mu\text{V}/\text{metre}$ değerlerinde elektrik alanlarına duyarlı bilgisayar, faks makinesi, cep telefonu benzeri haberleşme cihazları kullanılırken, üretim alanında onlarca kW mertebesinde güçlerle çalışan makineler, motorlar söz konusu olabilmekte. Bu tip ortamlarda hassas cihazların korunması temel EMC problemlerindedir [8].

3.2 Elektromanyetik Uyumluluk Düzenlemeleri

Direktifler AB Konseyi tarafından yayınlanmış olan belgelerdir. Yeni Yaklaşım Direktifleri (New Approach Directives, NAD) adı verilen uygulama ile güvenlik, sağlık, çevre ve tüketici açısından bir ürünün sahip olması şart koşulan temel zorunlulukları belirlenmektedir. Sadece bu temel zorunluluğu taşıyan ürünler Avrupa Birliği pazarında serbest dolaşabilmektedir.

3.2.1 Elektromanyetik Uyumluluk ve Avrupa Birliği

AB Pazarı, ürünlerin, şahısların, hizmetlerin ve paranın bu pazar dahilinde hiç bir sınır olmaksızın serbest dolaşımının garanti altına alındığı pazar olarak tanımlanır. Bu fikri gerçekleştirebilmek için 1 Ocak 1993'te üye ülkeler arasındaki teknik sınırların da kaldırılması kararı alındı. Bu teknik sınırlar her ülkenin yalnızca kendi ulusal standartlarına uygun ürünlerin sınırları dahilinde pazarlanmasına müsaade etmesinden ötürü ortaya çıktı.

Örneğin bir üretici aynı ürününü Fransa ve İngiltere'ye satabilmek için hem Fransız hem de İngiliz Standartlarına göre gereken kurumlarda testleri yaptırarak onay almak durumundaydı. Üreticileri zorlayan ve AB Pazarı içinde ürünlerin serbest dolaşımını sınırlayan bu teknik sınırların kaldırılması amacı ile;

- 1) Ulusal yasaların birbirine yakınlaştırılması maksadı ile AB Komisyonu tarafından yayınlanan Teknik Uygunlaştırma Yönergelerinin üye ülkelerin yasalarına empoze edilmesi,
- 2) EN (European Norm) Standartları ile ulusal standartların uygunlaştırılması,
- 3) Ürünler için farklı üye ülkelerde gerçekleştirilen testlerin karşılaştırılabilmesini sağlayarak test raporları ve test sertifikalarının karşılıklı tanınma prosedürünü tesis etmek amacıyla AB içinde akreditasyon, test ve sertifikasyon sistemi oluşturulması kararları alınmıştır.

Bu kararlarla Avrupa Birliği Komisyonu tarafından yayınlanan teknik yönergeler her ülkenin yasama organı tarafından yasa olarak kabul edilir. Ardından AB Komisyonu'nun görevlendirdiği standardizasyon kurumu (ki bunlar uzmanlık alanlarına bağlı olarak CEN, CENELEC veya ETSI olabilir) bu yönergeye ilişkin standartları oluşturur. Standart onaylanıp EN Standardı biçimini aldıktan sonra ilgili yönerge EN harmonize standardı olarak tanımlanır. Üye ülkeler bu standardı resmen kabul edip resmi gazetelerinde ulusal standartları olarak ilan etmekle yükümlüdür. Böylelikle üye ülkeler arasındaki standart farklılıkları ortadan kaldırılır.

Üreticinin ilk yapması gereken, ürününün bu yönergelerden hangisi veya hangilerinin kapsamına girdiğini tespit etmektir. Ardından varsa bu yönerge veya yönergelere ilişkin EN harmonize standartlarında belirtilen tanımlamalara uygun tasarım yaparak bu tasarımı akredite laboratuarlarda test ettirmelidir. Henüz bir standart oluşturulmamış ise yönergede belirtilen genel prensipler ve gereklilikler çerçevesinde tasarım yapılır. (Burada dikkat edilmesi gereken

nokta test laboratuvarının ilgili yönerge testlerini yapmak için akredite olup olmadığıdır). Akredite laboratuardan gelecek olumlu test raporunun ardından üretici artık Uygunluk Bildirimi Belgesini (Declaration of Conformity) düzenleyebilir ve CE etiketini ürüne uygulayabilir. Bu belgede üretici, ürününün hangi yönergelere uygun olduğunu resmen bildirir.

AB yönergesi kapsamında konu ile ilgili pazar denetimi her ülkede bu iş için yetkili kılınmış ulusal kurumlar tarafından yapılır. Bu kurum ürünün yönergelerle getirilen zorunluluklara aykırılığını tespit ettiğinde ürünün pazara sürülmesini engellemek ve pazardaki ürünlerin toplatılmasını sağlamak için gerekli adımları atmakla yükümlüdür. Bu işlemde ötürü oluşan her türlü maddi kayıp üretici tarafından karşılanır.

Bu tedbirlerin dışında ülkeden ülkeye farklılık gösteren para ve hapis cezaları söz konusudur.

Kasıt olsun ya da olmasın:

- Bir ürünü, kapsamına girdiği yönergelere uygun olmamasına rağmen pazara süren,
- CE etiketi takılması gerektiği halde, bu etiketi takmadan pazara süren,
- Bir ürünü, CE Uygunluk Bildirimi Belgesi düzenlemeden pazara süren,
- Ticaret fuarlarında yönergelere uygun üretilmemiş ürünleri, ürünün üzerine herhangi bir not düşmeden sergileyen,
- CE etiketini yasal olmayan yollardan uygulayan,

kişi ve/veya kurumları para ve hapis cezalarına çarptırabilir [9].

3.2.2 Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi

Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun(EEC) yayınladığı 89/336/EEC sayılı Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi, elektrikli ve elektronik cihazlarla elektrikli ve elektronik bileşenlerden oluşan tesisatları kapsar.

Normal olarak kendilerinden beklenebilecek hiçbir bozucu etkisi olmaması veya bu aletlerin yerleştirildikleri elektromanyetik ortam tarafından yaratılacak bir bozucu etkiden zarar görme konusunda sorumlulukları bulunmaması nedenleriyle, elektrikle çalışan fakat bu direktifin kapsamına girmeyen cihaz örnekleri bulunmaktadır. Sadece elektrik ampulü ile kullanılan aydınlatma donanımları ve sincap kafesi motorlu cihazlar bunlara örnek verilebilir [10].

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) Direktifi işleyişi diğer cihazları bozabilecek veya diğer cihazlardan etkilenip bozulabilecek bütün elektrikli ve elektronik cihazlara uygulanacak temel zorunlulukları belirlemektedir. Cihazların tasarım amacı ve çalıştıkları olağan ortam göz önünde bulundurulmalıdır.

Temel gereksinimler, cihazın yarattığı en yüksek elektromanyetik bozucu etkilerin aşağıdaki cihazların kullanımını engelleyemeyeceğini belirler [3].

- Ulusal radyo ve televizyon alıcıları
- Sanayi üretim ekipmanı
- Mobil radyo donanımı
- Mobil radyo ve ticari telsiz telefon donanımı
- Tıbbi ve bilimsel aletler
- Bilgi teknolojisi donanımı
- Ev aletleri ve elektronik ev eşyaları
- Hava ve deniz radyo (telsiz) ekipmanları
- Elektronik eğitim araçları
- Telekomünikasyon ağları ve ekipmanları
- Radyo ve televizyon yayını vericileri
- Klasik lambalar ve flüoresan lambalar

İmalatçılar veya ithalatçıların piyasaya arz edecekleri cihazların temel korunma zorunluluklarına uygun olduğunu kanıtlamak için kullanabilecekleri çeşitli olanaklar bulunmaktadır.

Eğer harmonize edilmiş Avrupa Standartları veya ulusal standartlar ürünün tasarımı ve üretimi için kullanılıyorsa ve ürün bu standartlarda belirtilen testlerden geçmişse, iç üretim kontrolüne dayanan uygunluk değerlendirmesinden sonra düzenlenen bir uygunluk beyanı, direktife uygunluğunu kanıtlar. Ancak uygulamada bir firmanın gerekli testleri kendi laboratuvarlarında yapması genellikle mümkün olmadığından başka bir laboratuvara başvurulmalıdır.

CE İşareti

CE işaretinin tarihçesine bakıldığında uluslararası ticarete teknik engellerden kaynaklandığı görülür. Dünya Ticaret Örgütü uygulamaları, bölgesel entegrasyon hareketleri, serbest ticaret anlaşmaları , miktar kısıtlamaları ve tarifelerin ortadan kaldırılmasını hedeflemektedir. Miktar kısıtlamaları ve tarifeler yerini teknik engellere bıraktı. Teknik engeller ana başlıkları itibarı ile teknik düzenlemelerdeki engeller, standartlardaki engeller ve uygunluk değerlendirmedeki işlemlerin farklılıklardan oluşmaktadır. Bu teknik engelleri aşmanın yolu ise; uluslararası ortak kurallara uymak, teknik mevzuatı uyumlaştırmak ve uygunluk değerlendirme yöntemlerini uygulamaktır.

Teknik engellerin kaldırılmasına yönelik uyum süreci ise; Beyaz Kitap adı verilen ve 1985 yılında Avrupa Topluluğu Komisyonu tarafından yayınlanan ve içinde bazı yasa teklifleri ve bu yasaların yürürlüğe girişleri ile ilgili takvimi de içeren bir raporla başlamıştır. Teknik engellerin kaldırılmasına yönelik uyum çalışmalarının amacı, ulusal pazarlar arasındaki bütünleşmeyi önleyen ticari engellerin ortadan kaldırılması ve AB çerçevesinde bir ortak pazarın oluşturulmasıdır. Daha sonra benimsenen yeni yaklaşımda, ürünlerin tek tek standartlarının uyumlaştırılması yerine birbirine benzeyen ürünler aynı grupta toplanarak, tek bir direktif ile asgari güvenlik şartları sağlanmaya çalışılmıştır. Yeni yaklaşım kararı kapsamında yayımlanan direktiflerde; ürünün tanımı, taşıdığı riskler, sahip olması gereken asgari güvenlik koşulları, uygunluk değerlendirme prosedürleri, ayrıntılı bir şekilde belirlenmiştir. Yeni yaklaşım politikası doğrultusunda, tek bir birlik işaretinin yer alması fikrine gidilmesi sağlanmış ve CE işareti buradan doğmuştur. En kısa tanımıyla Avrupa'ya uygunluk anlamına gelen “CE” İngilizce “Conformity of Europe” sözcüklerinin baş harflerinden alınmıştır.

CE Uygunluk İşareti Avrupa Birliği sağlık, güvenlik ve çevre koruma yasalarıyla düzenlenen ürünlere uygulanmaktadır. CE Uygunluk İşareti yaklaşık 26 adet olan yeni yaklaşım direktifleri (teknik düzenlemeler) kapsamına giren ürünlere uygulanır. Avrupa pazarında ürünlerini pazarlamak isteyen üreticiler için CE Uygunluk İşareti zorunludur. Aksi takdirde bu pazarda ürünlerinin üretimi ve satışı imkansızdır [11].

CE Uygunluk İşareti, üzerine ilişitirildiği ürünün Avrupa Direktifleri ile düzenlenmiş mevzuata ve temel gereklere uygunluğunu ifade eder. Sağlık, güvenlik ve tüketicinin korunması, uyulması gereken temel gereksinimlerdir.

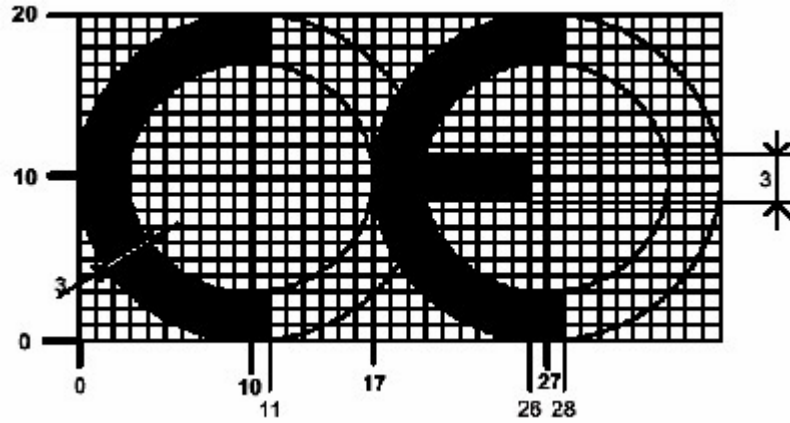
CE İşareti, Avrupa Birliği'nin, teknik mevzuat uyumu çerçevesinde yeni yaklaşım direktifleri

kapsamına giren ürünlerin bu direktiflere uygun olduğunu ve gerekli bütün uygunluk değerlendirme faaliyetlerinden geçtiğini gösteren bir uyum işaretidir. CE İşareti, ürünlerin, amacına uygun kullanılması halinde insan can ve mal güvenliği, bitki ve hayvan varlığı ile çevreye zarar vermeyeceğini, diğer bir ifadeyle ürünün güvenli bir ürün olduğunu gösteren bir işarettir.

CE işareti kalite ile ilgili değildir, tüketiciye bir kalite güvencesi sağlamaz, yalnızca ürünün, asgari güvenlik koşullarına sahip olduğunu gösterir. CE İşareti taşıyan bir ürün, AB üyesi ülkeler arasında rahatça serbest dolaşıma girmekte; böylece işaret bir nevi pasaport işlevi de görmektedir.

CE işareti ürünün AB teknik mevzuatına uygunluğunu belirten resmi bir işarettir.

Şekil 3.3'te CE işareti gösterilmiştir.



Şekil 3.3 CE işareti ölçüleri

CE işaretinin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1) CE işaretinin resmi bir işarettir ve bütün AB ülkelerinde geçerlidir.
- 2) CE işareti ile ilgili AB düzenlemeleri milli mevzuatları değiştirir. Ülkelerin kendi mevzuatlarındaki düzenlemeler, AB düzenlemelerinin yürürlüğe girmesiyle geçerliliğini yitirir ve ilgili AB direktifine uygun hale getirilir.
- 3) CE işaretinin yer aldığı ürünler, ilgili direktiflerde belirlenmiş tüm kriterlere uygun olmalıdır. Kriterlerden bir bölümünü gerçekleştirip, bir bölümünü gerçekleştirmeden işaretin ürüne konulması mümkün değildir.
- 4) CE işareti ile ilgili başka bir özellik, ülkelerin milli standartlarını gösteren işaretlerin CE işaretini göstermediğidir. Yani, TSE standardına sahip bir ürünün aynı zamanda CE işaretine sahip olduğunu düşünmek yanlıştır. Ancak CE işareti gereken ürünler için ülke bazında uyuma yönelik yasal düzenlemelerin yapılması zorunlu olduğundan, CE işareti bulunan ürünlerin canlılar için aynı zamanda belirli bir emniyet güvencesini yansıttığı söylenebilir.

- 5) CE işaretine yönelik düzenlemeler insan can ve mal emniyetini, sağlığını, çevrenin korunmasını ve enerji tasarrufu sağlanmasını öngörürler. Bu konudaki direktifler AB Komisyonu, üye ülkeler ve AB standardizasyon teşkilatlarının mutabakat sağladıkları konularda Avrupa Standardizasyon Komitesi (CENELEC) tarafından hazırlanır. Kabul edilen direktif ve ilgili standartlar AB Resmi Gazetesi'nde yayımlanarak yürürlüğe girer.
- 6) CE işareti ile ilgili temel varsayım üreticinin bizzat kendisinin ürettiği ürünün ilgili direktife uygunluğunu sağlaması ve kontrol etmesi olduğundan, CE işaretini de ürün üzerine kendisi koyar. CE işaretini veren bir kuruluş yoktur. Sadece AB içinde, ilgili direktiflerde belirlenmiş durumlarda yüksek risk taşıyan ürünler için uygunluk değerlendirmesi yapan onaylanmış kuruluşlar bulunmaktadır. Bunun dışında kalan ürünler için gerekli uygunluk çalışması yapıldıktan sonra, her kuruluş kendisi CE işaretini ürünün üzerine koyabilmektedir.
- 7) CE işaretini taşıyan bir üründen dolayı bir kaza meydana gelirse ya da AB üye ülkelerinden biri tarafından işaretin zorunluluklarının tam olarak yerine getirilmediği iddia edilirse, üretici gerekli kriterlerin tümünün yerine getirildiğini ve kendi hatasından kaynaklanan bir durum olmadığını ispatlamak zorundadır. Bu nedenle, CE işareti ürün üzerinde yer alırken, zorunluluklarının tam olarak yerine getirilmesine dikkat etmelidir. Zorunlulukları tam olarak yerine getirilmeden CE işareti koymanın büyük riskleri bulunmakta olup, üretici ağır cezalarla cezalandırılmaktadır.

CE Uygunluk İşareti işlemleri aşağıda belirtildiği gibi yürütülür.

- 1) Ülkelerin çeşitli tüketim ve sanayi ürünleri için geçerli olan mevzuatları birbirleriyle harmonize edilir. Böylece tek pazar oluşumu sağlanır. Üreticilerin maliyetleri azaltılır.
- 2) Ürünlerin güvenliği artırılır.
- 3) Ürün yetkili kuruluşlarca kontrol edilir.

CE işareti ve yanında yer alan dört rakamın anlamı; ürünün tüm kontrollerden geçtiğinin ve ilgili teknik gereklere sahip olduğunun ve EN standartlarına uygunluğunun kanıtıdır.

CE işareti; bir performans belgesi ya da kalite belgesi değildir. Can ve mal güvenliği ile tüketici ve çevrenin korunması konularında emniyetli olduğunu gösteren bir anlam taşımaktadır. AB pazarında bu direktifler kapsamında olan ürünler CE işareti taşımak zorundadır [12].

CE işareti almak için ilk yapılacak iş; ürünün AB kararnameleeri kapsamına girip girmediğine bakmaktır. Kararname kapsamında ise, öngörülen güvenlik ve emniyet ile ilgili hususların neler olduğu ve ilgili standartların araştırılması gerekir.

Yeni yaklaşım direktiflerinde güvenlik ile ilgili temel hususlardan söz edilmekte, ancak teknik ayrıntılara yer verilmemektedir. Teknik özellik ve ayrıntılar AB'nin Avrupa normlarında yer almaktadır. "CE İşareti" iliştilmesi zorunlu olan ürün grupları aşağıda verilmiştir.

- Alçak gerilim cihazları
- Basit basınçlı kaplar
- Oyuncaklar
- İnşaat malzemeleri
- Makineler
- Kişisel koruyucu donanımlar
- Otomatik olmayan tartı aletleri
- Vücuda yerleştirilebilir aktif tıbbi cihazlar
- Tıbbi cihazlar
- İn vitro tıbbi tanı cihazları
- Gaz yakan aletler
- Sıcak su kazanlarının verimlilik zorunlulukları
- Sivil kullanım için patlayıcılar
- Potansiyel olarak patlayıcı ortamlarda kullanılan ekipmanlar
- Asansörler,
- Ev tipi elektrikli buzdolapları, dondurucular ve bunların kombinasyonları için enerji verimliliği zorunlulukları direktifi
- Basınçlı ekipmanlar
- Telekomünikasyon terminal cihazları ve uydu yer istasyonları
- Gezi amaçlı tekneler
- Radyo ve telekomünikasyon terminal ekipmanları
- İnsan taşımak üzere tasarımılanan kablolu taşıma tesisatı
- Flüoresan aydınlatma balastlarının enerji verimliliği [13].

3.2.3 Avrupa Normları ve Standart Oluşturma Kuruluşları

Avrupa Normları AB ve EFTA üyesi ülkeler için hazırlanan ortak standartlardır. Amaç, tek pazar oluşumunda üye ülkelerin ulusal standartları arasındaki farklılıklardan doğan problemleri ortadan kaldırmaktır.

Bütün alanlardaki standartları oluşturmakla görevli üç kuruluş vardır. Bu kuruluşlar; CEN (The European Committee for Standardization), CENELEC (The European Committee for Electrotechnical Standardization), ETSI (The European Telecommunication Standards Institution)'dir.

Bu kuruluşlar AB Komisyonu ve EFTA kuruluşları ile doğrudan bağlantılı olarak Brüksel'de faaliyet gösterirler. Bu kuruluşlar oluşturdukları standartların temelini üye ülke standartlarından (DIN, BS, NE gibi) alırlar. Fakat aynı zamanda standartlar oluşturulurken ISO ile de yakın işbirliği içindedirler. CEN tarafından hazırlanarak tamamlanmış EN standartlarının önemli bir kısmının ISO standartlarının aynısı olması iki kuruluş arasındaki güçlü uyumu göstermektedir. Avrupa normları üç başlık altında toplanabilir.

1) EN Avrupa Standardı:

CEN tarafından kabul edilen standartlardır. Bu standartlar, muhalif olan ülkeler de dahil olmak üzere kabul tarihinden belli bir süre sonra kendiliğinden üye ülke standardı haline gelirler. Üye ülkeler aynı konuda mevcut veya çelişki yaratabilecek diğer standartlarını kaldırmak zorundadırlar.

2) HD Harmonize Standartlar:

Avrupa Standartları ile aynı yol izlenerek hazırlanan ve kabul edilen dokümanlardır. Ancak uygulamada Avrupa Standartları'na göre üye ülkelerdeki duruma ve haklı gerekçelere bağlı olarak bir esneklik tanınmaktadır.

3) ENV Avrupa Ön Standardı:

Teknolojinin hızla geliştiği veya değiştiği sektörlerde gelişmeyi ve uyumu destekleyici ve ihtiyaç duyulan alanlarda yön gösterici nitelikte hazırlanan standartlardır. Hazırlama ve kabul mekanizması EN'e göre daha kısa tutulmuştur. Her ENV kabul edildikten sonra üç yıllık bir deneme süresine tabidir ve bu süre sonunda yeniden revize edilerek yeni bir ENV olarak ya da deneme süresi sonucunda alınan sonuçlar üye ülkeler tarafından yeterli görülürse HD ve EN olarak kabul edilir. Standartlar, kapsamına aldıkları konu itibariyle geniş olan teknik komitelerde çalışılmak sureti ile oluşturulmaktadır. Standartlar öncelikle taslak olarak hazırlanmakta (PrEN) ve daha sonra Avrupa standardı halini almaktadırlar.

Bütün alanlardaki standartları oluşturmakla görevli olan bu üç kuruluş içinde en büyüğü Avrupa Standartlar Komitesi (CEN)'dir. Bu kuruluş genel standartlar (kalite: EN 29000 ve EN 45000, ölçme ve metroloji, terminoloji/birimler/semboller vs. ve değer analizi olmak üzere 4 grup) ve ürün standartları (malzeme, makine mühendisliği, yapı ve inşaat mühendisliği, ısıtma soğutma-havalandırma, gazla çalışan aletler, işyerinde sağlık ve güvenlik, tıp, ulaşım ve ambalaj, enformasyon teknolojisi, ev-spor-eğlence aletleri, çevre, biyoteknoloji, gıda ve kimya olmak üzere 14 ürün grubu) şeklinde Avrupa Standartları'nı hazırlar. Ayrıca CEN, GENELEC ve ETSI arasında imzalanan anlaşma gereği bu üç kuruluş belli konularda ortak çalışma yaparak standart hazırlayabilmektedir.

Geçen yüzyılın ortalarında dünya ticaret hacminde görülmeye başlanan artış, teknolojiye gelişme ve daha gelişmiş mamullerin piyasaya arzı uluslararası standardizasyon çalışmasına duyulan ihtiyacı artırmıştır. Sonuçta Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) ve Uluslararası Elektroteknik Standartlar Teşkilatı (IEC) kurulmuştur. Bunu takip eden yıllarda Avrupa Ekonomik Topluluğunun kurulması ile birlikte Avrupa'da malların serbest dolaşıma sağlayacağı destek nedeniyle bölgesel standardizasyona duyulan ihtiyaç Avrupa Standardizasyon Komitesi CEN'in 1961 yılında 6 AB ve 7 EFTA ülkesinin standardizasyon kuruluşları tarafından kurulması ile sonuçlanmıştır. Günümüzde AB ülkelerinden 15, EFTA ülkelerinden 3 olmak üzere toplam 18 üyesi bulunmaktadır.

CEN Genel Kurulu 1991 yılında aldığı bir kararla AB ile ekonomik bir birliğe gitmek üzere bir anlaşması olan ülkelerin standart teşkilatlarının CEN'e bağlı üye (affiliate member) statüsü ile üye olabilmeleri için bir karar almıştır.

Aynı dönemde CEN'e üyelik başvurusunda bulunan Türk Standartları Enstitüsü'ne bu çerçevede bağlı üye statüsü tanınmıştır. Bağlı üyeler oy kullanma hakkı dışında tam üyelerin hemen hemen bütün haklarına sahiptir. Günümüzde CEN'in aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 12 üyesi bulunmaktadır. CEN'e tam üye statüsü ile üye olan bütün kuruluşlar Avrupa Standartlarını (EN) ve Harmonize Dokümanları (HD) kendi standartları olarak kabul edip uygulamakla yükümlüdür. Yine aynı çerçevede, üyeler bir Avrupa Standardı yürürlüğe girdiği zaman (EN veya HD) aynı konuda mevcut olan milli standartlarını veya Avrupa standardı ile uyumlu olmayan standartlarını kaldırmakla yükümlüdürler [14].

Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) yapısında; CEN üyeleri, Bağlı üye statüsündeki AB ve EFTA üyesi olmayan ülkelerin standart teşkilatları, ortak üyeler (oy hakkı olmayan) ve ayrıca CEN genel karar organı genel kurulu bulunmaktadır. Yürütme, Yönetim kurulu ve bu

kurula bağı olarak çalışan genel sekreterlik tarafından gerçekleştirilir. CEN genel sekreteri CEN faaliyetlerinden sorumludur. Teknik kurul, yönetim kurulu tarafından oluşturulur ve CEN'in standart hazırlama programından sorumludur. Sektörel olarak standart hazırlama çalışmasının daha etkin bir şekilde takip edilebilmesi amacıyla teknik kurul altında çalışan program komitelerine ek olarak sektörel teknik kurullar tesis edilmiştir. Ayrıca teknik kurul (TK), standart oluşturma programlarının son kontrolünü gerçekleştirir. Standart çalışmalarının organizasyon prosedürleri, koordinasyon ve planlamasından sorumludur. Uluslararası özel kuruluşlar ve Avrupa ticari, mesleki, teknik ve bilimsel kuruluşlarıyla teknik alanda işbirliği yapar. TK delegasyonlarından meydana gelen teknik sektör kurulları her sektörde standardizasyon programlarının belirlenip, kontrol edilmesinde yetki sahibidirler. Temsil açısından önemli bir nokta da, CEN'in ulusal düzeydeki üyelerinin ulusal delegasyonu ataması yanında aynı zamanda, Avrupa sanayi, sendika ve tüketicilerden delege adayı gösterilebilmeleridir. Programlama Komiteleri (PC) Teknik Kurul'a tavsiyelerde bulunup, ilgili oldukları alanlarda standardizasyon çalışmaları ile koordinasyon ve planlamayı sağlarlar. Teknik Sektör Kurulları (TSK), 1991-1992 döneminde kurulmuş olup, belli başlı tüm sektörlerde iş programlarının koordinasyonunu geliştirmeyi ve sanayi kesimi ile toplumdaki diğer kesimlerin CEN ile ortak çalışma programlarının politikasını oluşturma sürecini hedefler.

CEN'in standart hazırlama esasları; açıklık ve şeffaflık, görüş birliğinin sağlanması, milli destek ve milli seviyede ve Avrupa seviyesinde teknik uyum prensiplerine dayanır. Açıklık ve şeffaflık; isteyen bütün tarafların standart hazırlama çalışmasına katılmasını, görüş birliğinin sağlanması; ilgili bütün tarafların kendi arzuları ile ortak karar vermelerini, milli destek; CEN standartlarının üye teşkilatlar tarafından kabulünü ve uygulamasını, milli seviyede ve Avrupa seviyesinde teknik uyum ise; CEN standartlarının uygulanması ve bunlarla uyumlu olmayan milli standartların yürürlükten kaldırılması ile birlikte Avrupa'da teknik uyumun sağlanmasını öngörür. Bu konular Avrupa'da malların serbest dolaşımı için son derece büyük bir önem taşır.

CEN bünyesinde bir standardın kabul edilmesi için gerekli olan kriterler aşağıdaki gibidir :

- Taslak halinde oy veren üye sayısı oylamaya katılan üyelerin yarısından fazla olmalıdır.
- Lehte verilen ağırlıklı oy en az 25 puan olmalıdır.
- Aleyhte verilen ağırlıklı oy en çok 22 puan olmalıdır.

- En fazla 3 üye aleyhte oy vermelidir.
- Bu şartlardan bir tanesi dahi gerçekleşmezse taslak reddedilir. CEN karar mekanizmasında üyelerin ağırlıklı oyları ise Almanya, Fransa, İngiltere ve İtalya'nın 10, İspanya'nın 8, Avusturya, Belçika, Hollanda, Portekiz ve İsveç'in 5, Danimarka, Finlandiya, İrlanda ve Norveç'in 3, Lüksemburg ve Yunanistan'ın 2 ve İzlanda'nın 1'dir.

Standartların hazırlanması ile ilgili teklif ve talepler CEN'in üyesi olan kuruluşlarla Avrupa organizasyonları, CEN ve Avrupa Toplulukları Komisyonu arasında mevcut anlaşma gereğince AB mevzuatı ile ilgili konularda komisyon ve EFTA tarafından yapılır. İlgili teknik kurul genel teklif ve talebi inceleyerek hangi prosedürün uygulanacağına karar verir. Burada 3 seçenek mevcuttur. Bunlardan ilki; eğer talep CEN ve ISO arasında imzalanan anlaşma çerçevesinde ISO tarafından ele alınmış bir konuyla ilgili ise standardın ISO bünyesinde şekillendirilmesi ve ortak oylama prosedürünün tatbik edilmesidir. Eğer teknik kurul talep edilen konuda bir standardın hazırlanmasına ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi gerektiğine karar verirse konunun açıklığa kavuşturulması için üye kuruluşların görüşüne ve oyuna başvurur, yani soruşturma prosedürünü çalıştırır. Soruşturma prosedürünün uygulanması sonucunda standardın hazırlanmasına karar verildiği takdirde ilgili teknik komite (TC) tarafından referans doküman hazırlanır. Teknik kurul standardın herhangi başka bir prosedür uygulanmadan hazırlanmasına karar verirse konuyu ilgili teknik komiteye gönderir ve bu komite tarafından standardın taslağı hazırlanır. Her üç prosedürde de bir sonraki basamak, ilgili bütün tarafların görüşlerinin alınarak standarda son halinin verilmesidir.

Kısa adı CENELEC olan Avrupa Elektroteknik Standartlar Komitesi, Avrupa düzeyinde standardizasyon alanında çalışmalarda bulunan üç kurumdan biridir. Bu dönemde Avrupa'da elektronik standartları hazırlayan iki kuruluş, aynı dönemde yayınlanan, yürürlüğe giren ve sağlıklı sonuç alınması için ortak standartlara gerek duyulan alçak gerilim konusundaki direktifin çıkarılmasından sonra Avrupa Elektronik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) olarak birleştirilmiş ve daha etkin bir yapıya sahip olmuştur. 1973 yılında Belçika hukuku altında kar amacı güdülmeden kurulmuş olan CENELEC'in üyeleri, Avrupa Topluluğu (AB) ve Avrupa Serbest Ticaret Topluluğu (EFTA) ülkelerinin milli elektronik teşkilatlarından oluşmaktadır.

Avrupa düzeyinde her sektörde standardizasyon çalışmaları yapan CEN'e kıyasla daha küçük ve homojen bir yapısı olan CENELEC, ürün emniyeti ve ürünün elektroteknik yapısına yönelik standartlar hazırlar.

Zorunlu alan; CENELEC zorunlu Avrupa standartları seti 2033 adettir ve birçoğu iki, üç hatta dördüncü ve beşinci revizyonlarını yapmıştır. Bu standartlar Avrupa ekonomik alanında iç ticaret engelleri oluşturmadan elektronik mal ve hizmetlere yönelik teknik altyapı oluştururlar. CENELEC Standartları Avrupa'da elektronik ürün ve hizmetlerin gerekli emniyet ve kalite zorunluluklarını karşılamasını temin ederek tüketicileri ve kullanıcıları korur.

Genel olarak standartların önemi, ticaret açısından önemli araçlar olmalarındandır. İmalatçılar bir malın dizaynında yol gösterici olan standartlara ihtiyaç duymaktadırlar. Standartlara uygun olarak imalat yapmak aynı zamanda satışta ve buna bağlı olarak karlılıkta etkili olan reklam faktörlerine de yardımcı olur.

Standartlar bundan başka pazarlamada gittikçe artan bir önem taşıyan bir araç olarak güven oluşturması açısından bir temel oluşturur. Ayrıca bir malın tasarımı ve imalatıyla birlikte ürün ve hizmetlerin kullanılmasını düzenlerler.

CENELEC Standartları da bu çerçevede rekabet ölçüleri içerisinde gereksiz müdahalelerin ve uygulama zorluklarının önüne geçerek, bir malın dünya çapında kolaylıkla ihraç edilebilmesini temin ederler. CENELEC Standartları bunları yaparken gerekli olduğu yerlerde AB Direktiflerine ve EFTA politikalarına destek verirler. CENELEC Standartları'nın artış göstermesi ise pazarın belirli ihtiyaçları doğrultusunda olmaktadır

CENELEC Standartları'nın Hazırlanması ve Karar Alma:

Avrupa Topluluğu'nda, CENELEC şemsiyesi altında çalışan uzmanlar yaptıkları çalışmalar sonunda Avrupa Standartları'nı oluşturur. CENELEC bünyesinde 76 adet teknik komite faaliyet gösterir. CENELEC uzmanlarının çalışma alanları özellikle önemli ve hızla değişen alanlardır. Elektromanyetik uyumluluk, tüketici elektroniği, elektrikli güç jeneratörü ve enformasyon teknolojisi bu çalışma alanlarına örnektir. Genel kurul CENELEC bünyesindeki en yüksek düzeydeki organdır. 18 Milli Komitenin delegelerinden oluşur. Bu organ CENELEC ile ilgili olarak önemli tüm kararları alır. 8 personelden oluşan bir idari kurul başkanının izniyle genel kurul kararlarına göre yürütülen çalışmalarını denetler. Teknik kurul, teknik organların çalışmalarını idare etmekte ve denetlemektedir.

CENELEC'e bağlı olarak çalışan iki temel komite vardır. ELSECOM ve CECC. Test ve belgelendirmede Avrupa Elektronik Sektörel Komitesi (ELSECOM) 1991 yılı sonunda CENELEC tarafından kurulmuş olan, elektronik dahil tüm elektro-teknoloji alanında Avrupa düzeyinde bir koordinasyon kuruluşudur. Bunun yanında Test ve Belgelendirmede Avrupa

Teşkilatı (EOTC) tarafından elektroteknik sektörünün tümünün temsilcisi olarak kabul edilir. ELSECOM elektroteknik mamullere yönelik olarak yapılmış test ve belgelerin Karşılıklı Tanınma Düzenlemeleri'nde (KTD) faaliyet gösteren bir şemsiye örgüt niteliği taşır. Bu örgüt bu bağlamda yeni anlaşmaların oluşmasına da yardımcı olur.

ELSECOM'un amacı: Marka, belge, test muayene ve kalite değerlendirmelerine ait raporların Avrupa düzeyinde çıkarılmasının yanında bunların kabul edilmesini ve karşılıklı olarak tanınmasını sağlamaktır. ELSECOM'un görevleri ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Pazarın ihtiyaçları doğrultusunda uygunluk değerlendirmeleriyle ilgili olarak imalatçıların, kullanıcıların ve üçüncü tarafların menfaatlerini yansıtmak,
- Test ve belgelendirmeye yönelik olarak sistemin bütünlüğünü ve karşılıklı tanıma düzenlemelerinde öngörülen gereklere uyumluluğunu muhafaza etmek,
- EOTC ile EOTC'ye bağlı organlarla koordinasyonu sağlamak,
- ELSECOM altında çalışan KTD'leri teşvik etmek, AB veya EFTA üyesi olmayan benzer kuruluşlarla bölgesel veya uluslararası düzeyde uygun koordinasyon kurma doğrultusunda diyaloglar geliştirmek.

Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI), 1988 yılında Avrupa için telekomünikasyon standartları üretmek üzere kuruldu. CEN ve CENELEC ile paralel çalışarak yayıncılık ve enformasyon teknolojileri alanında da standartlaşma çalışmaları yapar. Diğer uluslararası kuruluşlardan farklı olarak üyeleri devletler değil, ağ işleticileri, telekomünikasyon idareleri, hizmet sunucuları araştırma birlikleridir [15].

3.2.4 CE ve Türkiye

Türkiye, AB teknik mevzuatına uyum sürecinde 4703 sayılı teknik mevzuatın hazırlanması ve uygulanmasına dair kanunu, 11.07.2001 tarihinde resmi gazetede yayınlamış ve 11.01.2002 tarihinden itibaren yürürlüğe koymuştur. Bu kanun ilgili emniyet direktifleri kapsamına giren ürünlerin ilgili teknik mevzuatlara ve uyumlaştırılmış güvenlik standartlarına uygun olması gerektiğinden bahseder ve daha da önemlisi bu şart sadece Avrupa'ya yapılan ihracatlar için değil, iç pazara sunulacak ürünler için de geçerlidir.

Gümrük Birliği anlaşması ile birlikte, Avrupa Birliği'nin sanayi mallarının önemli bir bölümünün üretimi için getirdiği standartların Türkiye'de de uygulanmaya başlanması, Türk sanayicisini etkilemiştir. Avrupa Birliği'nin sanayicilere yönelik getirmiş olduğu bu standartlar, hem tüketiciyi koruma hem de ürünün niteliği bakımından dünya standartlarının

önüne geçerek geleceğin ürünlerini oluşturma ve rekabet avantajı yaratmaya yöneliktir. Türkiye de er geç bu standartları uygulamak durumundadır. Sanayicilerin böyle bir çalışma içine girmeleri, Türk sanayisinin rekabet gücünün artmasını ve devamlılığını sağlayacaktır [16].

Türkiye, Avrupa Birliği (AB)'ne tam üye olmamakla birlikte imzalanan ve 1996 yılı başında yürürlüğe giren Gümrük Birliği anlaşması çerçevesinde, AB ile ilişkilerde üçüncü ülkelere göre farklı bir konum kazandı. Bu farklılık AB'ye üye ülkelerle tam rekabete girmemizin yanı sıra, mal üretiminde de birlik içerisindeki standartların Türkiye açısından zorunlu hale gelmesidir. Yine anlaşma içinde, teknik engellerin kaldırılması ile ilgili mevzuat uyumunun Türkiye tarafından kararın yürürlüğe girişinden itibaren 5 yıl içinde yapılması ve uyum sağlanan her konuda malların serbest dolaşımını öngörür. Bu kapsamda birlik içinde CE işareti ile ilgili getirilen düzenlemeler Türkiye açısından da 2001 yılından itibaren yürürlüğe girdi. Yani, 2001 yılı sonrasında CE kapsamındaki mallar için sanayicilerimiz ürünlerini AB tarafından yapılan düzenlemelere uygun hale getirmek ve CE işaretini mallarının üzerine koymak zorunda kalmışlardır. Konunun Türkiye açısından diğer bir boyutu da, CE işareti taşımayan malların Türkiye içinde satışında da üreticiler sıkıntı yaşayabilecek olmalarıdır. Çünkü AB ile imzalanan Gümrük Birliği (GB) Anlaşması çerçevesinde Türkiye, AB rekabet kurallarına uymak durumundadır. Bu kurallara uyulmadığı takdirde üye ülkelerin şikayet hakkı doğmaktadır. Konuyu CE işareti ile ilişkilendirecek olursak, Türkiye için geçiş süresinin bitiminden sonra, AB üye ülkeleri Türk sanayicisinin ürettiği ve Türkiye'de sattığı CE işareti taşımayan bir malı haksız rekabet yaptığı dolayısıyla şikayet etme olanağına kavuşacaklardır.

Sağlık, güvenlik, çevre ve tüketiciyi koruma koşullarına uyulduğunu gösteren CE işareti konusunda Türk sanayicilerinin duyarlı olmaları son derece önemlidir. Bu nedenle, sanayicilerin üretmiş oldukları ürünün özelliklerini dikkate alarak, bu konudaki direktiflerin içeriklerini incelemeleri ve bunlardan hangilerinin ilgili olduğuna karar vermeleri gerekir. Burada dikkat edilecek bir nokta da, ürünün birkaç direktif kapsamına girebileceği ve bu nedenle CE işareti kapsamındaki tüm direktiflerin incelenmesi gerekliliğidir. İlgili direktif belirlendikten sonra, o direktifte getirilen koşulların incelenerek tam olarak ürüne adapte edilmesi gerekir.

Düşük riskli ürünlerde sanayici uygunluk çalışması yaptıktan sonra, bir beyanat yayımlayarak CE işaretini hemen kullanabilirken, yüksek riskli ürünlerde sanayicinin bu beyanatu yeterli olmamaktadır. Bu durumda yapılması gereken konuya ilişkin olarak yetkili kılınmış

kuruluşlar tarafından ürünlerin incelenmesi ve test edilmesidir. Bu kuruluşlar direktiflerin içeriği bakımından inceleme yapmaya yönelik yeterli bilgi ve teknik donanıma sahip olan ve AB üye ülkelerin yetkili makamlarınca onay verilmiş kuruluşlardır. Dolayısıyla onaylanmış kuruluşlar AB üye ülkelerinde bulunmaktadır ve Türkiye’de henüz mevcut değildir. Ancak üye ülkelerin yetkili makamlarından onay almış kuruluşların AB içinde olduğu gibi AB sınırları dışına da hizmet verme olanakları bulunur. Yüksek riskli ürün grupları için onaylanmış kuruluşların incelemeleri sonucunda gerekli beyanları vermesi ile sanayici CE işaretini ürününde kullanabilmektedir.

3.2.5 Diğer Uluslararası Kuruluşlar

EMC konusunda diğer uluslararası kuruluşlar, EMC problemleri ile profesyonelce uğraşan, ülkelerin, teknik kurum ve kuruluşların aynı dili konuşmalarını sağlayan, teknik gereksinimlerini karşılamak üzere organizasyonlara giden kuruluşlardır.

IEC (International Electronic Commission)

IEC yaptığı işleri ; uluslararası standartlar ve devlet, ticari ve toplumsal elektrik elektronik ve ilgili teknolojilerin uygunluk değerlendirmesi şeklinde özetlemektedir. Bağışıklığa ilişkin temel EMC standartlarını düzenler.

Uluslararası Standardizasyon Kurulu (ISO)’nun elektrik ve elektronik koludur. 1960 yılında kurulmuş olan ve İrlanda haricinde tüm Avrupa ülkelerinin üyesi olduğu bir uluslararası kuruluştur. Tüm uluslararası kuruluşlar gibi komitelerle çalışır. Yaklaşık yüz kadar komitesi vardır ve çalışmalar bu komiteler arasında dağıtılmıştır.

IEC’nin genel olarak konuları, elektrik, elektronik ve haberleşme sistemlerindeki standartlardır , az da olsa bazı özel konuları da organize ederler.

CISPR (Comité International Speciale des Perturbations Radioelectriques)

Kuruluş amacı ışımaya kaynaklı EMC problemleridir. 1936 da temeli atılmış olan bu kuruluş günümüzde IEC ile paralel konularda çalışmalar yürütür. Kuruluş, 1946 yılında ilk kez EMC ile ilgili ölçüm yöntemleri ve uyulması gereken limitleri yayınlamıştır.

Bağışıklığa ilişkin temel EMC standartları IEC, yayınlama ilişkin temel EMC standartları CISPR tarafından düzenlenmektedir [17].

4. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK TESTLERİ

4.1 Elektrostatik Boşalma Bağışıklık Testleri

Elektrostatik boşalma (ESD) temel olarak cihaz ve çevreden kolaylıkla etkilenebilen ekipmanlar veya çok yüksek hassasiyette kullanılan elemanların gerilim hassasiyetini dikkate alır. Statik elektriğin etkileri yaklaşık olarak birkaç bin yıldır bilinmektedir. Son yıllarda bu etkiler daha iyi anlaşılmaya başlanmış ve bunun ne gibi avantaj veya dezavantaj sağladığı birçok uygulamada gözlenmiştir. Maalesef statik elektriğin bazı istenmeyen durumları bir takım sorunlara neden olmaktadır. Elektrostatik şarjın ani değişimi yüzünden birçok devre elemanı, devre, ileri teknoloji ürün istenmeyen arızalara ve ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum ortamda bir enerji yükü yani elektrostatik yük boşalması veya kısaca ESD olduğunu gösterir. ESD'den etkilenen ekipmanlar transistörler, diyotlar, lazer diyotları, elektro-optik cihazlar, hassas film dirençler, ince ve kalın film dirençleri, kapasitörler, farklı yarı iletkenler, mikro devreler, hibrit cihazlar, piezoelektrik kristalleri ve hatta daha komplike entegrasyonlu devre cihazları olarak sıralayabiliriz. Elektrostatik boşalmadan etkilenen cihazların uyarı sembolü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Birçok elektrostatik üreteç bir triboelektrik şarj içerir. Bunu iki materyal arasında meydana gelebilecek bir kontak teması ve sonrasında kontak noktalarının ayrılması olarak açıklamak mümkündür. Böyle bir olayda elektronların hareketi bir yüzeyden öteki yüzeye doğru olacaktır, bu durum materyaller arasında bir şarj dengesizliği oluşturur. Kontak anında ESD doğrudan şarj kaynaklarına veya şarj objelerine zarar verebilir [18].



Şekil 4.1 Elektrostatik boşalmadan etkilenen cihaz sembolü

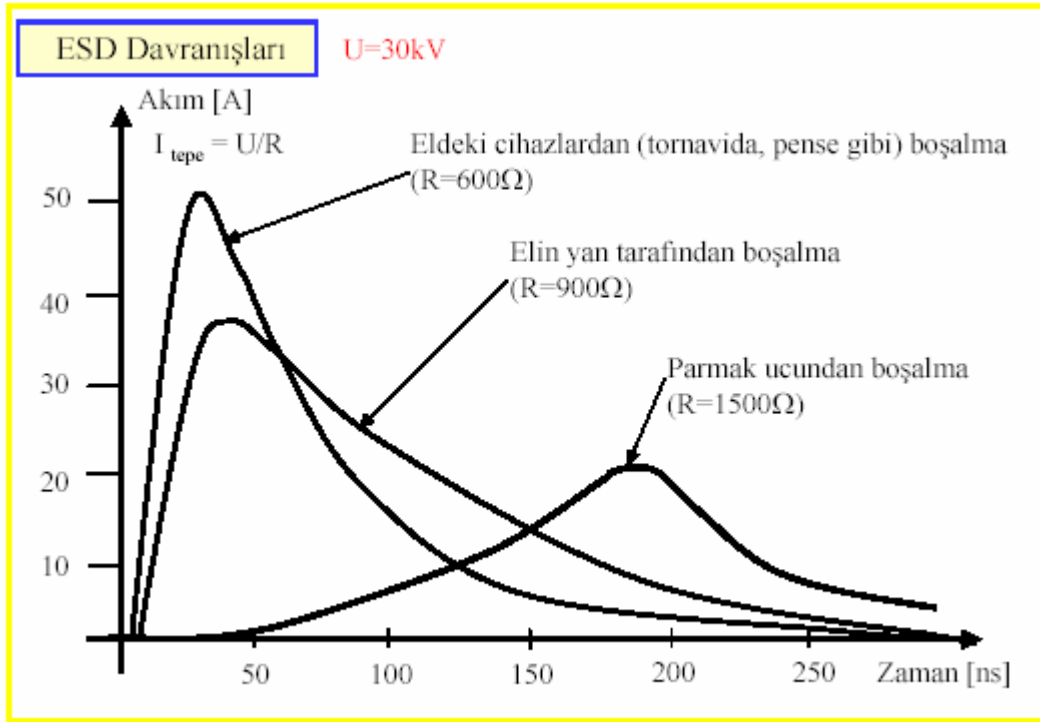
İnsan saçı, cam, mika, naylon, kürk, ipek, pamuk gibi birçok madde statik elektrik yüklenebilir. Statik elektrik yüklenmesi, sentetik ortamlarda ve kuru havalarda 10-15 kV mertebesinde potansiyel farkı oluşturabilir. Çizelge 4.1’de yaklaşık olarak elektrik yüklenme değerleri gösterilmiştir [19].

Çizelge 4.1 Elektrik yüklenme değerleri

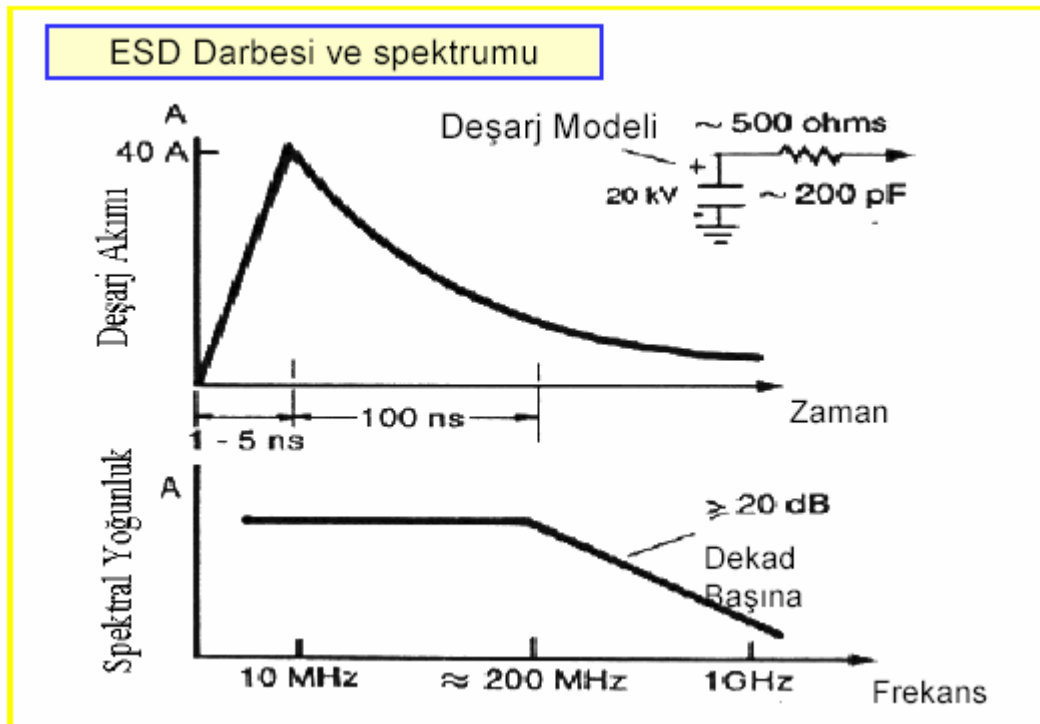
Koşullar	Bağıl nem %20	Bağıl Nem %80
Plastik bir yüzeyde yürüme	12 kV	0,25 kV
Sentetik halı üzerinde yürüme	35 kV	1,5 kV
Köpük dolu bir yastıktan kalkma	18 kV	1,5 kV
Naylon torba kaldırma	20 kV	0,6 kV
Plastik kutuyu halı üzerinde kaydırma	18 kV	1,5 kV
PC kartının üzerindeki jelatini çıkartma	12 kV	1,5 kV
Lehim pompasıyla lehim çekme	8 kV	1 kV
Devre temizleyici sprey sıkma	15kV	5kV

Belli bir değere ulaşan statik yüklenme durumunda, vücudumuzun sivri yerleri bir iletkene doğru yaklaştığında ani boşalmalar oluşur. Şekil 4.2’de tipik elektrostatik boşalma davranışları gösterilmiştir. 30 kV ile statik olarak yüklenen bir kişi elinde tuttuğu bir tornavida ile (düşük empedans göstereceğinden) birkaç on nano saniyede 50A’ e çıkan bir akım şeklinde boşalmaya neden olabilir. Diğer durumlarda, örneğin parmak ucundan, daha yavaş ve düşük değerde boşalma söz konusudur.

Elektrostatik yük, yükselme/boşalma zamanı 5/100ns olan 35-40 A’lik akım darbesi oluşturur. Bu akım darbesinin etkileri 200 MHz frekans değerinin üstüne çıkabilir. Elektrostatik yük boşalmasının oluşturacağı akım darbesi ve bu akım darbesinin spektrumu Şekil 3.3’te gösterilmiştir. ESD darbesinin eşdeğer modeli yaklaşık 200 pF’lık sığası olan bir kondansatörün 20 kV değerinde bir gerilim kaynağı ile doldurulup 500 ohm’luk yük üzerinden aniden boşalması şeklindedir. EMC testlerinde kullanılan özel ESD simülatörü bu modele göre gerçekleştirilir.



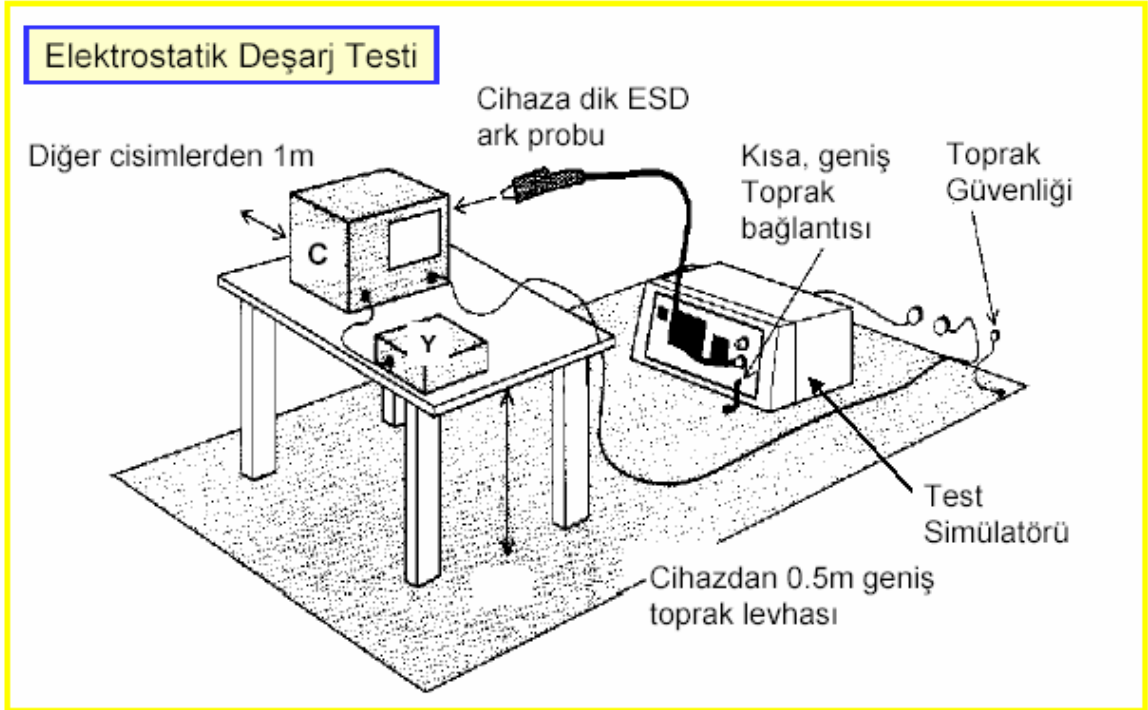
Şekil 4.2 İnsanda biriken statik yük boşalması



Şekil 4.3 Tipik bir ESD boşalması ve frekans spektrumu

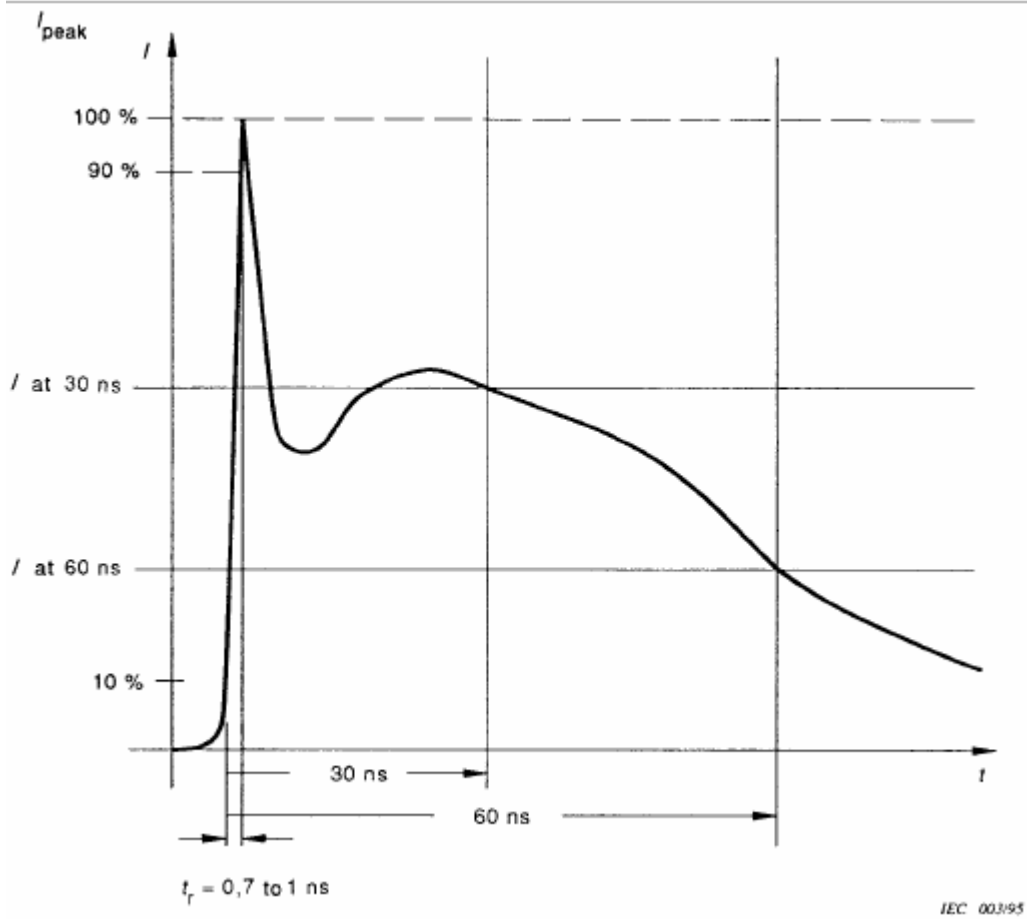
ESD bağışıklık testleri doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde yapılır. Bu durumlarda

temas yollu ve havadan ESD uygulanır. ESD test standardı EN 61000-4-2'dir. Standartta testlerin nasıl yapılacağı, ESD simülâtörün nasıl tutulacağından, hangi uzaklıktan uygulanacağına kadar ait ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Tekrarlanabilir olması açısından testler topraklama levhası üzerinde yapılır. Şekil 4.4'te örnek bir ESD test düzeneği gösterilmiştir. Cihazın toprağa göre kaçak kapasitesi önemli olduğundan cihaz masa üstü testinde zeminden 0.8 m, yer testinde zeminden 10 cm yukarıya yerleştirilir. Toprak levhası cihazdan her yönde 0.5 m daha geniş olmalıdır. ESD cihazın normal kullanımı sırasında temas edilen noktalarına, cihazın bağlantı noktalarına, soket, havalandırma ya da ışık yarıklarına uygulanır. ESD bu noktalarda yüzeye dik olacak şekilde uygulanır. Test noktalarına aralıklarla on ESD darbesi uygulanır.



Şekil 4.4 Tipik bir ESD test ortamı

ESD testleri ESD üretici kaynak tarafından üretilen darbenin ürüne uygulanmasıyla yapılır. Bu uygulanan darbenin şekli Şekil 4.5'te verilmiştir [20].




Şekil 4.5 ESD üreticinin akım dalga şekli

Grafikteki değerler ürünün kademesine göre farklılık gösterir. Uygulanması gereken darbenin özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir [21]. Elektrostatik boşalmalara karşı bağışıklık test rapor örneği Şekil 4.6’ da gösterilmiştir. Örnek ESD testi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Darbe parametreleri

Kademe	Test Gerilimi (kV)	I_p (A)	t_r (nS)	I (t=30 nS) (A)	I (t=60 nS) (A)
1	2	7,5	0,7 - 1	4	2
2	4	15	0,7 - 1	8	4
3	6	22,5	0,7 - 1	12	6
4	8	30	0,7 - 1	16	8

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE		EMC2-2701 02-07
	Deney Raporu Testing Report		
Sayfa (Page): 8/87			
ELEKTROSTATİK BOŞALMA BAĞIŞIKLIK DENEYİ Electrostatic Discharge Immunity Test			
Deney Talimat No : (Test Method No)	EMC_DT01	İlgili standard : (Related Standard)	IEC 61000-4-2:1995/ A1:1998/A2:2000
Çevre Koşulları : (Environmental Conditions)	24.5 °C, % 38 RH, 900 mbar	Tarih : (Date)	12.11.2008
TEST ŞARTLARI VE SONUÇLARI (TEST CONDITIONS AND RESULTS)			
Testin tanımı: (Test specification)	DGC, ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinde 10 cm yükseklikteki yalıtkan üzerine yerleştirildi. Test kurulumu IEC 61000-4-2 standardına göre hazırlandı. DGC normal çalışma modunda iken yalıtkan yüzeylerine havadan boşalma, iletken yüzeylerine de temasla boşalma uygulandı. (EUT is placed on the ESD table 10 cm height from reference ground plane in Shielded Room. Test set-up is prepared related to IEC 61000-4-2. When EUT is operating in normal working condition, EUT is applied air discharge at insulating surfaces and contact discharge at conductive surfaces.)		
Temasla boşalma voltajı (Contact discharge voltage):	<input type="checkbox"/> 2 kV <input type="checkbox"/> 6 kV	<input checked="" type="checkbox"/> 4 kV <input type="checkbox"/> 8 kV	
Havadan boşalma voltajı (Air discharge voltage):	<input type="checkbox"/> 2 kV <input type="checkbox"/> 6 kV	<input checked="" type="checkbox"/> 8 kV <input type="checkbox"/> 15 kV	
Boşalma empedansı (Discharge impedance):	<input checked="" type="checkbox"/> 330 Ω / 150 pF		
Boşalma faktörü (Discharge factor):	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 1 s		
Boşalma sayısı (Number of discharge):	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 20 (10 pozitif, 10 negatif boşalma) (10 positive, 10 negative discharge)		
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.			

TRG-ELDA-82

Şekil 4.6 Elektrostatik boşalmalara karşı bağışıklık test rapor örneği [22]



Şekil 4.7 Örnek ESD testi

4.2 Ani Yükselmelere Karşı Bağışıklık Testi (Surge)

Ani yükselmeler, anahtarlamalar, AC enerji hatlarındaki izolasyon hataları, motor veya güç faktörü düzeltme kapasite gruplarının anahtarlaması v.b. sonucu meydana gelir.

AC enerji hattında bir izolasyon sorunu meydana geldiğinde enerji dağıtım sistemindeki akım normalden çok daha yüksek bir değere ulaşır. Koruyucu eleman devreyi kestiğinde sistemin endüktansından dolayı büyük bir dalgalanma meydana gelir. Yıldırımlar da ani yükselmelere yol açabilir.

Güç sistemlerinin anahtarlaması sonucu oluşan geçici olaylar aşağıda gruplandırılmıştır.

- Yüksek güçteki sistemlerin anahtarlanması (kondansatör gruplarının anahtarlanması)
- Düşük güçte anahtarlamalar veya yük değişikliği
- Anahtarlarla birlikte kullanılan rezonans devreleri
- Çeşitli devre hataları (kısa devreler, toprağa karşı ark yapma)

Genellikle yıldırımların yol açtığı ani yüksek gerilimler aşağıda gruplandırılmıştır.

Bir dış iletkene yıldırım çarpması, yüksek değerlerde akım enjekte etmesi ve bu akımların toprak direnciyle veya sistem direnciyle gerilim oluşturmaları

Bir yıldırımın oluşturduğu elektromanyetik alanın akım/gerilim endükleme

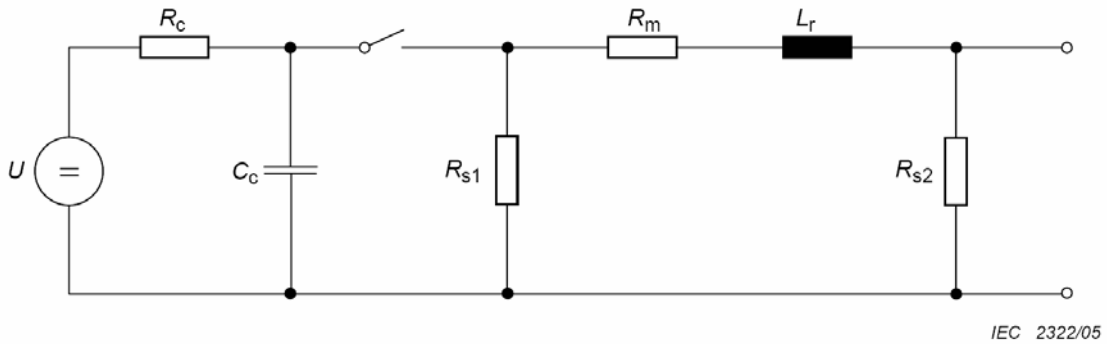
Yıldırım korumasında devreye giren koruma elemanı, yakınındaki bir ekipmana elektromanyetik gürültü yayabilir [23].

Geçici olayların simülasyonu için test kaynağının karakteri yukarıda bahsedilen olağan dışı

olayları üretmeye olabildiğince yakın olmalıdır. Ayrıca bir başka önemli nokta ise test edilecek ekipmanın normal koşullarda çalışacağı ortamdır. Bu ortam IEC 61000-4-5 standardına göre 1 den 4'e kadar değişmektedir. Bu kademelerden 1 en korunaklı, 4 en korunaksız olandır. Kademelere göre uygulanması gereken açık devre gerilimi Çizelge 4.3'te verilmiştir [24]. Basitleştirilmiş test düzeneği Şekil 4.8'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.3 Kademelere göre açık devre test gerilimleri

Kademe	Açık devre test gerilimi (kV)
1	0,5
2	1
3	2
4	4



Şekil 4.8 Basitleştirilmiş test devre şeması

Burada,

U : Yüksek gerilim kaynağı

R_c : Şarj direnci

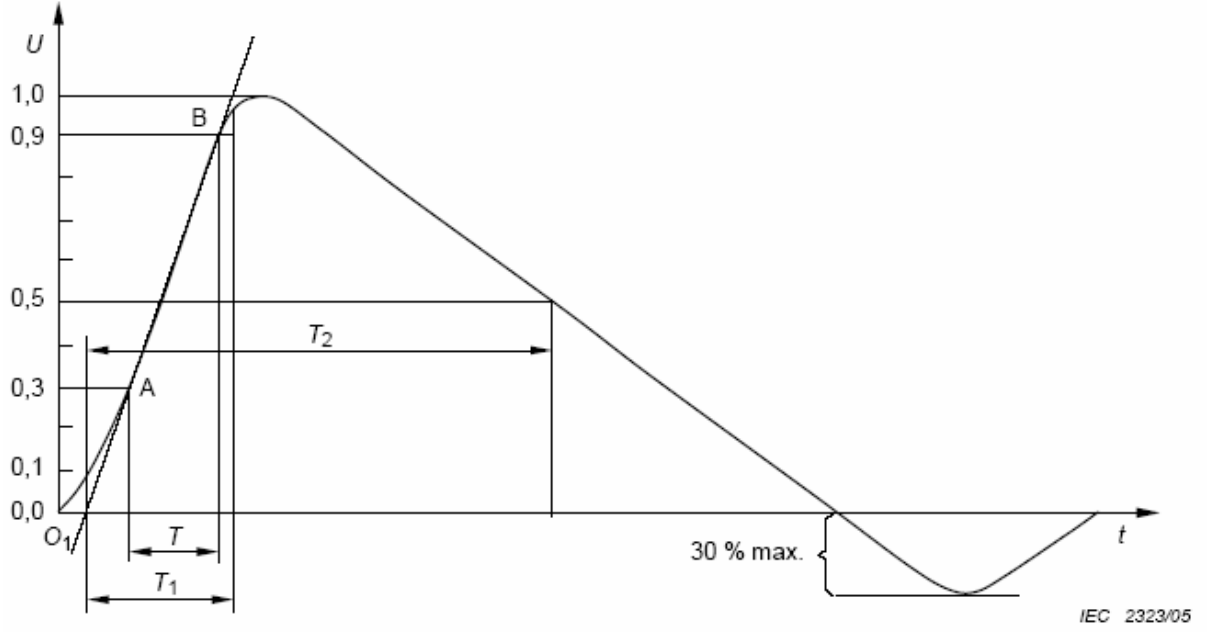
C_c : Enerji depolama kondansatörü

R_s : Darbe süresini ayarlama direnci

R_m : Empedans eşleme direnci

L_r : Yükselme zamanı şekillendirme endüktansı

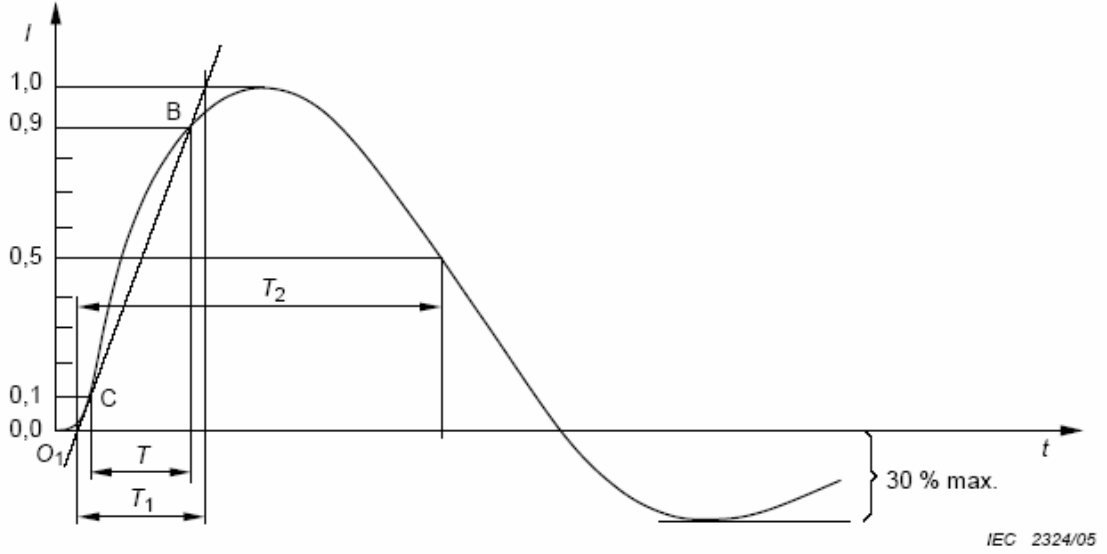
olarak tanımlanır. Test kaynağı açık devre gerilimi yükselme zamanı $1,2 \mu\text{S}$, açık devre yarı gerilimi süresi $50 \mu\text{S}$, kısa devre akımı yükselme zamanı $8 \mu\text{S}$, kısa devre yarı akımı süresi $20 \mu\text{S}$ olacak şekilde tasarlanmalıdır. Açık devre gerilimi dalga şekli Şekil 4.9'daki gibi olmalıdır. Şekil 4.8'deki sistemde R_{s1} , R_{s2} , R_m ve L_r değerleri değiştirilerek $1,2/50 \mu\text{s}$ 'lik gerilim darbesi ve $8/20 \mu\text{S}$ akım darbesi elde edilir.



Şekil 4.9 Açık devre gerilim dalga şekli ($1,2/50 \mu\text{s}$)

Bu grafikte T_2 'nin değeri $50 \mu\text{s} \pm 20\%$ dir. T_1 'in değeri ise $1,67 \times T = 1,2 \mu\text{s} \pm 30\%$ 'dir.

Kısa devre akım dalga şekli Şekil 4.10'daki gibi olmalıdır.




Şekil 4.10 Kısa devre akım dalga şekli (8/20 µs)

Bu grafikte T_2 'nin değeri $20 \mu s \pm 20 \%$ dir . T_1 'in değeri ise $1,25 T = 8 \mu s \pm 20 \%$ 'dir. Açık devre geriliminin tepe değeri ile kısa devre akımının tepe değeri arasındaki ilişki Çizelge 4.4'te açıklanmıştır.


Çizelge 4.4 Açık devre gerilim tepe değerine karşılık gelen kısa devre akımının tepe değeri

Açık Devre Tepe Gerilimi (kV) $\pm 10 \%$	Kısa Devre Tepe Akımı (kA) $\pm 10 \%$
0,5	0,25
1	0,5
2	1
4	2

Bu testlerin sonucunda ekipman tehlikeli veya güvensiz bir konuma gelmemişse testlerden geçtiği kabul edilir [23].

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE		<table border="1"> <tr> <td>EMC2-2701</td> </tr> <tr> <td>02-07</td> </tr> </table>	EMC2-2701	02-07
	EMC2-2701				
02-07					
Deney Raporu Testing Report					
Sayfa (Page): 8/87					
ANİ YÜKSELMELERE KARŞI BAĞIŞIKLIK DENEYİ Surge Immunity Test					
Deney Talimat No : (Test Method No)	EMC_DT03	İlgili standard : (Related Standard)	IEC 61000-4-5:1995/ A1:2006		
Çevre Koşulları : (Environmental Conditions)	24.7 °C, % 47 RH, 900 mbar	Tarih : (Date)	12.11.2008		
TEST ŞARTLARI VE SONUÇLARI (TEST CONDITIONS AND RESULTS)					
Testin tanımı: (Test specification)	DGC,ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinden 10 cm yükseklikteki yalıtılan üzerine yerleştirildi.Test kurulumu IEC 61000-4-5 standardına göre hazırlandı.DGC normal çalışma modunda iken,hattan hatta ve hattan toprağa surge sinyali uygulandı. (EUT has been placed on a wooden table 10 cm height from reference ground plane in the Shielded room.Test set-up is prepared related to IEC 61000-4-5. When EUT is operating in normal working condition,surge signal is applied to line to line.)				
Test seviyesi (Test level) :	<input type="checkbox"/> 0.5 kV	<input checked="" type="checkbox"/> 1 kV (Hattan hatta)	<input type="checkbox"/> 4 kV		
	<input checked="" type="checkbox"/> 2 kV (Hattan toprağa)				
Etkin çıkış empedansı (Output R _i)	<input checked="" type="checkbox"/> 2 ohm	<input checked="" type="checkbox"/> 12 ohm			
Faz açısı (Phase angle)	<input type="checkbox"/> 0°,90°,270°				
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.					

Şekil 4.11 Örnek ani yükselmelere karşı bağışıklık test raporu

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	EMC2-2701
		02-07
Deneysel Raporu Testing Report		
Sayfa (Page): 8/87		
ANİ YÜKSELMELERE KARŞI BAĞIŞIKLIK DENEYİ Surge Immunity Test		
Polarizasyon (Polarity) :	<input checked="" type="checkbox"/> Pozitif (positive)	<input type="checkbox"/> Negatif (negative)
Uygulama sayısı (Application number) :	<input checked="" type="checkbox"/> 5	
Tekrarlama oranı: (Repetition rate)	<input checked="" type="checkbox"/> 1 dakika (1 minute)	
DGC ,TS EN 61000-6-1:2003 standardı Madde 5'te belirtilen Performans Kriteri B'ye ilişkin şartları sağlamıştır. (EUT is proper for conditions of Performance Criterion B related to EN 61000-6-1:2001 Item 5.)		
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.		

Şekil 4.12 Örnek ani yükselmelere karşı bağışıklık test raporu [22]



Şekil 4.13 Ani yükselmelere karşı bağışıklık test düzeneği

4.3 Işıyan, Radyo Frekans, Elektromanyetik Alan Bağışıklık Testi

Elektronik cihazlar genellikle buldukları çevredeki elektromanyetik radyasyondan etkilenirler. Bu elektromanyetik radyasyonun kaynağı genellikle radyo alıcı vericileri, televizyon alıcı vericileri ve çeşitli endüstriyel elektromanyetik gürültü kaynaklarıdır.

Son zamanlarda 0,8 GHz ile 6 GHz arasında çalışan telsiz telefon ve diğer RF cihazların kullanımlarında ciddi bir artış olmuştur. Genellikle bu cihazlar sabit olmayan zarf modülasyonlarını kullanırlar.

Bunların dışında kaynak makineleri, güç elektroniği anahtarları, flüoresan lambalar, endüktif yük anahtarları gibi elektromanyetik enerji yayan sistemler de vardır.

Test edilecek cihaz, normal koşullarda çalışacağı çevre koşullarına göre test edilir. Elektromanyetik çevreyi belirlemek, hesaplama yöntemleriyle gerçekleştirilemez çünkü bina yapısı ve yansıma faktörleri sonuçları çok etkiler. Elektromanyetik çevreyi belirlemek için karmaşık ölçü aletleri kullanılması gerekmektedir.

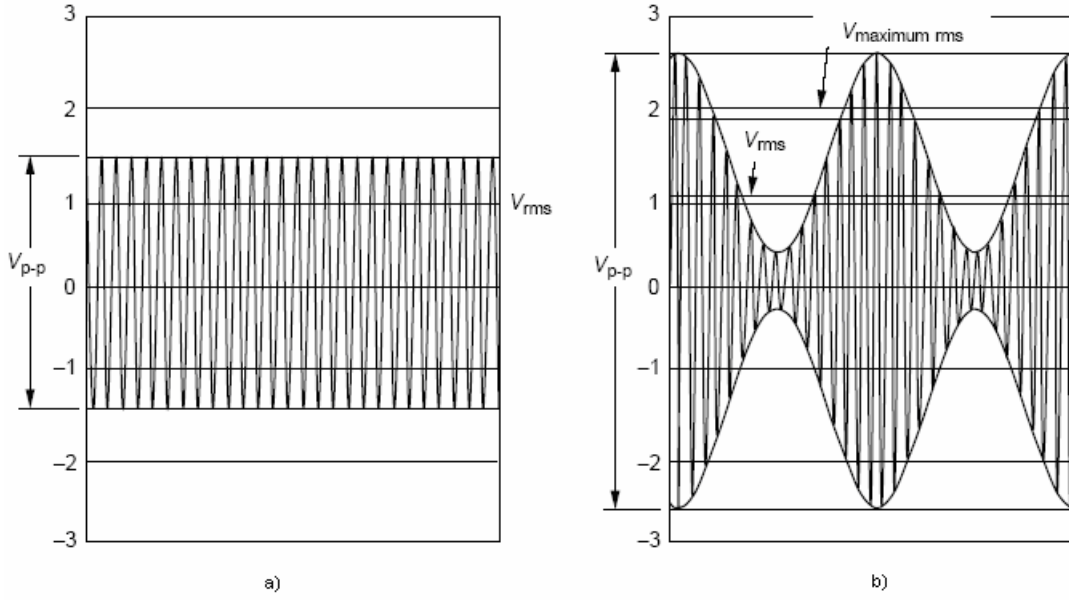
Elektriksel ve elektronik cihazların radyasyon yoluyla yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklılığı IEC 61000-4-3 standardına göre test edilir. IEC 61000-4-3 standardına göre elektromanyetik çevre kademeleri 4 adettir. Kademe 1, en az elektromanyetik gürültü olan, kademe 4 ise en fazla elektromanyetik gürültü olan çevredir. Elektromanyetik çevre kademelerine göre uygulanacak alan şiddeti Çizelge 4.5'deki gibidir .

Çizelge 4.5 Elektromanyetik ortam kademesine göre test için uygulanacak alan şiddetleri

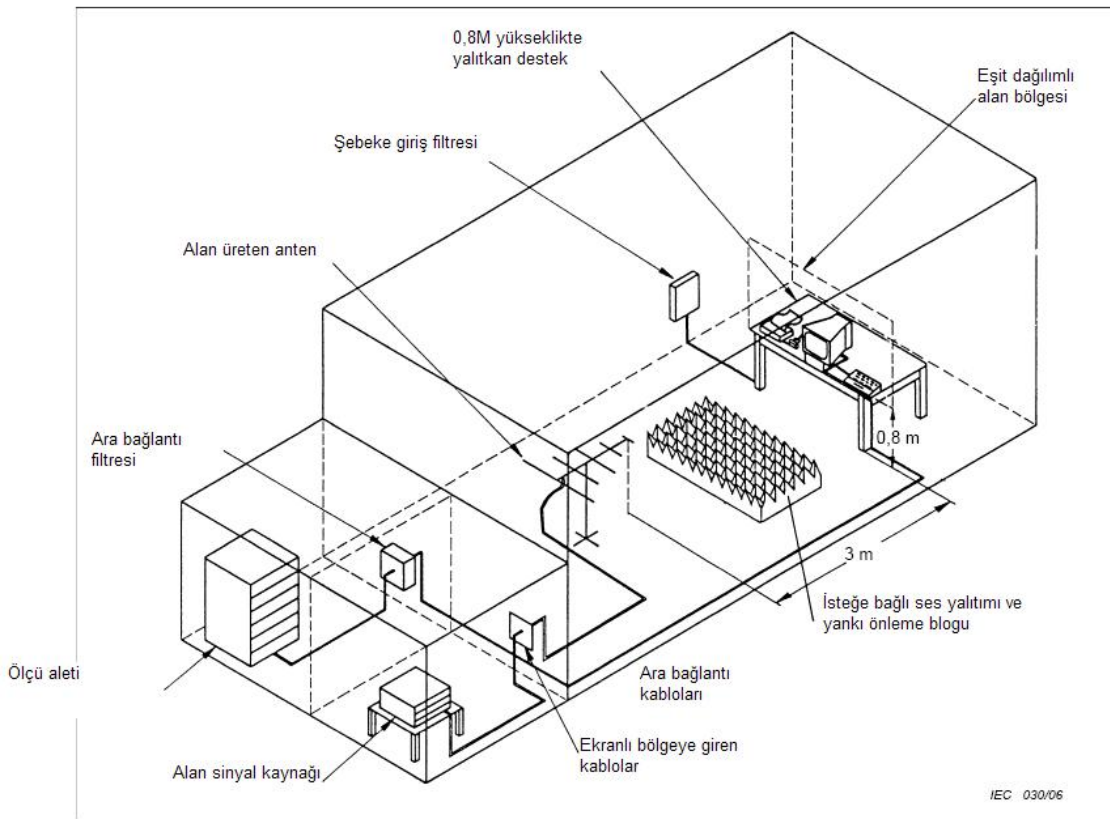
Kademe	Uygulanacak Alan şiddeti
1	1
2	3
3	10
4	30

Test esnasından uygulanacak alan şiddeti modüle edilmemiş taşıyıcı dalganın değerini verir. Test için 1 kHz'de % 80 genlik modülasyonlu sinüs dalgasıyla mevcut tehlikeler simüle edilir.

Test ortamının dış etkilerden etkilenmemesi için ekranlı olması gerekir. Ayrıca test ekipmanları da elektromanyetik gürültülere karşı hassas olduğundan bu ekranlama test edilen ürünle test ekipmanı arasında koruyucu bir bariyer görevi de üstlenir. Ayrıca ekranlı ortamlarda test ekipmanları arasındaki bağlantı kablolarının test edilecek ürüne etki etmemesi için de önlemler alınmalıdır. Şekil 4.14(a)'da efektif değeri 1 V ve tepeden tepeye gerilim 2.8 V olan modüle edilmemiş radyo frekanslı bir dalga gösterilmektedir. Şekil 4.14(b)'de yüzde 80 genlik modülasyonlu tepeden tepeye gerilim değeri 5,1 V, efektif değeri 1,15V ve en yüksek efektif değeri 1,8V olan radyo frekanslı bir sinyal gösterilmektedir. Elektriksel ve elektronik cihazların radyasyon yoluyla yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklılık test düzeneği Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklık testi için üretilen test sinyali



Şekil 4.15 Yayılan elektromanyetik enerjiye karşı bağışıklık test düzeneği

Test sonuçları imalatçının ya da testi talep edenin ya da imalatçı ve alıcı arasındaki

anlaşmanın belirlediği performans seviyesine bağlı olarak test edilen ekipmanın işlev kaybı ya da performans düşüklüğüne göre sınıflandırılmalıdır. Tavsiye edilen sınıflandırılma aşağıdaki gibidir [25].

- Üretici tarafından beyan edilen performans limitleri arasında bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelen, fonksiyon kaybı veya performans düşüklüğü


Bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelemeyen operatör yardımıyla düzelen, fonksiyon kaybı veya performans düşüklüğü

Bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelemeyen yazılımsal veya donanımsal hata veya veri kaybı.

Şekil 4.16'da örnek ışılan, radyo frekans, elektromanyetik alan bağışıklık test raporu gösterilmiştir.

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE		EMC2-2701 02-07
	Deney Raporu Testing Report		
Sayfa (Page): 10/37			
İŞIYAN,RADYO FREKANS,ELEKTROMANYETİK ALAN BAĞIŞIKLIK DENEYİ Radiated, Radio Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test			
Deney Talimat No (Test Method No)	EMC_DT05	İlgili standard (Related Standard)	TS EN 61000-4-3/ IS1:2006-01
Çevre Koşulları : (Environmental Conditions)	24.7 °C, % 42 RH, 900 mbar	Tarih : (Date)	13.11.2006
TEST ŞARTLARI VE SONUÇLARI (TEST CONDITIONS AND RESULTS)			
Testin tanımı: (Test specification)	DGC, yansımaz odada yerden 10 cm yükseklikteki ahşap masa üzerinde 3*220 V gerilimle beslendi. Anten dikey ve yatay konumdayken DGC dört yönde çevrilerek test edildi. (EuT has been supplied with 220 V in Anechoic Chamber on a wooden table that is above 10 cm height from floor. Test is made by turning EuT four dimensions on vertical and horizontal polarizations of the antenna.)		
Frekans aralığı (Frequency range) :	<input checked="" type="checkbox"/> 80 MHz – 1000 MHz		
Alan şiddeti (Field strength) :	<input checked="" type="checkbox"/> 3 V/m <input type="checkbox"/> 10 V/m		
Anten-DGC arası uzaklık (Distance of antenna – EuT):	<input checked="" type="checkbox"/> 3 m <input type="checkbox"/> 10 m		
Modülasyon (Modulation) :	<input checked="" type="checkbox"/> AM 80% Genlik (Amplitude) <input checked="" type="checkbox"/> Sinüs (sinusoidal) 1kHz		
DGC ,TS EN 61000-6-1:2003 standardı Madde 5'te belirtilen Performans Kriteri A'ya ilişkin şartları sağlamıştır. (EUT is proper for conditions of Performance Criterion A related to EN 61000-6-1:2001 Item 5.)			
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. Imzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. (This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.) (Testing reports without signature and seal are not valid.)			

Şekil 4.16 Işıyan, radyo frekans, elektromanyetik alan bağışıklık test raporu

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	EMC2-2701
		02-07
Deneysel Raporu Testing Report		
Sayfa (Page): 11/87		
İŞIYAN,RADYO FREKANS,ELEKTROMANYETİK ALAN BAĞIŞIKLIK DENEYİ Radiated, Radio Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test		
Frekans adımı (Frequency step) :	■ %1 adımlarla 2 saniye bekleme süresi (1 % with 2 s dwell time)	
Anten polarizasyonu (Polarization of antenna) :	■ Yatay (horizontal)	■ Dikey (vertical)
DGC ,TS EN 61000-6-1:2003 standardı Madde 5'te belirtilen Performans Kriteri A'ya ilişkin şartları sağlamıştır. (EUT is proper for conditions of Performance Criterion A related to EN 61000-6-1:2001 Item 5.)		
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. (This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.) (Testing reports without signature and seal are not valid.)		

Şekil 4.17 Işıyan, radyo frekans, elektromanyetik alan bağışıklık test raporu [22]



Şekil 4.18 Örnek test düzeneği

4.4 RF Alanlar Tarafından Endüklenen İletilen Bozulmalara Karşı Bağışıklık Testi

Bütün kablolar RF gerilim ve akımlar taşıdığından ve bu akım ve gerilimler elektronik sistemlere girişim yapabileceğinden, elektronik sistemlerin RF alanlar tarafından endüklenen iletim bozulmalara karşı bağışıklığı test edilmelidir.

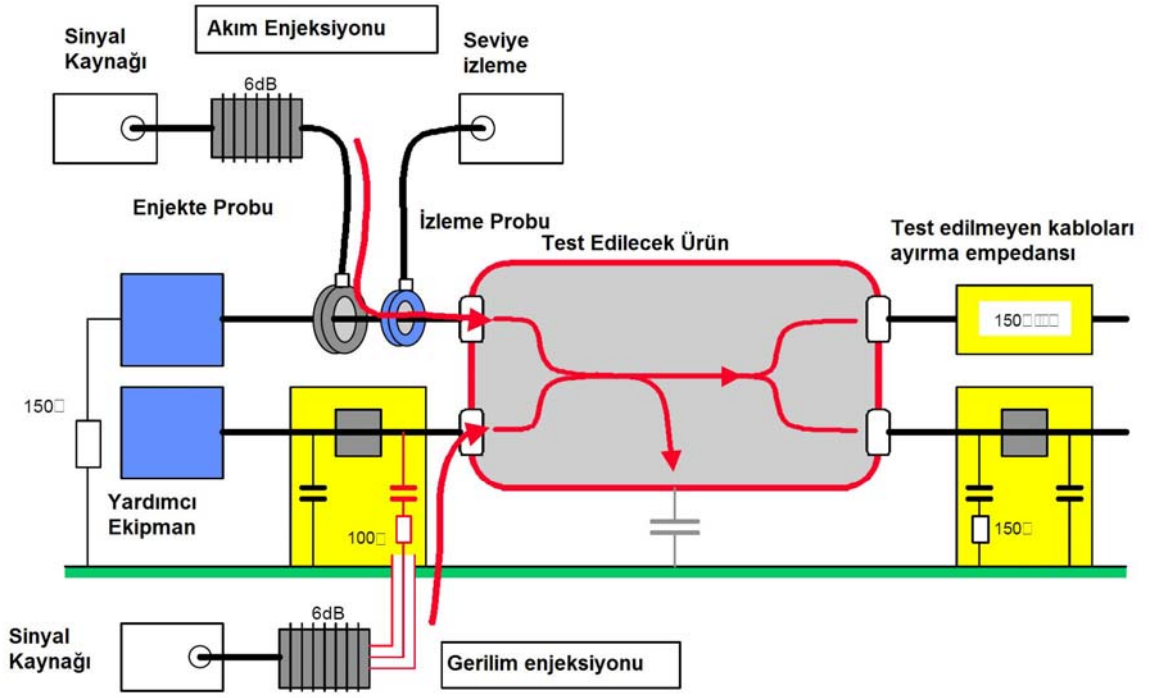
RF alanlar tarafından endüklenen iletim bozulmalara karşı bağışıklığı uluslararası anlamda IEC 61000-4-6 standardı kapsamındadır. Avrupa Birliği'ne uyarlanmış ve harmonize edilmiş versiyonu EN 61000-4-6 dır [26-28].

Dijital işlemci veya anahtarlamalı güç kaynağı gibi sistemlerdeki elektronik aktiviteler harici kablolarda RF gürültü yayılımına yol açar. Bu yayılım hem diferansiyel mod hem de ortak moddur. Bu tür elektronik sistemlere bağlanan ekipmanlar bu gürültülerden etkilenirler. Fakat EN 61000-4-6 standardı sadece ürünün çalışma ortamındaki RF gürültüleri simule eder.

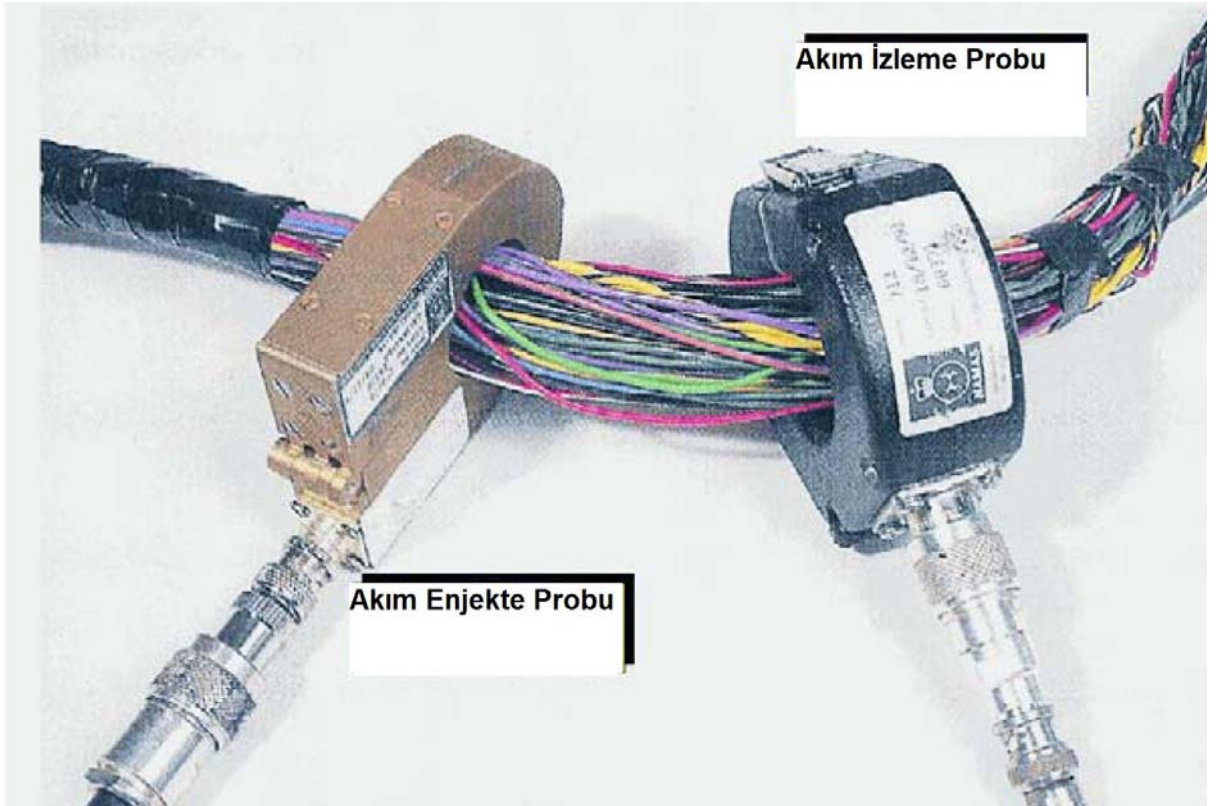
Radyo, televizyon, radar vericileri ve güçlü işlemcili sistemler (endüstriyel, bilimsel, tıbbi ekipmanlar) büyük mertebelerde elektromanyetik gürültü yayarlar. Bu yüzden test edilecek ekipmanlar EN 61000-4-6'a göre 3 seviyede test edilir.

- 1) Kademe (1 Volt) : Düşük seviyede elektromanyetik gürültü olan mekanlar. Radyo ve televizyon vericilerinden en az 1 km mesafede bulunan genel mekanlar.
- 2) Kademe (3Volt) : Orta seviyede elektromanyetik gürültü olan mekanlar. Ofis ve ticari mekanlar.
- 3) Kademe (10 Volt) : Orta seviyede elektromanyetik gürültü olan mekanlar. Endüstriyel mekanlar.

Testlerin prensibi ekipmanlara gelen kablolara gerilim ve akım stresleri uygulamaktır. Bu amaç doğrultusunda test için Şekil 4.19'daki düzenek kurulur.



Şekil 4.19 RF alanlar tarafından endüklenen iletim bozulmalarına karşı bağışık test düzeneği



Şekil 4.20 Örnek akım enjekte ve akım izleme probu

EN 61000-4-6 standardına göre akım stresi enjekte etmenin 3 metodu aşağıda verilmiştir.

Birleştirme-Ayırma Ağı (CDN)

EM- Pensesi

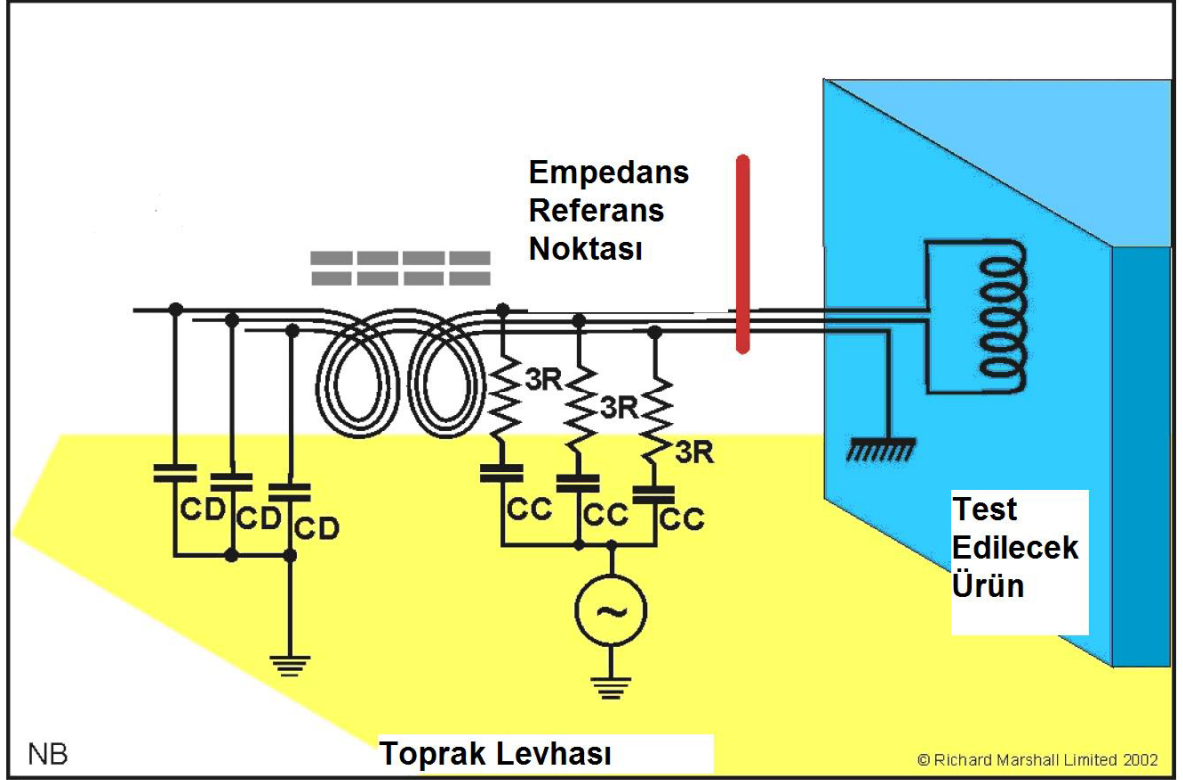
Akım Enjekte Probu

CDN : Birleştirici /ayırıcı devre bozucu sinyali doğrudan test edilecek ekipmanın kablosuna verir. Şekil 4.21’de gösterildiği gibi ayrı komponentleri sayesinde diğer sistemlere göre daha kompakt bir yapıya sahiptir.



Şekil 4.21 CDN test ekipmanı

Şekil 4.22’de CDN test ekipmanının devre şeması verilmiştir. Çok sarımlı ortak mod nüve içermektedir. Bu nüve test edilecek ürüne seri olarak bağlanmıştır. Aynı zamanda paralel bağlanmış RF filtre kapasiteleri (CD-diferansiyel kapasiteler) bulunur. Genel olarak eğer n kablo varsa, test edilecek ürün test aletine $n \times R$ ve uygun ortak mod kapasiteleriyle (CC) bağlanır . Burada R 100 ohm dur.



Şekil 4.22 CDN ekipmanı devre şeması

CDN ekipmanının avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

Yayın alan cihazlardan mükemmel derecede izole olması ve uygulanan stresteki yüksek kararlılık

Düşük güç gereksinimi ve çevreye az etki yayması

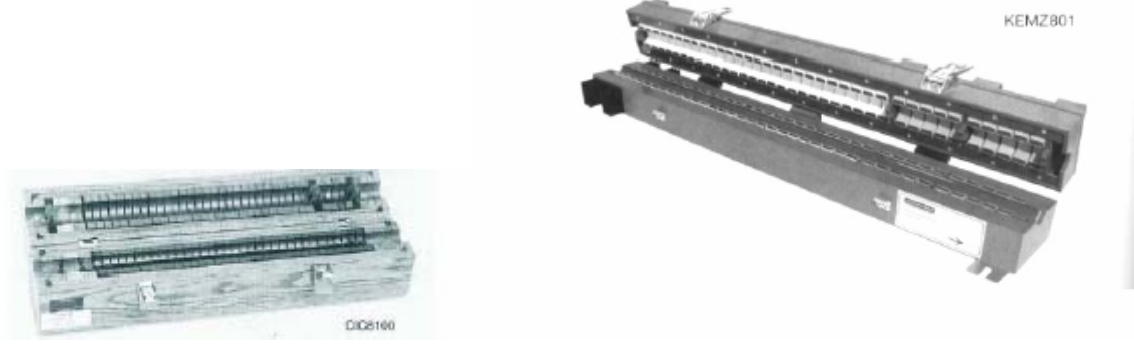
120 ohm’luk ortak mod kablo empedansı. Bu empedans 50 ohm’luk kaynak direnci ve 100 ohm’luk enjeksiyon rezistansından (dirençlerin paralel bağlanmasıyla oluşan direnç) oluşur. Bu empedans kablo rezonansını düşürüp testin tekrarlanabilirliğini artırır ve güvenilir test sonuçları verir.

Farklı sistemler için farklı CDN üniteleri gerektiği için pahalı bir çözümdür.

Dizayn edilenden daha az kablo bağlantısı yapılırsa ciddi sorunlara yol açabilir.

EM-Pensesi

EM-pensesi test edilecek kabloyu RF stres altında bırakmaya yarar. Şekil 4.23’de EM-pensesi gösterilmiştir.



Şekil 4.23 EM-Pensesi

İç müdahale gerektirmez. Kablo bağlantıları olmadığı için çeşitli ürünlerin testlerinde kullanılır.

Yayın alan cihazlardan gelen bozucu etkileri yüksek frekanslarda ayırmaya yarar.

CDN ekipmanları kadar olmasalar da güç açısından verimlidir.

- Yapısında seri ferit nüveler bulundurur ve iyi kapasitif birleşim oluşturması açısından fiziksel olarak dar bir çapa sahiptir. Bu sebepten dolayı kullanım alanını ince kablolarla sınırlıdır.
- Düşük frekanslarda bozucu etkilerden etkilenir.

Akım Enjekte Probu



Şekil 4.24 Akım enjekte probu

Akım enjekte probu test edilen kabloyu sekonder olarak kullanan bir trafo prensibiyle çalışır.

Sadece endüktif enjeksiyon yapar. Şekil 4.24'te bir akım enjekte probu gösterilmiştir.

Pratik ve iç müdahale gerektirmez.

Her türlü kalınlıktaki kablo için uygundur.

İnce yapısı sayesinde dar alanlarda test yapabilmek mümkündür.

Gürültüleri filtrelemez.

Enjekte edilen akım değişiklik gösterir. Bu yüzden kontrol edilmesi gerekir.

Güç açısından verimsizdir.

Test sonuçları imalatçının ya da testi talep edenin ya da imalatçı ve alıcı arasındaki anlaşmanın belirlediği performans seviyesine bağlı olarak test edilen ekipmanın işlev kaybı ya da performans düşüklüğü koşullarında sınıflandırılmalıdır. Tavsiye edilen sınıflandırılma aşağıdaki gibidir.

- Üretici tarafından beyan edilen performans limitleri arasında
- Bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelen, fonksiyon kaybı veya performans düşüklüğü
- Bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelemeyen operatör yardımıyla düzelen, fonksiyon kaybı veya performans düşüklüğü
- Bozucu etken bittiğinde kendiliğinden düzelemeyen yazılımsal veya donanımsal hata veya veri kaybı [26-28]

Şekil 4.25'te RF alanlar tarafından indüklenen, iletilen bozulmalara karşı bağışıklık test rapor örneği gösterilmiştir.

 ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE	ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi ve Tic.A.Ş. 1.Organize Sanayi Bölgesi Büyük Selçuklu Bulvarı No:2/A Sincan 06935 - ANKARA /TÜRKİYE		<table border="1"> <tr> <td>EMC2-2701</td> </tr> <tr> <td>02-07</td> </tr> </table>	EMC2-2701	02-07
	EMC2-2701				
02-07					
Deney Raporu Testing Report					
Sayfa (Page): 12/87					
RF ALANLAR TARAFINDAN ENDÜKLENEN İLETİLEN BOZULMALARA KARŞI BAĞIŞIKLIK DENEYİ Immunity to Conducted Disturbances, Induced by Radio Frequency Fields					
Deney Talimat No (Test Method No)	EMC_DT09	İlgili standard (Related Standard)	TS EN 61000-4-6:2005-11		
Çevre Koşulları : (Environmental Conditions)	23.6 °C, % 43 RH, 900 mbar	Tarih : (Date)	13.11.2008		
TEST ŞARTLARI VE SONUÇLARI (TEST CONDITIONS AND RESULTS)					
Testin tanımı: (Test specification) :	DGC'nin besleme uçları , CDN cihazına bağlandı.DGC, ekranlı odada referans toprak düzlem üzerinden 10 cm yükseklikteki ahşap masa üzerine yerleştirildi. Test kurulumu IEC 61000-4-6 standardına göre hazırlandı.DGC normal çalışma modunda iken iletimle bozulmalar için gerekli sinyaller uygulandı. (EUT has been placed on a wooden table 10 cm height from reference ground plane in the Shielded Room.Test set-up is prepared related to IEC 61000-4-6. When EUT is operating in normal working condition ,necessary signal is applied for conducted disturbances.)				
Alan şiddeti (Field strength) :	■ 3 V				
Frekans aralığı (Frequency range) :	■ 0,15 MHz – 80 MHz				
Modülasyon (Modulation) :	■ AM 80% Genlik (Amplitude) ■ Sinüs(sinusoidal) 1kHz				
Frekans adımı (Frequency step) :	■ %1 adımlarla 2 saniye bekleme süresi (1 % with 2 s dwell time)				
DGC , TS EN 61000-6-1:2003 standardı Madde 5'te belirtilen Performans Kriteri A'ya ilişkin şartları sağlamıştır. (EUT is proper for conditions of Performance Criterion A related to EN 61000-6-1:2001 Item 5.)					
Bu rapor laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. This report shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Testing reports without signature and seal are not valid.					

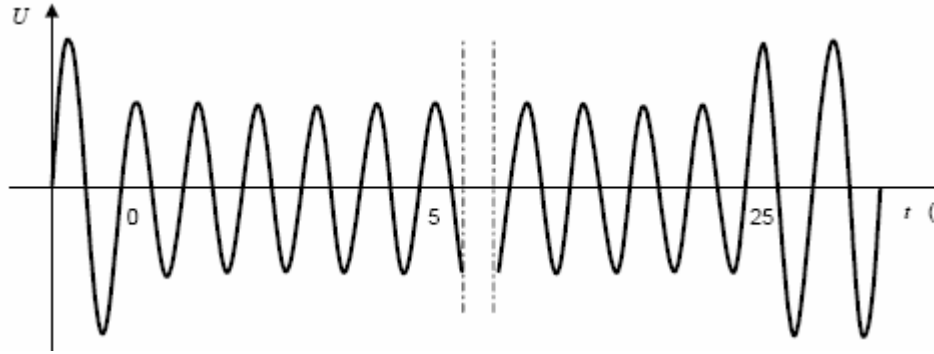
TRF1_R01-32

Şekil 4.25 RF alanlar ile indüklenen, iletilen bozulmalara karşı bağışıklık test raporu [22]

4.5 Gerilim Çukurları, Kısa Kesintiler ve Gerilim Değişmelerine Karşı Bağışıklık

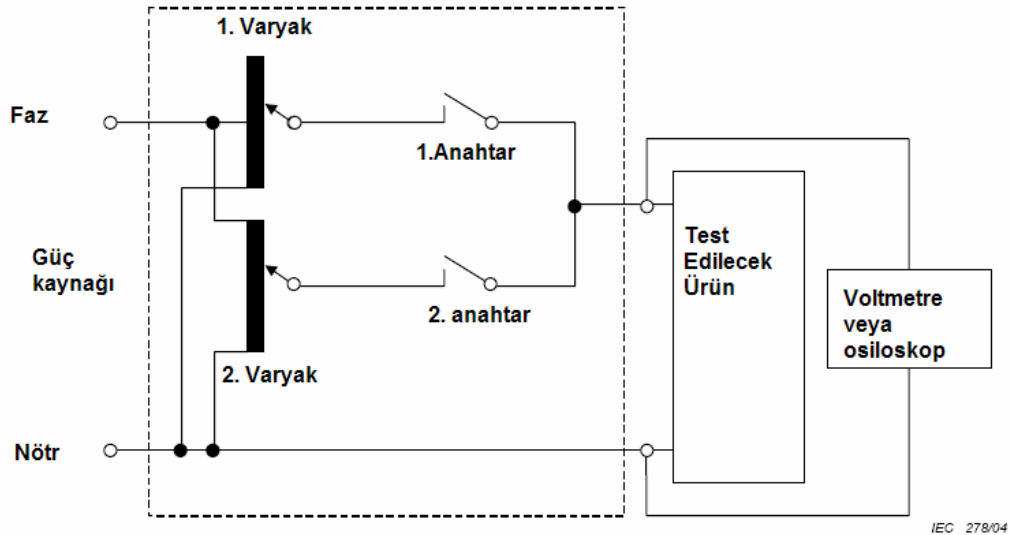
Gerilim çukurları, kısa kesintiler ve gerilim değişmelerine karşı bağışıklık için hazırlanmış Avrupa Standardı EN 61000-11-4'tür. Gerilim çukurları ve kısa kesintiler şebekedeki kısa devreler veya yüklerdeki büyük değişikliklerden meydana gelir .

Test esnasında ürün beyan edilen geriliminde çalışırken herhangi bir faz açısında durdurulur ve beyan geriliminin % 0'ı, % 40'ı, % 70'i ve daha sonrada % 80'i uygulanır. 50 Hz'lik sistemlerde ürün 25 periyot, 60 Hz'lik ürünlerde 30 periyot % 70'lik beyan gerilimiyle çalıştırılır. Şekil 4.26'te sinüsoidal bir kaynağın beyan gerilimi ve % 70 oranındaki beyan gerilimi gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Beyan gerilimi ve %70 oranındaki beyan gerilimi

Gerilim çukurları, kısa kesintiler ve gerilim değişmelerine karşı bağımsızlık testi için Şekil 4.27'deki test düzeneği kurulur [29].



Şekil 4.27 Gerilim çukurları, kısa kesinti ve gerilim değişmelerine karşı test düzeneği

4.6 Gerilim Dalgalanmaları ve Kırpışma

Temel olarak elektrik enerjisinin tüketicilere sabit frekans ve sabit genlikli tam sinüsoidal gerilim şeklinde kesintisiz olarak dağıtılması esas amaçtır. Bu amacın gerçekleştirilmemesi, tüketiciler açısından elektrik kullanım hoşnutsuzluğu ve elektrik arızaları ile beraber ekonomik açıdan büyük rakamlarla ifade edilen ürün ve üretim kayıplarına, üreticiler açısından ise tüketici şikayetleri ile beraber arıza giderme çalışmaları, yük ve maddi kayıplara yol açar. Enerji kalitesi bozuklukları kısa süreli gerilim değişimleri, uzun süreli gerilim değişimleri, geçici rejimler, gerilim dengesizliği, dalga şekli bozulması (harmonik, gürültü vb), şebeke frekans değişimleri ve gerilim dalgalanmaları şeklinde ana başlıklar altında kategorize edilebilir. Önemli bir güç kalitesi bozukluğu olarak karşımıza çıkan ve genelde tüketicilerin en çok karşılaştıkları gerilim dalgalanmalarının en tipik belirtisi özellikle ışık kaynaklarında görülen gerilim kırpışmasıdır.

Avrupa Birliği EN 61000-3-3 Standardı'na göre gerilim dalgalanması, genel çerçevede efektif gerilimin sürekli değişimi veya bir dizi gerilim değişmesi olarak ifade edilmiştir. Yine aynı standartta gerilim kırpışması da parlaklık ve spektral dağılımının zamanla dalgalandığı bir ışık uyarımının göz duyusu üzerindeki kararsız etkisi olarak tanımlanmıştır. Gerilim kırpışması, kısa süreli (dakika mertebesinde) ve uzun süreli (birkaç saat mertebesinde) olmak üzere ikiye ayrılır. Gerilim kırpışmasının karakteristiği, yükün tipine ve boyutuna göre değişiklik gösterir. Yapılan araştırmalarda insan gözünün, 0.5 Hz ile 25 Hz frekans bandındaki gerilim kırpışmalarına hassasiyeti tespit edilmiştir. Bu nedenle uygulamada gerilim kırpışması veya sadece kırpışma, 0.5 ile 25 Hz arasındaki gerilim dalgalanmalarının, elektrik ışık kaynağında (genelde aydınlatma amaçlı olan ışık kaynaklarında) oluşturduğu gözle hissedilebilen değişimler olarak adlandırılmaktadır.

Gerilim dalgalanmaları ve kırpışma, motor ve generatörlerin işletim performansını bozar, elektronik cihazlarının ömürlerini azaltır ve yanlış çalışmalarına neden olur, bilgisayar dünyasında işlem hatalarına ve bellek kayıplarına yol açar, ışık kaynaklarının etkinliklerini (en tipik olanı akkor telli lambalarda yaptığı kırpışma etkisidir) bozar.

Gerilim kırpışmasının davranışı ya stokastik ya da salınımsal periyodik olabilir. Kısa bir zaman periyodu için gerilim kırpışması, modüle edilen işaretin keyfi rasgele frekans ve genlikli sinüs dalgası olduğu varsayımı ile yaklaşık olarak genlik modülasyonlu dalga olarak modellenebilir. Buna göre kısa süreli bir zaman aralığında gerilim kırpışması

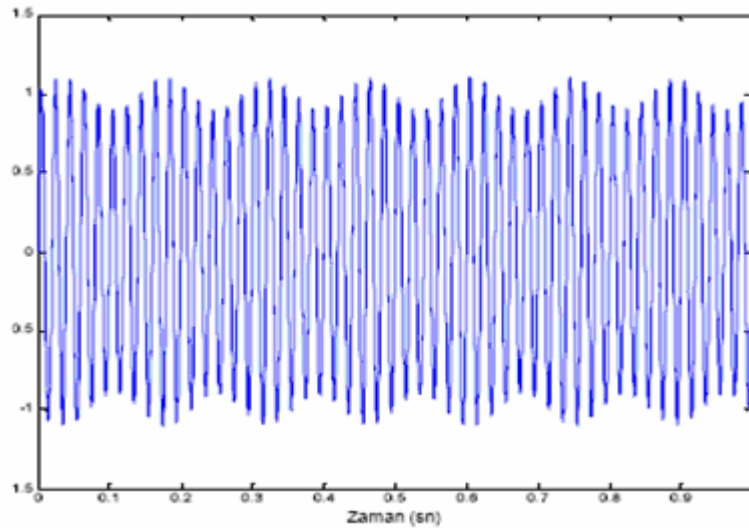
$$v(t) = \left\{ A_0 + \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_{fk} t + \varphi_k) \right\} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada A temel bileşen gerilimin genliğini, temel bileşen gerilim frekansını, φ_0 temel bileşen gerilim faz açısını, A_k k. frekanstaki gerilim kırpışma genliğini, φ_k k. frekanstaki gerilim kırpışma faz açısını, m ise temel bileşen gerilim dalga şekline dahil edilecek kırpışma bileşen sayısını gösterir.

Örnek olarak şebeke frekansının 50 Hz kabulü ile şebeke ve kırpışma gerilim genliklerinin per unit cinsinden verildiği değişik frekanslardaki aşağıdaki gerilim kırpışma sinyal modellerini düşünebiliriz.

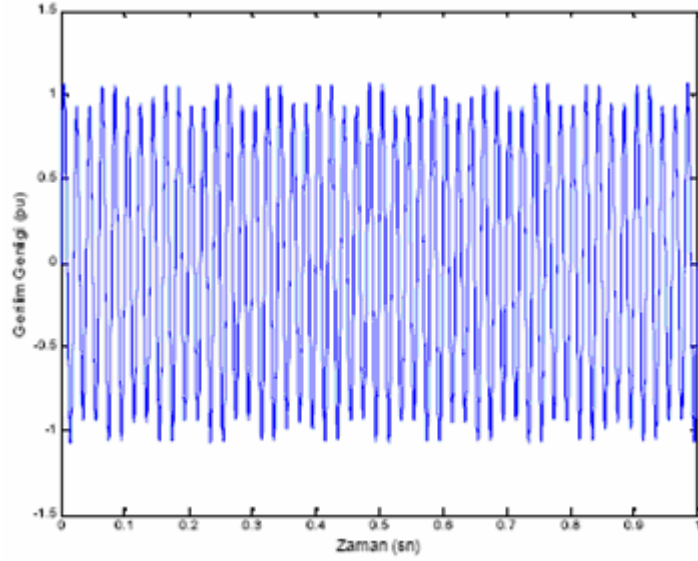
Tek terimli sinüsoidal zarflı gerilim kırpışma modeli:

$$v_1(t) = [1 + 0.2 \sin(2\pi 7t)] \sin(2\pi 50t) \quad (4.2)$$



Şekil 4.28 Sinüsoidal modülasyonlu kırpışma örneği

$$v_3(t) = \left\{ 0.95 + (0.05) \left[\frac{4}{\pi} \sin(2\pi\omega t) - \frac{4}{3\pi} \sin(2\pi 3t) + \frac{4}{5\pi} \sin(2\pi 5t) - \frac{4}{7\pi} \sin(2\pi 7t) \right] \right\} \sin(2\pi 50t) \quad (4.3)$$



Şekil 4.29 Dört terime kadar fourier serisine açılmış dikdörtgen zarflı gerilim kırışma modeli

Bir dalga şeklindeki harmonikler ile ara ve alt harmonikler, bir frekans aralığında yarı sürekli haldeki dalga şeklinin spektral bileşenleri cinsinden tanımlanır. Çizelge 4.6’da f ilgili f temel şebeke frekansını göstermek üzere bu durum özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 Frekansa göre harmonik tanımları

Terim	Açıklama
Harmonik	$f = hf_1$, $h > 0$ ve bir tamsayı
DC	$f = 0$, $f = hf_1$, $h = 0$
Ara harmonik	$f \neq hf_1$, $h > 0$ ve tamsayı değil
Alt harmonik	$f > 0$ ve $f < f_1$

Ara harmonikler, temel frekansın tam katı olmayan yani bilinen anlamda harmonik olmayan kararlı hal akım ve gerilimlerdir. Ara harmonikleri üreten başlıca kaynaklar, frekans dönüştürücüler, ark kaynağı makinaları ve a.a. ark fırınlarıdır. Diğer kaynaklar ise indüksiyon motorları (sargılı rotor ve senkron altı dönüştürücü kaskatlı), indüksiyon fırınları, integral çevrimli kontrol (ısıtma uygulamalarında) ve düşük frekanslı enerji taşıyıcı hatlar olarak sıralanabilir. Temel frekanstan daha büyük ara harmonik frekanslı bileşenler, harmonik akımların neden olduğu ısınma problemlerine benzer etkiler oluşturur. Bu ısınma etkisine ek

olarak CRT ve lamba kırışması, seri ayarlı filtrelerde aşırı yüklenme, iletişim girişimleri ve akım transformatörü doyması gibi etkileri de tespit edilmiştir.

En önemli etkilerinden biri de ışık kırışması üzerinde yaptığı görsel etkidir. Temel gerilim bileşeni üzerindeki kararlı hal tek bileşenli ara harmonik gerilim modülasyonu:

$$v_3(t) = A \sin(2\pi f_1 t) + B \sin(2\pi f_2 t) + C \sin(2\pi f_3 t) \quad (4.4)$$

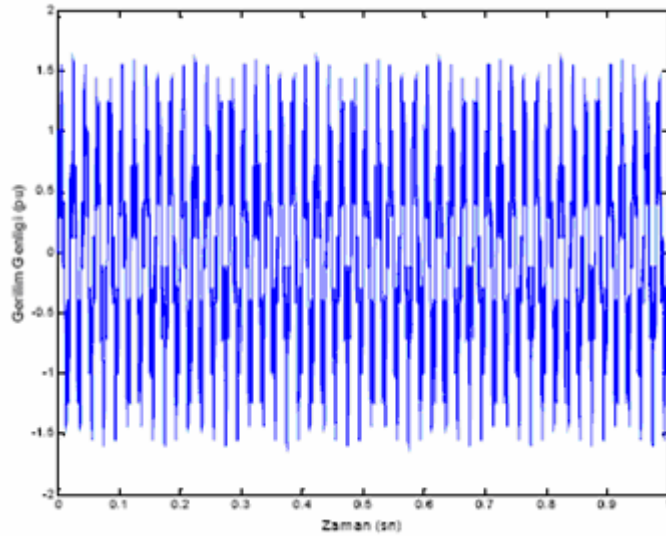
şeklinde ifade edilebilir. Burada A temel bileşen gerilimin genliğini, f temel bileşen frekansını, B ve C ara harmonik bileşen gerilim genliklerini, f ve f ise ara harmonik frekanslarını gösterir. Gerilim genliğindeki en büyük gerilim değişimi, ara harmonik bileşenin genliğine eşittir.

Yapılan çalışmalar en az iki ara harmonik bileşenin görsel kırışma oluşturabileceğini göstermiştir [4]. İki bileşen durumunda efektif kaynak geriliminde f3-f2 frekansında bir modülasyon görülür.

Örnek olarak şebeke gerilim genliği 1 p.u. ve frekansı 50 Hz olarak 0.2 p.u. genlikli, 182 ve 184 Hz frekanslarındaki ara harmonik bileşenli gerilim dalga şekli :

$$v_3(t) = \sin(2\pi f_1 t) + 0.2 * \sin(2\pi 182t) + 0.2 * \sin(2\pi 184t) \quad (4.5)$$

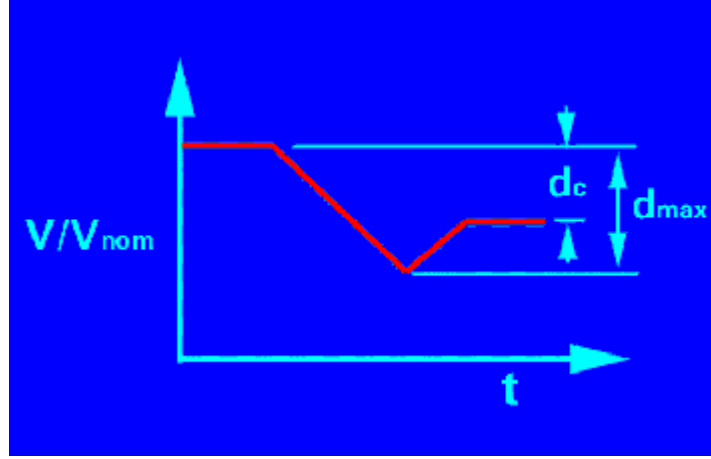
şeklinde gösterilebilir. Şekil 4.30'da denklem 3.5 ile verilen iki ara harmonik bileşen içeren gerilim dalga şekli verilmiştir [30].



Şekil 4.30 Ara harmonik modülasyonlu kırışma örneği

Kırpışma Testi

Kırpışma testi için gerilimdeki maksimum değişme (d_{max}), kararlı haldeki gerilim değişimi (d_c), d ise ilgili gerilim değişimidir. Kararlı haldeki gerilim değişimi (d_c) her hangi iki kararlı haldeki gerilim değeri arasındaki farktır. Maksimum değişim (d_{max}) voltaj değişimindeki maksimum ve minimum noktanın farkıdır. Şekil 4.31’de kırpışma grafiği verilmiştir. V_{RMS} değeri göstermektedir.

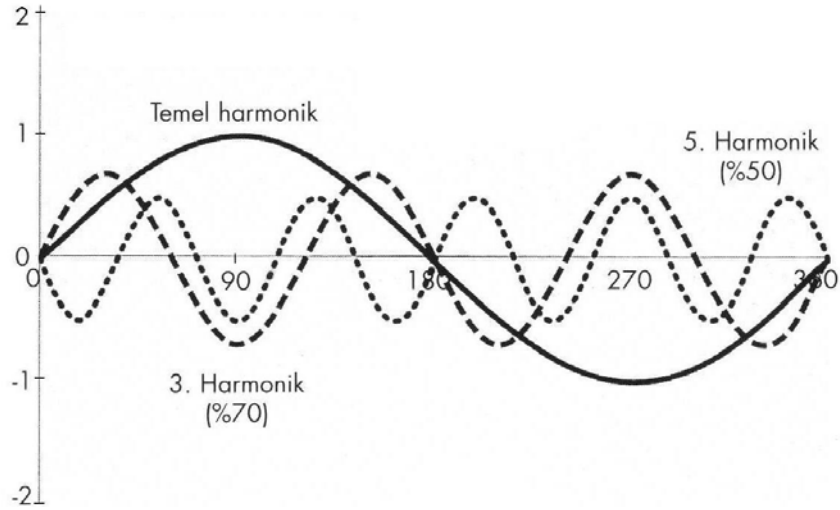


Şekil 4.31 Kırpışma deneyi grafiği

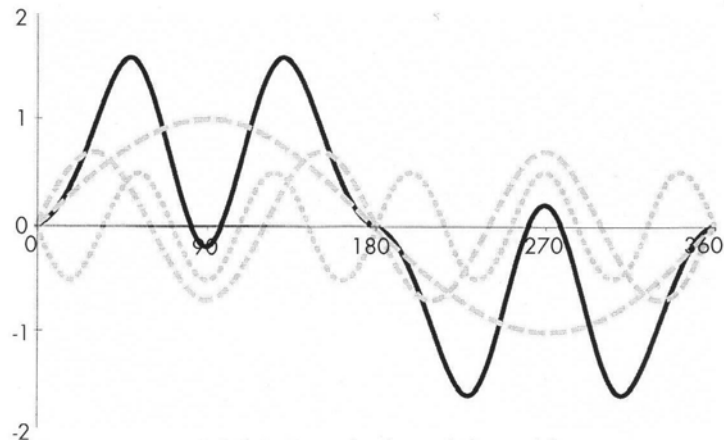
Gerilimin efektif değeri her yarı periyotta incelenir (50 Hz için 10 ms). Böylelikle zamana bağlı gerilim bilgisi elde edilir. EN 61000-3-3 Standardı’na göre kararlı haldeki gerilim değişimi d_c %3’ü geçmemelidir, maksimum değişim d_{max} %4’ü geçmemelidir [31-33].

4.7 Harmonikler

Harmonik frekanslar, şebeke frekansının katları şeklindedir. Örneğin, 50 Hz, temel harmonik için üçüncü harmonik 150 Hz, beşinci harmonik ise 250 Hz’dir. Şekil 4.32’de temel bir sinüs eğrisi üçüncü ve beşinci harmoniklerle birlikte gösterilmektedir. Şekil 4.33’de, % 70 üçüncü harmonik ve % 50 beşinci harmoniklerin ilave edildiği bir şebeke görülmektedir. Dikkat edilirse uygulamalarda karşılaşılan bozulmuş akım dalga şekilleri bu gösterilenden çok daha karmaşıktır ve daha çok sayıda harmonikler ile daha karmaşık faz ilişkileri içerirler.



Şekil 4.32 Temel bileşen ile 3. ve 5. harmonikler



Şekil 4.33 Bozuk akım dalga şekilleri

Açıkça görüldüğü gibi bu dalga şekli bir sinüs eğrisi değildir ve dolayısıyla etkin değer kalibreli multimetreler gibi normal ölçü aletleri ile yapılan ve ortalama değeri gösteren ölçümler yanlış olmaktadır. Her bir periyotta iki değil altı adet sıfır noktası bulunur, bu nedenle referans olarak sıfır noktasını alan cihazlarla yapılan ölçümler hatalı sonuçlar verecektir. Dalga şekli, şebeke frekansından farklı frekanslar içermektedir ve değerlendirmelerin de buna göre yapılması gerekir.

Harmonikler akım harmonikleri olarak oluşur ve olumsuzlukların çoğu da bu akımların etkisi ile ortaya çıkmaktadır; bu nedenle, enerji tesislerinde harmonikler söz konusu edildiğinde akım harmonikleri anlaşılmalıdır. Akım harmonikleri spektrumu hakkında bilgi edinmeden

doğru sonuçlara ulaşmak mümkün değildir, buna rağmen toplam harmonik bozulmalarını (Total Harmonic Distortion-THD) gösteren rakamlar hala kullanılmaya devam edilmektedir. Bir dağıtım sistemine yayılan harmonik akımlar, bu akımların taşınması ile alakası olmayan alt devrelerde gerilim harmonikleri olarak taşınır. Ölçülen gerilim ve akım değerlerinin ayrı ayrı net bir şekilde tanımlanarak kullanılması son derece önemlidir. Alışlagelen şekilde; akım sapması ölçümleri 'I' sembolü ile (% 35 THDI gibi), gerilim sapması ölçümleri de 'V' sembolü ile (% 4 THDV gibi) gösterilir.

Elektrik sistemlerinde harmonik akımların ortaya çıkması yıllar öncesine dayanır. Harmonikler ilk defa, demiryollarının elektrikli donanımı sırasında alternatif akımın doğru akıma çevriminde kullanılan cıvalı ark redresörlerinde ve değişken hızlı DA sürücülerinde görülmüştür. Yakın zamanlarda, harmonik üreten ekipmanların tiplerinde ve sayılarında hızlı artış olmuştur ve artış devam edecektir.

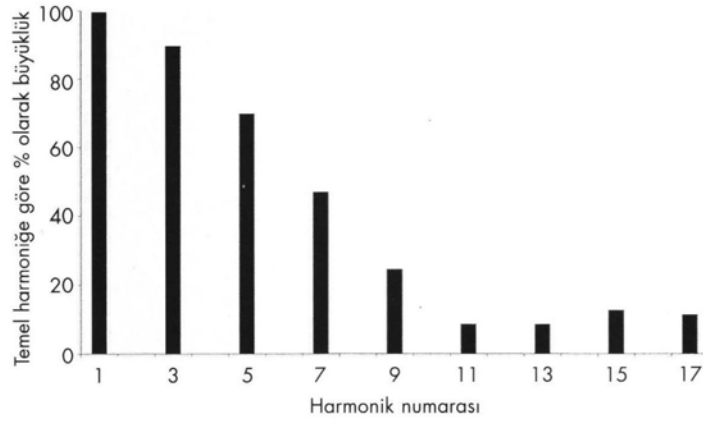
Bu bölümde, harmoniklerin neden ve nasıl oluştuğları, elektrik sistem ve donanımlarını nasıl etkiledikleri ve en düşük değerlere indirilebilecekleri ve EMC için harmonik testleri açıklanmaktadır.

4.7.1 Harmonikleri Oluşturan Donanım Tipleri

Doğrusal olmayan yüklerin hepsi harmonik yük akımları oluşturur. Bu kapsama yükler aşağıda verilmiştir.

- Anahtarlamaalı güç kaynakları
- Elektronik flüoresan aydınlatma balastları
- Küçük tip UPS üniteleri
- Değişken hızlı sürücüler
- Büyük güçteki UPS üniteleri

Anahtarlamaalı güç kaynakları modern elektronik ünitelerin çoğunda kullanılmaktadır. Modern elektronik ünitelerinde, eski ünitelerden farklı olarak, geleneksel düşürücü transformatör ve redresör yerine bir kapasite bataryasını doldurarak istenilen çıkış gerilim ve akım değerlerine uygun gücü üreten bir doğrultucu bulunmaktadır. Boyut, maliyet ve ağırlıkların önemli ölçüde azaltılması yanında hemen hemen istenilen her formda imal edilebilmeleri bu ünitelerin avantajları olarak ifade edilebilir.



Şekil 4.34 Tipik bir PC’de harmonik spektrumu

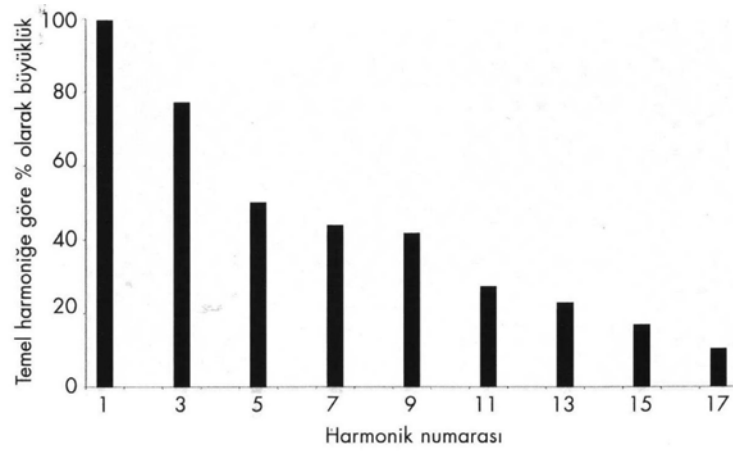
Bu sistemlerin dezavantajı ise; elektrik kaynağından sürekli akım çekmek yerine, darbeler halinde büyük miktarlarda yüksek frekans bileşenli, üçüncü ve beşinci harmonikler içeren akım çekilmesidir (Şekil 4.32). Hatlarda ve nötr toprak bağlantılarındaki yüksek frekans bileşenlerini süzmek üzere besleme girişinde basit bir filtre kullanılmaktadır. Ancak, girişe geri dönen harmonik akımlara karşı bu filtrenin etkinliği söz konusu olmaz.

Yakın zamanlarda, büyük güç kullanılan tesislerde “düzeltilmiş güç faktörü” konusuna gittikçe artan bir ilgi gösterilmektedir. Yaklaşımın amacı; besleme yüküne direnç niteliği kazandırarak giriş akımını, sinüs eğrisi şekline ve uygulanan gerilim ile aynı faza getirmektir. Bu yaklaşım, girişe yerleştirilen bir filtre yardımı ile sinüs eğrisine yakın bir şekilde ve yüksek frekanslı üçgen dalga şeklinde akım elde edilerek gerçekleştirilmektedir. Bir hayli karmaşık olması nedeniyle bu yaklaşım, endüstriyel ve ticari tesislerin büyük bölümünde kullanılan nispeten ucuz ünitelere henüz uygulanamamaktadır. Bu teknolojinin geniş kapsamlı uygulanmasından doğabilecek sorunların öğrenilmesi zaman alacaktır.

Flüoresan Aydınlatma Balastları

Elektronik aydınlatma balastları, verimliliklerinin daha yüksek olduğu düşünülerek son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Elektronik balastların verimliliği iyi kaliteli manyetik balasttan çok az daha yüksektir. Aslında, flüoresan lambaların verimliliği kullanılan elektronik balasttan değil, yüksek frekanstan kaynaklanmaktadır. Lambadaki akımın geri besleme kontrolü nedeniyle ışık seviyesinin uzun süre devam etmesi önemli bir avantaj gibi görülmekle birlikte bu uygulama lambanın toplam kullanım verimliliğini artırmaz, tam tersine azaltır. Akım harmoniklerinin oluşması bu lambaların en büyük dezavantajıdır. “Güç-faktörü düzeltilmiş” olarak nitelenen tipler harmonik problemleri

azaltılmış güçlü lambalardır, fakat fiyatları daha yüksektir. Küçük tip lambalar ise genel olarak “düzeltilmiş” özelliğine sahip değildirlir.

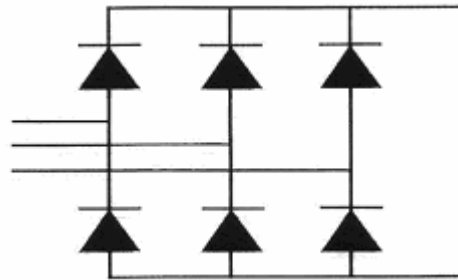


Şekil 4.35 Tipik bir CFL harmonik spektrumu

Tungsten filamanlı lambalar yerine kullanılmak üzere piyasada satılmakta olan kompakt flüoresan lambalarda (CFL), 8 mm çaplı bükülmüş bir flüoresan tüpünü kontrol eden bağlantı kutusunun içine yerleştirilmiş minyatür bir balast bulunmaktadır. Örneğin, 60 W bir filaman lambanın yerine kullanılan 11 W bir CFL lambanın ömrü yaklaşık 8000 saattir. Böyle bir lambanın tipik harmonik akım spektrumu şekil 4.35’de gösterilmektedir. Bu lambaların meskenlerde ve özellikle otellerde yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte çok ciddi harmonik problemleri de ortaya çıkmaya başlamıştır.

Üç Fazlı Yükler

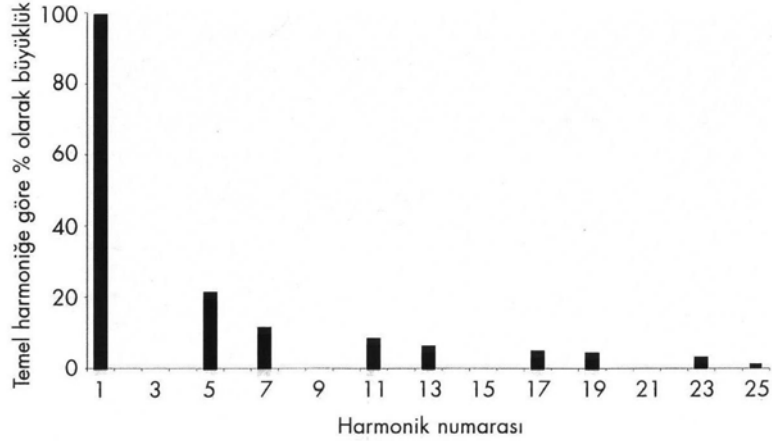
Değişken hız kontrolörü, UPS üniteleri ve doğru akım dönüştürücülerinde genellikle üç-faz köprü sistemi esas alınır ve doğru akım çıkışında, her bir yarı periyotta (her fazın yarı devir sürecinde) altı darbe olduğundan bu sistemler “altı-darbeleri köprü” olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.36 Üç fazlı veya altı darbeleri köprü

Altı darbeli köprü, altının katlarının her birinde bir fazla ve bir eksik olmak üzere $6n \pm 1$ harmonikler üretir. Teorik olarak, her bir harmoniğin genliği harmonik numarasının tersidir; örneğin, beşinci harmonik % 20, on birinci harmonik % 9 v.b. olacaktır.

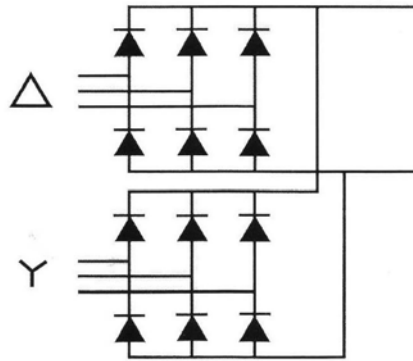
Tipik bir altı darbeli köprü spektrumu Şekil 4.37'de görülmektedir.



Şekil 4.37 Tipik bir 6 darbeli köprü harmonik spektrumu

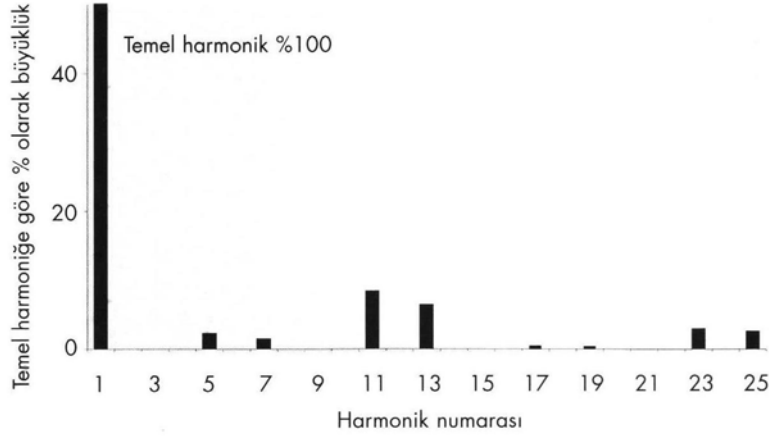
Harmoniklerin genliği on iki-darbeli bir köprü kullanılarak önemli ölçüde azaltılabilir. Bu, aralarında 30 derece faz farkı olan bir yıldız ve bir üçgen transformatör sargısından beslenen iki adet altı-faz köprü demektir.

$6n$ harmoniklerin ortadan kaldırılması teorik bazda mümkün olmakla birlikte, uygulamada harmoniklerin önlenmesi veya hangi ölçüde önlenebileceği, dönüştürücülerin tipik olarak 20 ile 50 arasında bir faktör kullanılarak uygun duruma getirilmesine bağlı olmaktadır. $12n$ harmoniklerde değişiklik olmaz. Bu şekilde, toplam harmonik akım azaltılmakta ve aynı zamanda kalan yüksek harmonikler de kolaylıkla filtre edilebilmektedir.



Şekil 4.38 On iki darbeli köprü

Donanım imalatçıları, örneğin filtre veya şok bobinleri kullanarak harmonik akım şiddetini azaltma yönünde çalışmalar yapmaktadırlar. Şekil 4.39’de tipik bir on iki darbeli köprü harmonik spektrumu gösterilmiştir.

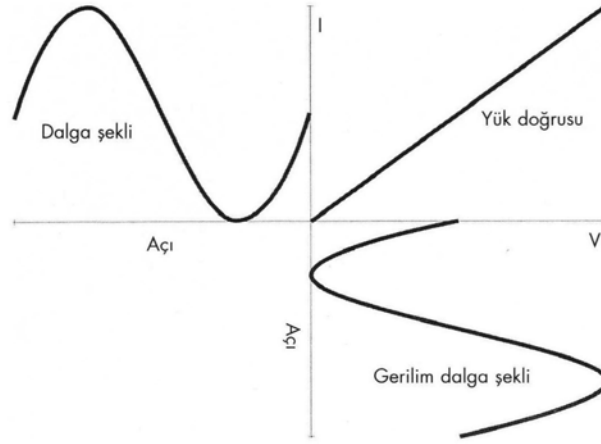


Şekil 4.39 Tipik bir on iki darbeli köprü harmonik spektrumu

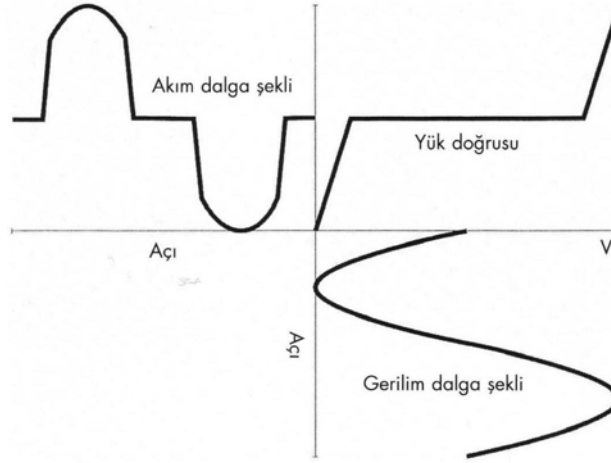
Daha ileri aşamada, faz farkı 15 derece olan paralel bağlı 12 darbeli iki ünite ile darbe sayısı 24’e yükseltilerek, toplam harmonik akım yaklaşık % 4.5’e kadar düşürülebilir. Oldukça karmaşık olan bu kontrol sisteminin maliyeti de yüksek olacağından ancak zorunlu hallerde kullanılması söz konusudur.

Harmoniklerin Oluşumu

İdeal temiz bir sistemde akım ve gerilim dalgaları sinüs eğrisi şeklindedir. Uygulamada, tatbik edilen gerilim ile devredeki akım ilişkisi doğrusal olmadığı zaman sinüs eğrisi şekline uymayan akımlar oluşur. Sadece doğrusal devre elemanlarının (direnç, endüktans ve kapasite) yer aldığı basit bir devreden geçen akım ile tatbik edilen gerilim (belirli bir frekansta) arasında belli bir oran vardır. Dolayısıyla, tatbik edilen gerilim sinüs eğrisi şeklinde ise, Şekil 4.40’da gösterildiği gibi, devreden sinüs eğrisi şeklinde bir akım geçecektir. Tatbik edilen gerilim ile meydana gelen akım arasındaki ilişki yük-doğrusu şeklindedir ve Şekil 4.40’da doğrusal yük olarak görülmektedir. Görülebileceği gibi reaktif eleman içeren bir devrede gerilim ve akım dalga şekilleri arasında bir faz kayması olur, güç faktörü düşer, fakat devre doğrusal olarak kalır.



Şekil 4.40 Doğrusal bir yükte akım dalga şekli



Şekil 4.41 Doğrusal olmayan yükte akım dalga şekli

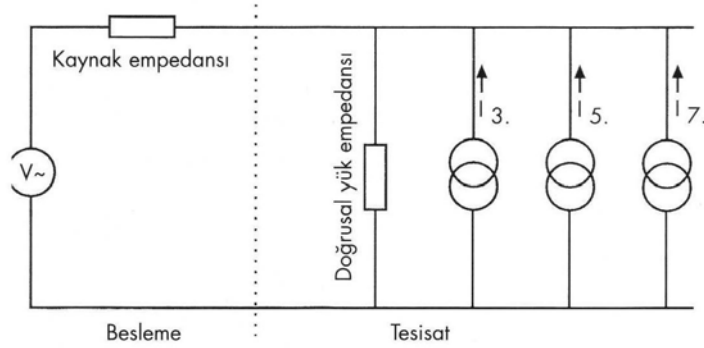
Şekil 4.41’de, tipik bir anahtarlabilir güç kaynağının giriş aşamasına benzer şekilde, yükün basit bir tam dalga redresör ve kapasitör olduğu durum görülmektedir. Bu durumda sadece, tatbik edilen gerilim, kapasite geriliminin üzerine çıktığı zaman devreden akım geçer, diğer bir ifade ile şekilde görüldüğü gibi gerilim, sinüs eğrisinin tepe noktasına yakın olduğunda akım geçmeye başlayacaktır.

Uygulamada yük doğrusu (ve bu durumda akım dalga şekli) örnekte gösterilenden çok daha karmaşık olup simetrisizlik, histerezis ve yüke bağlı olarak kırılma noktalarında ve eğimlerde değişiklikler olabilir.

Herhangi bir periyodik dalga şekli, harmonik frekanslarda bir miktar sinüs eğrileri ile birlikte temel harmonik sinüs eğrisi şekline dönüştürülebilir. Böylece; Şekil 4.41’de görülen

bozulmuş akım dalga şekli, temel harmonik yanında belli oranda ikinci harmonik artı belli oranda üçüncü harmonik (otuzuncu harmoniğe kadar) ile birlikte gösterilebilir. Pozitif ve negatif yarı periyotlarda aynı şekil ve büyüklükte olan simetrik dalga şekillerinde tüm çift sayılı harmonikler sıfırdır. Yarım dalgalı redresörlerin yaygın olarak kullanıldığı dönemlerde sık karşılaşılan çift harmoniklere günümüzde oldukça ender rastlanılmaktadır.

Doğrusal olmayan yüke ait eşdeğer bir devre Şekil 4.42’de gösterilmektedir. Her bir harmonik frekans için bir akım kaynağı olacak şekilde çok sayıda akım kaynakları ile yük paralel bağlanarak lineer bir yük devresi modeli oluşturulabilir.



Şekil 4.42 Doğrusal olmayan yük eşdeğer devresi

Yükten kaynaklanan harmonik akımların daha doğru bir ifade ile; yük tarafından şebeke akımından harmonik akıma dönüştürülen akımların kaynak empedansı ve tüm paralel bağlantılardan geçerek devrenin her tarafında dolaşmaları gerekir. Neticede, besleme empedansında ve tesisatın her tarafında harmonik gerilimler ortaya çıkar. Harmonik kaynakları zaman zaman gerilim kaynakları olarak gösterilmektedir; şayet bu doğru olsaydı kaynak empedansının kaynaktaki harmonik gerilim şiddeti üzerinde hiçbir etkisinin olmaması gerekirdi. Gerçekte, harmonik gerilim şiddeti ile kaynak empedansı arasında (belli sınırlar dahilinde) oransal bir ilişki mevcuttur ve kaynak, bir akım kaynağı niteliğindedir.

Kaynak empedansları çok düşük olduğu için harmonik akımın yol açtığı harmonik gerilim bozulması da az olur ve ender durumlarda tesisteki değerlerin üzerine çıkar. Ancak, bu açıklama, yüksek harmonik akımların gerçekten mevcut olmasına rağmen harmonik problemi yokmuş gibi bir yanlış algılamaya yol açmamalıdır. Bu durum, toprağa geçen akımın bir voltmetre ile aranmasına benzer. Harmonik ihtimalinin söz konusu olması veya olmadığının doğrulanması gerektiğinde akımın ölçülmesi şarttır.

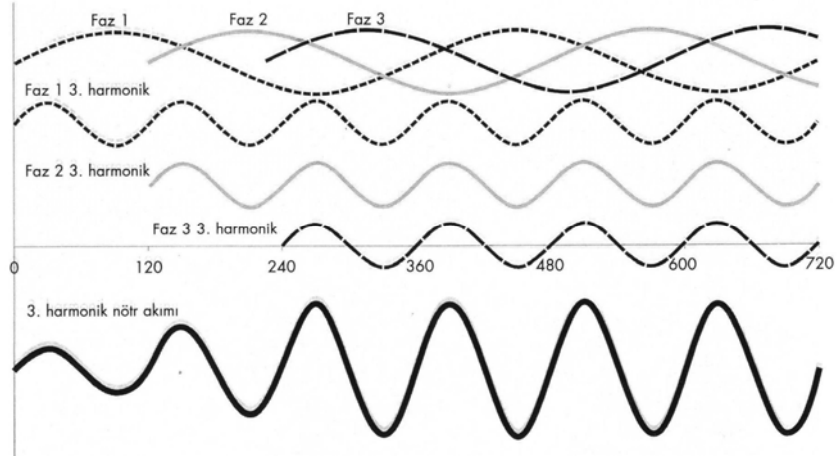
4.7.2 Harmoniklerin Yol Açtığı Problemler

Harmonik akımlar hem besleme sisteminde ve hem de tesisatta problemler oluşturur. Etkiler ve çözümler farklı olup ayrı ayrı ele alınması gerekir. Harmoniklerin tesisat içindeki etkilerinin kontrol altına alınmasına dönük önlemler, besleme sistemindeki bozukluklara karşı etkin olmayabilir ve bunun tersi de doğrudur. Tesisat içindeki harmonik akımlarının neden olduğu problemler sıralanmıştır.

- Nötr hatlarının aşırı yüklenmesi
- Transformatörlerin aşırı ısınması
- Devre kesicilerde istenilmeyen açılma (nuisance tripping)
- Güç faktörü düzeltme kapasitörlerinde aşırı gerilim
- Deri olayı
- Gerilim bozulması
- Asenkron motorlar
- Sıfır-kesme gürültüsü

Nötr hatlarının aşırı yüklenmesi

Üç fazlı bir sistemde gerilim dalga şekli her bir fazdan nötr yıldız noktasına 120° lik açı değişimi yapar ve her faz eşit olarak yüklendiğinde nötr hattındaki akım bileşkesi sıfır olur. Fazlar dengeli olarak yüklenmediği takdirde nötr hattından sadece denge dışı kadar net akım geçer. Eskiden, tesisatçılar (standartlara dayanarak) yarım-ölçüde nötr iletken kullanarak bu olgudan avantaj sağlıyorlardı. Ancak, şebeke akımlarının birbirini dengelemesine rağmen harmonik akımlar birbirini dengelememekte ve hatta temel harmoniğin üç katının tek sayılı çarpanları olan harmonik akımlar 'üçlü-N' harmonikleri halinde nötr hattında birleşmektedir. Bu etki Şekil 4.43'te görülmektedir. Diyagramın üst kısmındaki faz akımlarının aralıkları 120° 'dir. Her fazın üçüncü harmoniği, frekansın üç katı ve bir periyodun üçte biri olacak şekilde birbirinin benzeridir. Etkin olan üçüncü harmonik nötr hat akımı diyagramın en altında gösterilmiştir. Bu durumda, her fazdaki % 70 üçüncü harmonik akım nötrde % 210 şeklinde bir akım olarak sonuçlanmaktadır.

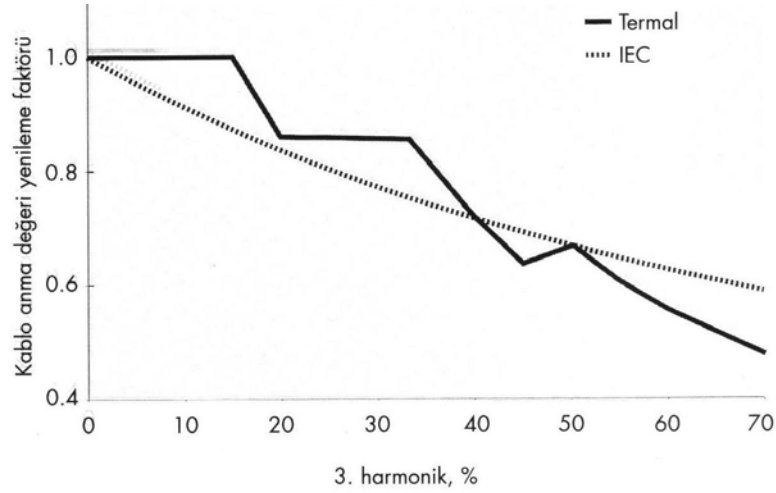


Şekil 4.43 Nötr hattında birleşen üçlü N akımları

Ticari binalarda yapılan durum araştırmaları, yarım-ölçüdeki iletkenlerde, genel olarak nötr hat akımların, faz akımlarının % 150 ile % 210'u arasında olduğunu göstermiştir.

Proje tasarımcılarının bu konu ile ilgili yaklaşımlarında bazı karışıklıklar vardır. Tek-damarlı kabloların kullanıldığı durumlarda getirilecek en basit çözüm, ya iki ayrı iletken veya iki katı ölçüde geniş kesitli tek bir iletken oluşun bir nötr hattı kullanmaktır. Çok damarlı kabloların kullanılması durumunda çözüm bu kadar kolay olmaz. Çok damarlı kablo seçilirken yükün dengeli olduğu ve nötr iletkenin akım taşımayacağı kabul edilir, diğer bir ifade ile dört veya beş damardan sadece üç tanesinin akım taşıyacağı ve sadece bunlarda ısınma meydana geleceği kabul edilir. Bir kablonun akım taşıma kapasitesinin, izin verilen en yüksek sıcaklıkta kablonun tolere edebileceği ısı miktarına göre belirlenmesi nedeniyle üçlü-N akımları taşıyan kabloların tekrar ölçülendirilmesi gerekir. Yukarıda verilen örnekteki kablo, fazlarda üç ve nötr hattında iki olmak üzere beş birim akım taşımaktadır, halbuki seçim üç birim üzerinden yapılmıştır. Dolayısıyla bu kablonun seçiminde, kapasitenin (ileteceği akımın anma değerinin) yaklaşık % 60'ı dikkate alınarak tekrar hesap yapılmalıdır.

Bir üçlü-N kablo için, harmonik akımlar nedeniyle tavsiye edilen seçim faktörleri IEC 60364-5-523 Ek C'de verilmektedir. Yukarıda belirtilen termal yöntem ve IEC 60364-5-523 Ek C'deki tanımlamaya göre, üçlü-N harmonik içeriği ile kablo seçim faktörü ilişkisi Şekil 4.44'de gösterilmiştir.



Şekil 4.44 Üçlü-N harmonikleri için kablo anma değeri yenilenmesi

Konunun yasal çerçevesi halen tartışılmakta olup bir kısım yeni gereksinim ve yardımcı bilgilerin yakın zamanda ulusal tesisat standartları kapsamına alınması beklenmektedir.

Transformatörlerdeki etkiler

Transformatörler harmoniklerden iki şekilde etkilenir. Birincisi, girdap akımı kayıplarıdır, normal olarak tam yükte % 10 olan kayıplar harmonik numarasının karesi ile orantılı olarak artar. Uygulamada, IT donanımlarını besleyen tam yükteki bir transformatörün toplam kayıpları, eşdeğerdeki doğrusal yüklerin beslenmesinde meydana gelen toplam kayıplardan iki kat daha fazladır. Bu durum çok daha yüksek çalışma sıcaklığı ve daha kısa bir ömürle sonuçlanır. Hatta, söz konusu şartlar altında çalışan bir transformatörün yaklaşık 40 yıl civarında olan kullanım ömrü 40 güne düşebilir. Neyse ki, tam yükte çalışan transformatör çok azdır, yine de tesis seçiminde bu konunun dikkate alınması son derece önemlidir.

İkinci etki üçlü-N harmonikleri ile ilgilidir. Üçlü-N harmonikleri üçgen sargıya geldiklerinde hepsi aynı fazda oldukları için sargı içinde dolanırlar, etkin bir şekilde absorbe olmuşlardır ve besleme devresine ulaşmazlar. Bu nedenle, üçgen sargılı transformatörler izole özellikli transformatörler olarak yararlıdır. Ancak, üçlü-N özelliği taşımayan diğer tüm harmonikler için durum farklıdır, bunlar devreye yayılırlar. Transformatörlerin anma değerlerinin belirlenmesinde, sirkülasyon akımlarının dikkate alınması gerekir.

Devre kesicilerinde istenilmeyen açılmalar

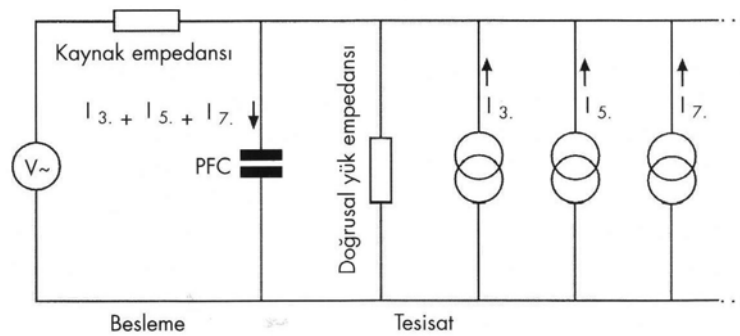
Artık mıknatısiyet akım devre kesicileri (RCCB), faz ve nötr iletkenlerdeki akımları toplayarak sonucun anma değerinin üzerine çıkması halinde harekete geçerek gücü yükten

ayırırlar. Harmoniklerin mevcut olduğu sistemlerde ‘istenilmeyen devre açılmaları’ iki nedenden kaynaklanır. Birincisi; elektromekanik olarak çalışan bir RCCB cihazında yüksek frekanslı bileşenlerin hatalı toplanması halinde cihaz devreyi kesebilir. İkincisi; harmonik üreten bir cihaz aynı zamanda gürültü üretir ve bu sesin cihazın güç kaynağı ile bağlantı noktasında filtre edilmesi gerekir. Bu maksatla kullanılan filtrelerde normal olarak faz ve toprağa bağlı bir kondansatör bulunur ve bir miktar akım toprağa geçer. Toprağa kaçan bu akımın, standartlara göre 3.5 mA’dan az olması gerekir ve genellikle de çok daha düşüktür. Söz konusu cihazın başka bir devreye bağlı olması halinde kaçak akım miktarı yeterli düzeye yükselerek RCCB’yi açabilir. Bu sorunun en kolay çözümü, her biri daha az yükleri besleyen daha çok sayıda devreler kullanmaktır.

Minyatür devre kesicilerindeki (MCB) istenilmeyen devre açılmaları genellikle, harmonik akımları hesaba katmadan yapılan akım hesaplamaları veya basit ölçümler nedeniyle gerçekte devrelerden daha fazla akım geçtiği için ortaya çıkmaktadır. Portatif ölçü aletlerinin çoğu gerçek etkin değerleri ölçmez ve sinüs eğrisi şeklinde olmayan akımları % 40 daha farklı gösterebilirler.

Güç faktörü düzeltme kondansatörlerinin aşırı yüklenmesi

Endüksiyon motorları gibi endüktif yükler tarafından çekilen geri fazlı akımı dengelemek için ileri fazlı faz açısında akım çekmek üzere güç faktörü düzeltme (PFC) kondansatörleri kullanılmaktadır. Şekil 4.45’de PFC kondansatörlü doğrusal olmayan yükteki bir eşdeğer devre görülmektedir. Frekans yükseldikçe PFC kondansatör empedansı düşmekte, genellikle endüktif olan kaynak empedansı yükselmektedir. Dolayısıyla, kondansatörün çok yüksek harmonik akımlar taşımaya kaçınılmazdır ve tasarımda harmonikler için özel önlemler alınmamışsa olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilir.



Şekil 4.45 PFC kapasitörlü doğrusal olmayan yükte ait eşdeğer devre

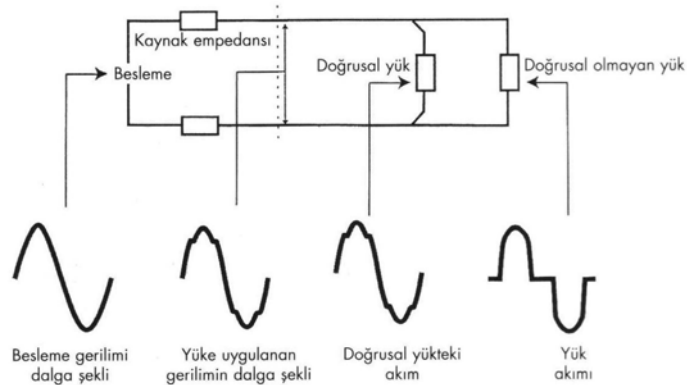
Çok daha ciddi potansiyel bir problem ise; kondansatör ile besleme sistemindeki kaçak empedansın, harmonik frekansların birinde veya birine yakın olarak rezonansa geçmesidir. Böyle bir durumda, kapasitör sisteminin çökmesine yol açabilecek kadar yüksek gerilim ve akımlar oluşabilir. Devreye, bileşimi en küçük harmonikte endüktif olacak şekilde, bir endüktans ile kondansatör bağlanarak rezonans önlenir. Bu şekilde, kondansatörden geçebilecek harmonik akım da sınırlanmış olur. Endüktörün fiziksel boyutları, özellikle düşük düzeydeki harmoniklerin mevcut olması halinde problem oluşturabilir.

Deri olayı

Alternatif akım, iletkenlerin dış yüzeyinden geçme eğilimindedir. Yüzey etkisi olarak bilinen bu özellik yüksek frekanslarda daha belirgin olarak kendini gösterir. Güç besleme frekanslarında yüzey etkisi çok zayıf olduğundan normal olarak ihmal edilmektedir, fakat frekans yaklaşık 350 Hz üzerine çıktığında (yedinci harmonik ve üstü) önemli olmaya başlar, daha fazla kayıp ve ısınmaya neden olur. Harmonik akımların mevcut olduğu durumlarda tasarımcıların deri olayını dikkate almaları ve buna göre kablo değerlendirmeleri yapmaları gerekmektedir. Problemin önlenmesine yardımcı olmak üzere çok damarlı kablolar veya izole edilmiş baralar kullanılabilir.

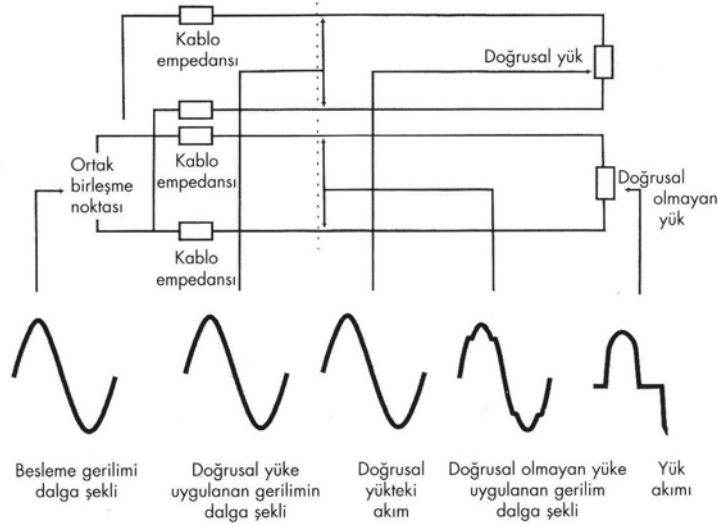
Harmonik gerilimlerin yol açtığı problemler

Besleme sisteminin kaynak empedansı olması nedeniyle harmonik yük akımları, gerilim dalga şeklindeki harmonik gerilim bozulmalarının artmasına neden olur. Burada empedansın iki elemanı bulunmaktadır. Bunlardan biri ortak birleşme noktasından (PCC) gelen dahili kablo devresine aittir, diğeri ise ortak birleşme noktasında bulunan beslemeye ait eleman, yani lokal besleme transformatörüdür. Birincisi Şekil 4.46’da gösterilmektedir.



Şekil 4.46 Doğrusal olmayan yükün neden olduğu gerilim bozulması

Doğrusal olmayan yükün çektiği bozulmuş akım, kablo empedansında bozulmuş bir gerilim düşümü meydana getirir. Ortaya çıkan bozulmuş gerilim dalga şekli aynı devreye bağlı doğrusal olanlar dahil diğer yüklerin hepsine yayılmakta ve sistemde harmonik akımların dolaşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.47 Doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin ayrımı

Çözüm için, Şekil 4.47’de gösterildiği gibi, harmonik üreten yükleri besleyen devrelerin, harmoniklere karşı hassas olan yüklerin beslendiği devrelerden ayrılması gerekir. Burada, ortak birleşme noktasından gelen ayrı ayrı devreler doğrusal ve doğrusal olmayan yükleri beslemekte, dolayısıyla doğrusal olmayan yükün yol açtığı gerilim bozulması doğrusal yük devresini etkilememektedir.

Enerji kesilmesi halinde bir UPS veya bir yedek jeneratör devreye girdiği zaman elektrik kaynağına ait empedanstan kaynaklanan gerilim bozulma şiddetinin çok daha büyük olacağı göz önünde tutulmalıdır.

Transformatör seçiminde çıkış empedansının yeteri kadar düşük tutulmasına ve kapasitesinin fazla ısınmalara karşı daha büyük seçilmesine dikkat edilmelidir. Transformatör tasarımı ve seçimi konusunda bir önemli nokta da soğutma ile ilgilidir; cebri soğutma etkisine dayanarak transformatör kapasitesinin yüksek tutulması doğru bir yaklaşım değildir, aksi takdirde transformatördeki iç ısınma daha fazla olacak ve servis ömrü azalacaktır. Cebri soğutma sadece acil durumlarda kullanılmalı, transformatörün normal faaliyeti sırasında cebri soğutma yapılmamalıdır.

Asenkron motorlar

Harmonik gerilim bozulması, transformatörlerde olduğu gibi motorlarda da girdap akım kayıplarının yükselmesine neden olur. Ayrıca, statorda oluşan harmonik alanlar ilave kayıpların meydana gelmesine yol açar ve bu alanların her biri motoru ileri veya geri farklı hızda dönmeye zorlar. Kayıpların yükselmesinin diğer bir nedeni de rotorda oluşan yüksek frekanslı akımlardır. Harmonik gerilim bozulmasının mevcut olduğu durumlarda ilave kayıpları göz önüne almak üzere anma değerleri yeniden belirlenmelidir.

Sıfırlama sorunu

Elektronik kontrolörlerin birçoğunda gerilimin sıfır volt olduğu an tespit edilerek sistemin devreye alınması sağlanmaktadır. Bunun nedeni, sıfır gerilimde endüktif yüklerin devreye alınması sırasında geçici etkilerin oluşmamasıdır. Bu şekilde, elektromanyetik gürültü, bozucu etki (EMI) ve yarı iletken anahtarlama aygıtlarındaki zorlanmalar azaltılabilmektedir. Besleme devresinde harmoniklerin ve geçici etkilerin mevcut olması halinde sıfırlama sırasında gerilim değişmesi hızlanmakta, sıfırlamanın tespiti zorlaşmakta ve hatalı operasyonlar meydana gelmektedir. Her bir yarım periyottaki gerilim sıfırlaması birden fazla olabilir.

Besleme devresini etkileyen harmonik problemler

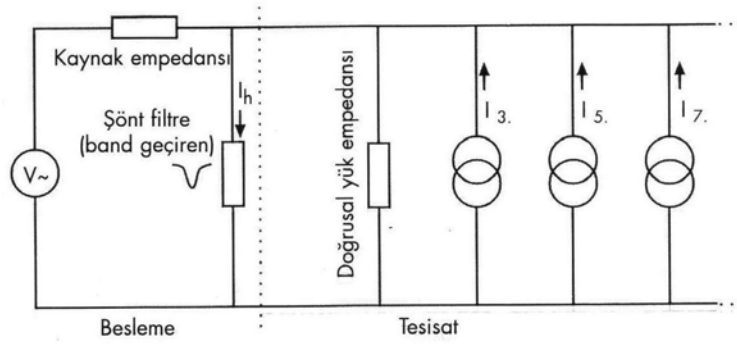
Besleme devresinden harmonik akım çekilmesi halinde akım ve kaynak empedansı ile orantılı olarak ortak birleşme noktasında (PCC) harmonik gerilim düşümünde bir artış meydana gelir. Genel olarak besleme devresi endüktif özellik taşıdığından frekans yükseldikçe kaynak empedansı da yükselir. Doğal olarak, sistemden beslenen başka kullanıcıların çektiği harmonik akımlar ve bu kullanıcılara ait transformatörlerin de etkisi ile PCC noktasındaki gerilimde bozulma meydana gelecektir, diğer bir ifade ile her bir kullanıcıdan kaynaklanan ilave bir katkı söz konusudur.

Kullanıcıların sistemi kirletmelerine ve birbirlerine zarar verecek etki yaratmalarına izin verilmesi düşünülemez, bu nedenle ülkelerin çoğunda elektrik dağıtımını yapan kuruluşlar çekilecek harmonik akım miktarını sınırlayan kurallar koymuşlardır. Bu kodların birçoğunda, yakın zamanda G5/4 (2001) ile değiştirilen ve 1995 yılında yayımlanmış olan UK Electricity Association'ın G5/3 kodu esas alınmıştır. Bu standart, Kılavuz'un başka bir yerinde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Harmonikleri azaltıcı önlemler

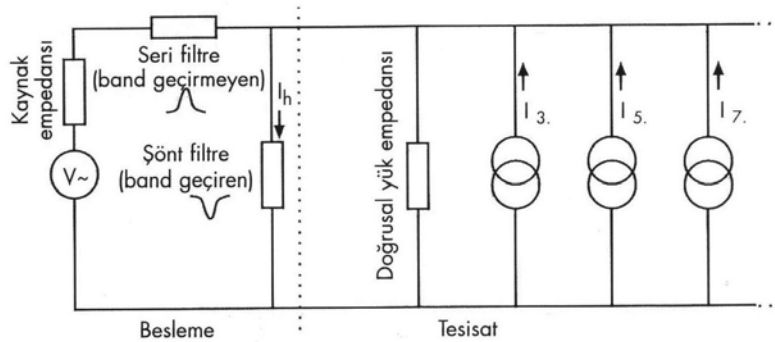
Harmonik akım şiddetini kontrol altına almak için geliştirilen önlemler bu Kılavuz'un daha sonraki bölümlerinde ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Bu bölümde, konu gruplar halinde özet olarak verilmektedir. Harmonik azaltma yöntemleri genel olarak üç gruba ayrılır; pasif filtreler, izolasyon ve harmonik azaltıcı transformatörler ve aktif çözümler. Her yaklaşımın avantaj ve dezavantajları olup ideal tek bir çözüm söz konusu değildir. Uygun olmayan ve etkinlikten uzak bir çözüm için masraf yapmak kolaydır; esas olan geniş kapsamlı bir araştırma yapmaktır. Bu amaca uygun araçlar kılavuz'un ilgili bölümlerinde tanımlanmıştır.

Pasif filtreler



Şekil 4.48 Pasif harmonik şönt filtre

Pasif filtreler, harmonik akımlar için düşük empedanslı devreler olarak kullanılırlar, harmonik akımlar besleme sisteminde değil filtre içinde dolaşmaktadır (Şekil 4.48). İhtiyaçlar doğrultusunda tek bir harmonik için veya geniş bir harmonik bant aralığı için filtre tasarımı yapılabilir.



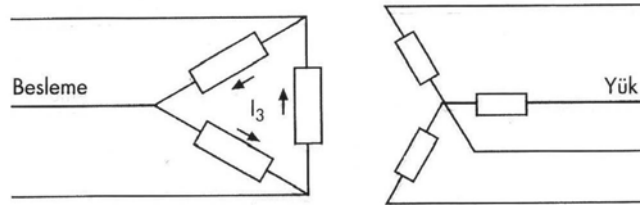
Şekil 4.49 Pasif seri ve şönt filtreler

Bazı hallerde, Şekil 4.49’da görüldüğü gibi, besleme sistemine geri dönebilecek akım oranını azaltmak üzere daha çok sayıda seri empedansların kullanıldığı komplike filtrelelere ihtiyaç duyulabilir.

Faz veya nötrde seri olarak bağlanan durdurucu filtreler de kullanılmaktadır. Seri bağlı filtrede, harmonik akımların kontrol altında tutulacağı ayrı bir devre yerine harmonik akımların bloke edilmesi amaçlanmıştır ve filtredeki harmonik gerilim düşümü yüksektir. Bu harmonik gerilim, besleme devresinin yük tarafında kendini gösterir. Besleme gerilimi, önemli ölçüde bozulmaya uğradığı için cihaz, tasarım ve garanti standartlarında belirtilen değerlerin dışındadır. Bazı cihazlar bu bozulmaya karşı nispeten duyarsız, bazıları ise çok duyarlıdır. Seri filtreler özel durumlarda faydalı olabilir, uygulamaların dikkatli yapılması gerekir, genel maksatlı bir çözüm için önerilemez.

İzolasyon transformatörleri

Daha önce ifade edildiği gibi, üçlü-N akımları transformatörlerin üçgen sargılarında dolanırlar ve transformatör imalatçıları veya tasarımcıları açısından bir problem (ki fazlardan bir yük olarak her zaman göz önünde tutulmaları gerekir) olan bu özellik, üçlü-N harmoniklerin besleme devresine yayılmasını önlediği için sistem tasarımcıları açısından bir avantaj niteliğindedir.



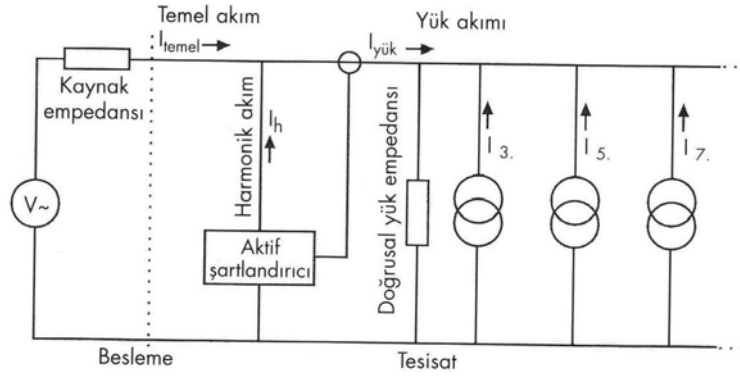
Şekil 4.50 Yıldız üçgen izolasyon transformatörü

Üçlü-N harmoniklerinin besleme devresinden izole edilmesi için ‘zig-zag’ sargılı bir transformatör de kullanılabilir. Zig-zag transformatörler, sargılar arası özel faz ilişkisi olan yıldız bağlantılı oto transformatörler olup sargılar besleme sistemi ile şönt bağlantılıdır.

Aktif filtreler

Yukarıdaki çözümler sadece belli harmoniklere uygulanır; izolasyon transformatörleri sadece üçlü-N harmonikleri için, pasif filtreler ise kendi tasarımındaki harmonik frekans için geçerlidir. Bazı tesisatların içerdiği harmonikler yeterli derecede belirgin değildir. IT

tesisatlarının çoğunda cihazların nicelikleri ve buldukları yerler ve harmonik kültürü sürekli değişmektedir. Uygun bir çözüm aktif filtre veya aktif şartlandırıcıdır.



Şekil 4.51 Aktif harmonik şartlandırıcı

Şekil 51’de gösterildiği gibi, aktif filtre bir şönt cihazıdır. Bir akım transformatörü, yük akımındaki harmonik miktarını ölçer ve bir akım jeneratörünü kontrol ederek bir sonraki devirde sisteme geri beslenen akımın aynısının üretilmesini sağlar. Harmonik akım aktif şartlandırıcı tarafından üretildiği için besleme devresinden sadece temel akım geçmektedir. Uygulamada, harmonik akım şiddeti % 90 oranında azaltılmakta ve harmonik frekanslardaki kaynak empedansı azaldığı için gerilim bozulması da azalmış olmaktadır.

Yaklaşık tüm modern elektrik ve elektronik donanımlar anahtarlamalı güç kaynağı (SMPS) veya belli bir güç kontrol ünitesi ve dolayısıyla da doğrusal olmayan bir yük ihtiva ederler. Doğrusal yükler nispeten azdır ve parlak filamanlı ampuller ile kontrolsüz ısıtıcılar ifade edilebilecek belli başlı örneklerdir. Endüstriyel ve ticari alanlarda karşılaşılan harmonik problemlerin kaynağı olan bu tür cihazların yarattığı sorunlar devam etmektedir.

Yaptırımlar ile desteklenmiş güçlü standartlar olmadan kullanımları gittikçe yaygınlaşan bu cihazların yarattığı harmonik kirlenmeler de artmaya devam edecektir. İş dünyası için risk kaynağı olan bu konunun

- yüksek tasarım uygulamaları yapılarak,
- doğru seçilmiş elektrik cihazları kullanarak,
- uygun bakım prosedürleri geliştirilerek
- gerekli yatırımlar yapılarak

kontrol altında tutulması ve iyileştirilmesi gerekmektedir [33].

4.7.3 Elektromanyetik Uyumluluk İçin Harmonikler

EN 61000-3-2 Standardı 16 amperden daha az akım çeken cihazlar için harmonik limitlerini belirler. EN 61000-3-2 Standardı'na göre cihazlar 4 sınıfta incelenir;

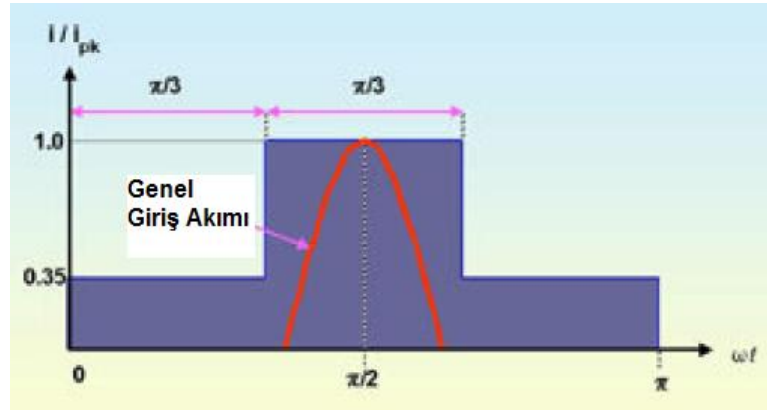
Sınıf B : Taşınabilir ekipmanlar

Sınıf C : Aydınlatma ekipmanları

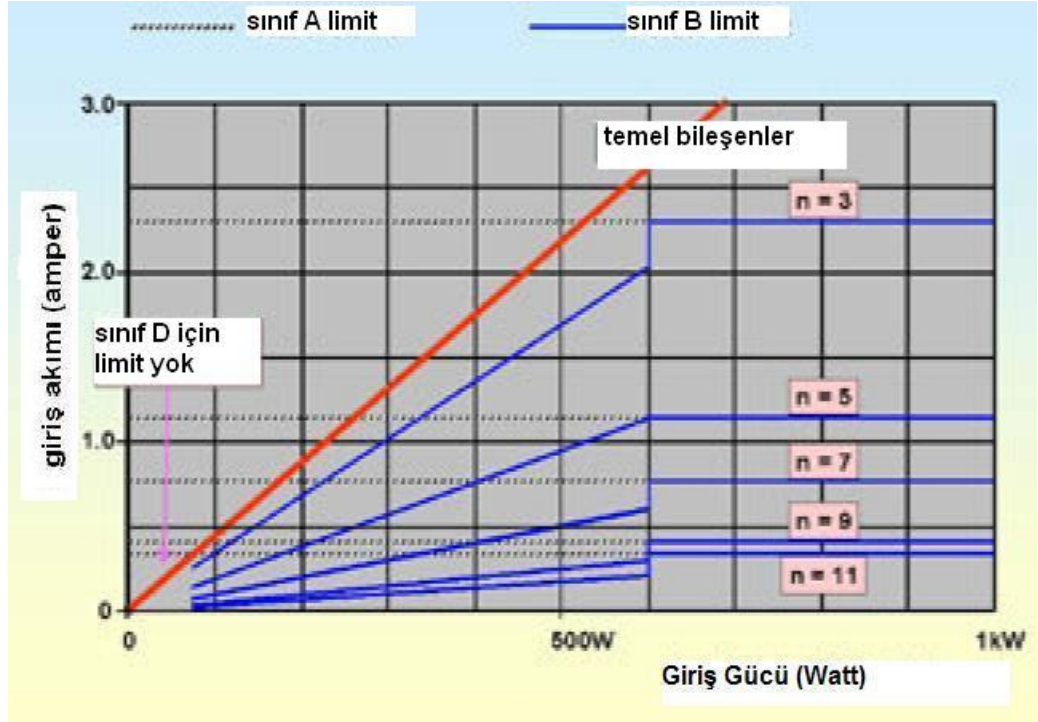
Sınıf D : Giriş akım şekli özel olan ve kullandığı aktif enerji 600W tan düşük ekipmanlar

Sınıf A : Geriye kalan ekipmanlar özellikle 3 fazlı dengeli sistemler

Doğrultucu sonundaki kondansatörler genellikle yarı periyodun üçte birlik kısmında akım çeker (Şekil 4.52). Eğer bu tür cihazların aktif güçleri 600W'tan fazla ise sınıf A olarak değerlendirilirler. Şekil 4.53'de 11. harmoniğe kadar olan harmonikler için limitler gösterilmiştir [34].



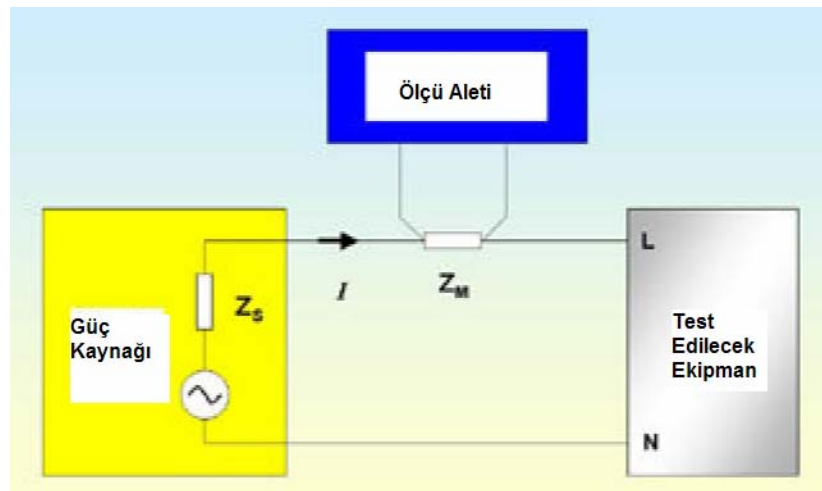
Şekil 4.52 Doğrultucu çıkışındaki kondansatörün çektiği akım



Şekil 4.53 Sınıf A ve D için harmonik akımı değerleri

Harmonik testini yapmak için öncelikle harmonik seviyesi çok düşük bir güç kaynağı lazımdır. Şebekenin, 3. harmonik seviyesi % 0,9, 5. harmonik seviyesi % 0,4, 7. harmonik seviyesi % 0,2 ve 9. harmonik seviyesi % 0,1'den küçük olmalıdır.

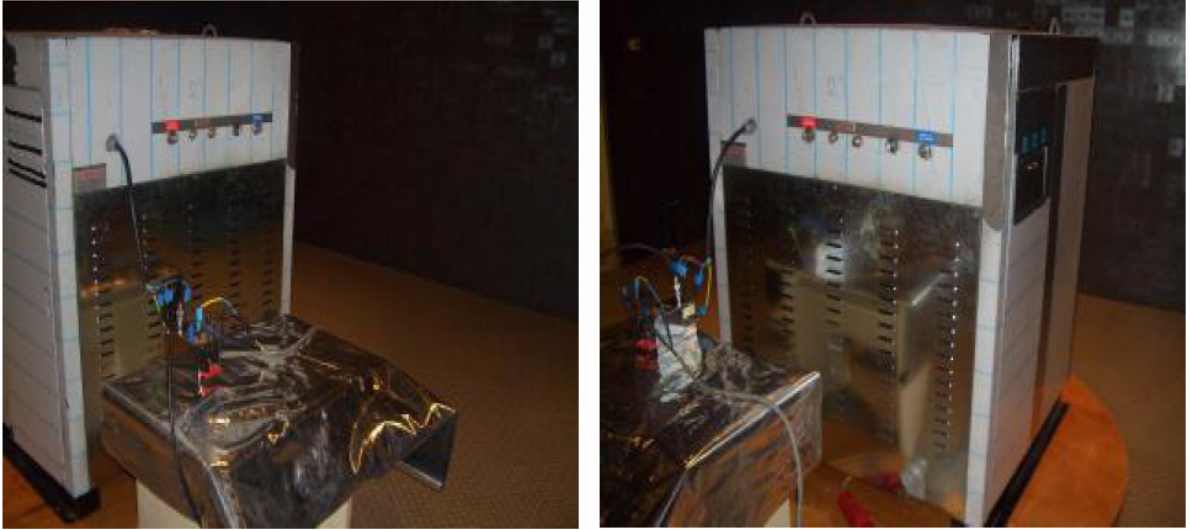
Ölçüm için Şekil 4.54'teki sistem kurulmalıdır. Şekil 4.55'te örnek bir harmonik ölçüm cihazı gösterilmiştir [35].



Şekil 4.54 Harmonik ölçüm diyagramı



Şekil 4.55 Harmonik ölçüm ünitesi



Şekil 4.56 Örnek test düzeneği [22]

5. GÜÇ ELEKTRONİĞİNDE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM İÇİN ALINAN ÖNLEMLER

Geniş anlamıyla güç elektroniğinin görevi tüketici yüklerine optimal olarak ayarlanmış bir biçimde gerilim ve akım sağlayarak elektrik enerjisi akışını işlemek ve kontrol etmektir.

Giriş gerilimi ve akımı arasındaki faz açısı güç işleyicisinin topolojisine ve kontrolüne bağlıdır. Eğer güç işleyicisinin çıkışı bir gerilim kaynağı olarak kabul edilirse, çıkış akımı ve çıkış gerilimi ile giriş akımı arasındaki faz açısı ilişkisi yük karakteristiğine bağlıdır.

Son yıllarda güç elektroniği alanı bir kaç etken birleşimine bağlı olarak büyük bir gelişme göstermiştir. Mikroelektronik yöntemlerindeki gelişmeler mikrodenetleyicilerin gelişmesine ve dolayısıyla yaygınlaşmasına yol açmıştır. Diğer bir etken ise yarı iletken üretim teknolojileri alanındaki gelişmelerdir. Yarı iletken teknolojilerindeki bu gelişmeler, gerilim ve akımı yönetme becerilerini ve güç işleyicisi ünitesini oluşturan yarı-iletken güç elemanlarının anahtarlama hızlarını belirgin bir şekilde arttırdı.

Güç elektroniğinde güç yoğunluğunu artırmak için denetleyiciler ve güç elemanları yüksek frekanslarda çalıştırılır. Güç elemanlarının kayıplarını azaltmak için çeşitli rezonanslar ile yumuşak anahtarlama yapılır. Bunların sonucu olarak da güç elektroniği devreleri elektromanyetik girişime hassas bir hale gelir.

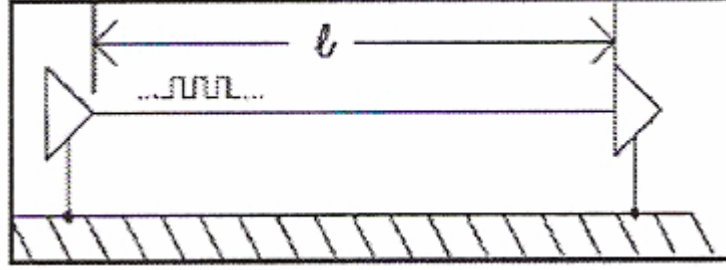
Ayrıca güç elemanlarının anahtarlama sonucu olarak şebeke çeşitli harmoniklere maruz kalır. Bunlara ek olarak güç elektroniği devrelerinin, devre yolları da bir anten görevi görüp ortama elektromanyetik gürültü yayar. Elektromanyetik etkileri en aza indirmek için yapılması gereken temel çözümler üç başlıkta toplanır.

- Ekranlama
- Kaynak filtresi kullanma
- PCB dizaynında anten etkisini azaltma

5.1 Ekranlama

Ekranlama kart, devre ya da cihaz düzeyinde iki ortamı birbirinden elektromanyetik anlamda izole etmek diye tanımlanır. Ekranlamanın etkili olması ekranlanacak kaynağın cinsine bağlıdır. Elektromanyetik dalgaın içinde elektrik alan ve manyetik alan olduğu 1. bölümde incelenmiştir.

Işımayla yayılım bir iletken den akım geçmesiyle meydana gelir. Bu iletken bir kablo olabileceği gibi bir PCB yolu da olabilir. Şekil 5.1 iletken den bir sinyal iletimini temsil etmektedir.

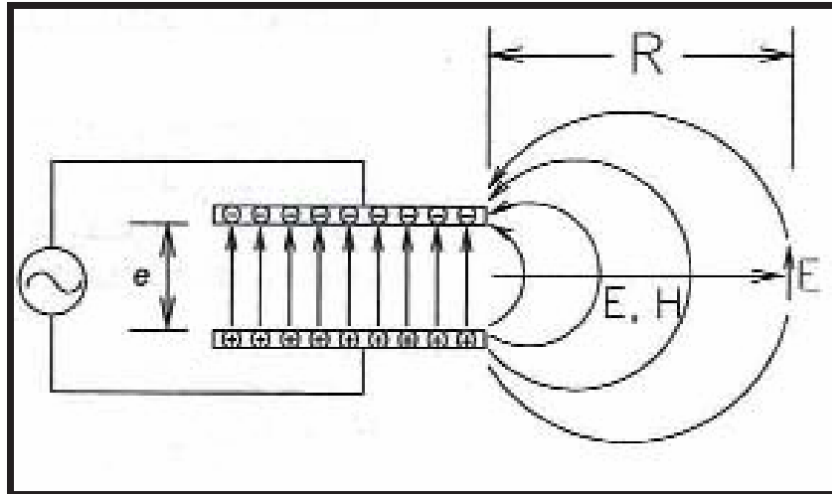


Şekil 5.1 İletken den bir sinyal iletimi

İletken hem sinyal alıcısı hem de sinyal vericisi olarak davranır. Anten etkisinin dezavantajlarından korunmak için ekranlama yapılır.

İletken bir elektromanyetik alana maruz kaldığı zaman iletken den bir akım geçer. Burada aktarılan enerji iletken den geçen akımın karesiyle iletken den empedansının çarpımına eşittir.

Şekil 5.2'deki sistem kurulduğu zaman yukarıdaki levhada eksi yük ve aşağıdaki levhada artı yük bulunur. Buda elektromanyetik alan oluşturur. İki plaka arasındaki potansiyel mertebesinin birimi Volt tur. Bu levhaların sonucunda oluşan elektrik alan ise bu volt değerinin plakalar arasındaki mesafeye metre cinsinden bölümüyle ortaya çıkar;



Şekil 5.2 Elektromanyetik alan oluşumu

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi levhaların köşelerinde oluşan akıllar yay şeklinde gider. Burada

yay şeklinde gösterilen akılar ışınan elektromanyetik alanı göstermektedir. Bu elektrik alan çizgilerine dik manyetik alanlar oluşturur.

Eğer iletilen enerji biliniyorsa alanın gücü hesaplanabilir.

$$P_R \approx 1.6P_t / 4\pi R^2 \quad (5.1)$$

P_R : R mesafesindeki alan kuvveti (W/m^2)

P_t : iletilen güç (W)

R : ışıma kaynağından uzaklık (m)

Güç denklemi ise elektrik alan (E) ve manyetik alanın (H) vektörel çarpımıdır.

$$R < \lambda / 2\pi(\text{ohm}) \quad \Rightarrow \quad E / H = 377\lambda / 2\pi R \quad (5.2)$$

$$R > \lambda / 2\pi(\text{ohm}) \quad \Rightarrow \quad E / H = 377 \quad (5.3)$$

Eğer iletilen güç bilinmiyorsa 5.6 denklemiyle elektrik alan yaklaşık olarak türetilebilir.

$$E \approx e / \pi R \quad (5.4)$$

E : Elektrik alan kuvveti (V/m)

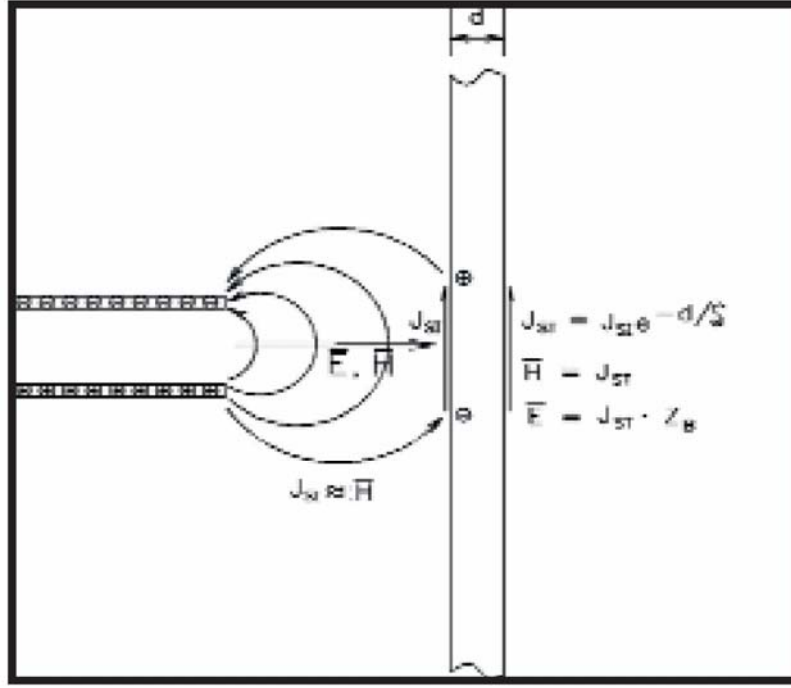
e : Levhalar arasındaki potansiyel farkı

$$R < \lambda / 2\pi(A/m) \quad \Rightarrow \quad H \approx 2\pi RE / 377\lambda \quad (5.5)$$

$$R > \lambda / 2\pi(A/m) \quad \Rightarrow \quad H \approx E / 377 \quad (5.6)$$

Elektromanyetik Alanların Ekranlanması

Elektromanyetik alan yoluna bir ekranlama bariyeri yerleştirildiğinde, elektromanyetik alanın gücü bu bariyerden akım geçmesine neden olur. Şekil 5.3'te levhaların bu bariyer üzerinden akım geçirmesi temsil edilmiştir.



Şekil 5.3 Ekranlamanın üzerinden akım geçmesi

Bariyer üzerinde akan akım, yüzey akım yoğunluğu J_s olarak tanımlanır ve A/m birimindedir. Yaklaşık olarak manyetik alanın bariyere dik olduğu değere eşittir. İletilen yüzeydeki akım:

$$J_{s1} e^{-d/\delta} \quad (5.7)$$

Bu durumda E_t ve H_t aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_t = J_{s1} e^{-d/\delta} \quad (5.8)$$

$$E_t = H_t Z_b \quad (5.9)$$

$$Z_b = (1 + j) / \sigma \delta (1 - e^{-d/\delta}) \quad (5.10)$$

E_t : İletilen elektrik alan (V/m)

d : Bariyerin kalınlığı (m)

δ : Etkilenen yüzey derinliği (m)

Z_b : Bariyerin empedansı (ohm)

Anten teorisine göre kaynaktan uzaklaştıkça antenin gücü uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalır. Ekranlama teorisine göre ekranlama, alanların kuvvetini azaltır ama alanların yönünü

değiştirmez. R_2 uzaklığındaki bir ekranlama üzerine aktarılan güç şu şekildedir.

$$P_{R2} = P_T (R_1 / R_T)^2 \quad (5.11)$$

P_{R2} 'nin birimi (W/m^2)

P_T : transfer edilen güç (W)

Ekranlama levhası elektromanyetik alana maruz kaldığı zaman levhalar üzerinde bir gerilim oluşur. Bu gerilim akım ile levhanın empedansının çarpımına eşittir.

J_S : Levha üzerindeki akım

Z_t : Levha empedansı

Ekranlamanın ardındaki elektrik alan (5.12)'de gösterilmiştir:

$$E_T \approx e / \pi R = J_S Z_T / \pi R \quad (5.12)$$

eğer $H \approx 2\pi RE / 377\lambda$ eşitliğinde E yerine E_T yazılırsa,

$$R < \lambda / 2\pi \quad \Rightarrow \quad H_T \approx E_T \lambda / 377\pi R \quad (5.13)$$

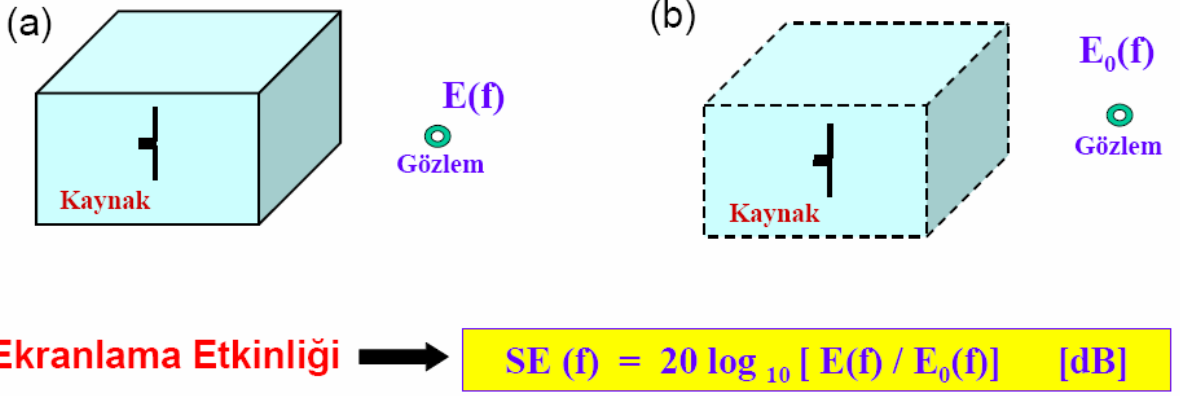
$$R \geq \lambda / 2\pi \quad \Rightarrow \quad H_T \approx E_T / 377 \quad (5.14)$$

elde edilmiş olur [36].

Ekranlama Etkinliği

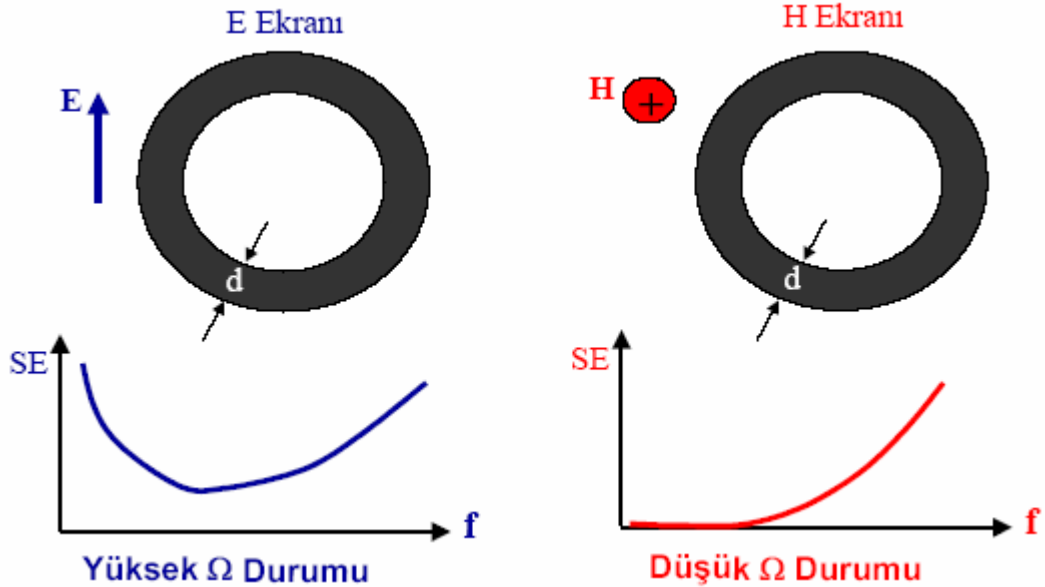
Ekranlamanın ölçüsü olarak ekranlama etkinliği (SE, Shielding Effectiveness, kaynak ile alıcı arasında ekran yok iken ki alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine oranı), kullanılır. SE, Şekil 5.4'te gösterildiği gibi, kaynak ile alıcı arasında ekran yok iken ölçülen (ya da hesaplanan) elektrik alan şiddetinin ekran varken oluşan alan şiddetine desibel (dB) olarak oranı şeklinde tanımlanır.

Yüksek SE iyi ekranlama etkinliği demektir. Negatif SE ise çınlama (rezonans) yani ekranlama işaretin kuvvetlenmesini sağladığı anlamına gelir.



Şekil 5.4 Ekranlama etkinliği tanımı

Ekranlama performansı açısından yukarıdaki iki kaynağın karşılaştırması Şekil 5.5'te gösterildi. Şekilde özdeş ve kalınlığı d olan iki metal küre gösterilmiştir. Kürelerden birinin yakınında yüksek elektrik alan yaratan elektrik dipol bulunurken diğerinin yanında ise yüksek manyetik alan yaratan bir manyetik dipol yer almaktadır. Her iki kürenin içinde ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi şekil 5.5'te gösterildi. Metal kürenin ekranlama etkinliği elektrik dipol tipi girişim kaynakları için alçak frekanslarda yüksek iken manyetik dipol tipi girişimler için ekranlama etkinliği neredeyse yok olmaktadır. Frekans arttığında, her iki tip kaynak için de ekranlama etkinliği artar.



Şekil 5.5 Elektrik ve manyetik dipoller için ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi

Elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama

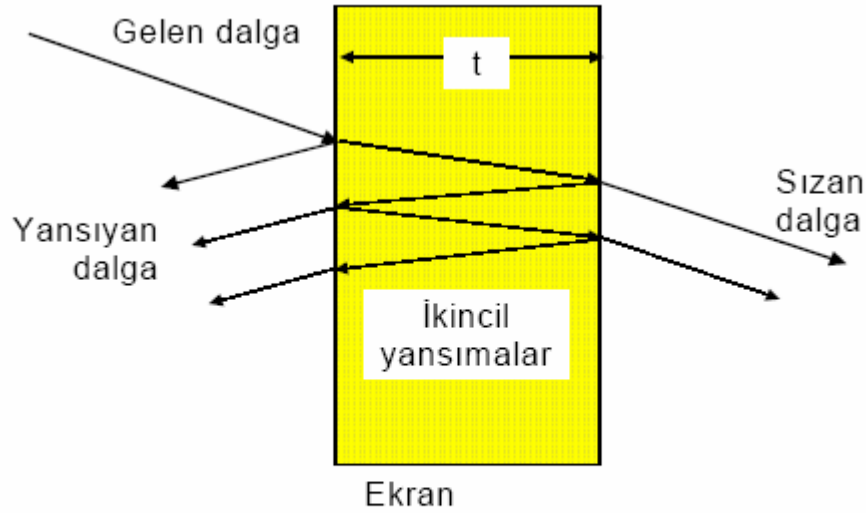
ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle kullanılır.

Şekil 5.6'da kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri gösterilmiştir. Kalınlığı t olan kayıplı bir duvar elektromanyetik dalgaları üç şekilde zayıflatır. Birincisi duvardan yansımadır. İkincisi duvar içindeki zayıflama (yutulma), üçüncüsü ise duvar içerisindeki ardışıl yansıma kaybıdır.

$$SE = A + R + B [dB] \quad (5.15)$$

A : Yutulma kaybı, R : Yansıma kaybı, B : İkincil yansıma etkileri

Elektriksel ekranlama ise belli bir frekansta minimum gösterir. Sonuç olarak bir ekranlamanın EMC performansı, kullanılan malzemelerin özelliklerine, çalışma frekansına ve dikkate alınan kaynaklara bağlıdır. Ancak, pratikte girişim kaynağına göre ekranın konumu farklı ekran parçalarının arasındaki bağlantılar ekran üzerindeki delikler ve boşluklar ve benzeri başka etkenler de baskın rol oynar.



$$SE = A + R + B \quad [dB]$$

A : Yutulma kaybı, R : Yansıma kaybı, B : İkincil yansıma etkileri

Şekil 5.6 Kalınlığı t olan bir duvarın ekranlama etkinliği bileşenleri

Pratikte ekranlama için önemli noktalar

- Ekranlama elektrik alanın düşük frekanslarda yansıtılması yüksek frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Ekranlama manyetik alanın düşük frekanslarda yutulması ile gerçekleşir.
- Yüksek iletkenlik, yansıma ve yutulmayı pozitif yönde etkiler.
- Yüksek manyetik geçirgenlik yüksek yutulmaya neden olurken, düşük yansıma oluşturur.
- Çok düşük frekanslı manyetik kaynakların ekranlanacağı hallerde yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kullanılır.
- Ekran kalınlığı arttıkça yutulma artar.
- Manyetik alan için kalın ekranlara ihtiyaç duyulurken elektrik alan için ince yapılar (folyo kalınlığında) kullanılabilir.
- Kaynak ile ekran arasındaki uzaklık yansıma özelliklerini değiştirir.
- Elektrik kaynaklar ekrana yakın, manyetik kaynaklar ekrana uzak yerleştirilmelidir.
- Ekranlama yapısını tasarlamadan önce, elektrik, manyetik ya da her ikisine de ihtiyaç duyulduğunun belirlenmesi gereklidir (çoğu durumda elektriksel ekranlama gereksinimleri karşılamak için yeterli olmaktadır).
- Manyetik ekranlama frekansın artması ile yükselir.

Manyetik Ekranlama

Pratik olarak düşük frekanslarda ($f < 30$ MHz) önemlidir. Manyetik ekranlamada zayıflama frekansla artar. Ekran içindeki direnç mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Delikler ve açıklıklar daha az önemlidir.

Elektriksel Alan Ekranlama

Pratik olarak yüksek frekanslarda ($f > 30$ MHz) önemlidir. Değişik parçalar arasındaki kontak direncinin kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır). Delikler ve açıklıklar frekansa bağımlı olarak önemlidir. Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler.

Ekranlama amacıyla seçilecek malzemeler üç grupta toplanır.

- Yüksek performanslı malzemeler: Çelik, bakır, paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılmış ve tamamen metal kaplı kutu (80-120 dB ekranlama etkinliği)
- Standart performanslı malzemeler: İletken metal tabakalar ya da metal parçacıklı plastikler (20-40 dB ekranlama etkinliği)
- Zayıf performanslı malzemeler: Metalleştirilmiş kumaş yapılar iletken kağıt malzemeler (iletken polimerler), (15-30 dB ekranlama etkinliği)

Ekranlama seviyeleri Çizelge 5.1'deki verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere 30 dB ekranlama etkinliği ortalama değer olarak kabul edilir. Pratikte birçok sorunu 40 dB ekranlama etkinliği çözebilir. Askeri sistemlerde 100-120 dB ekranlama etkinliği istenebilmektedir. Telefon kabloları için şartnamelerde istenen değerler 80-90 dB dir.

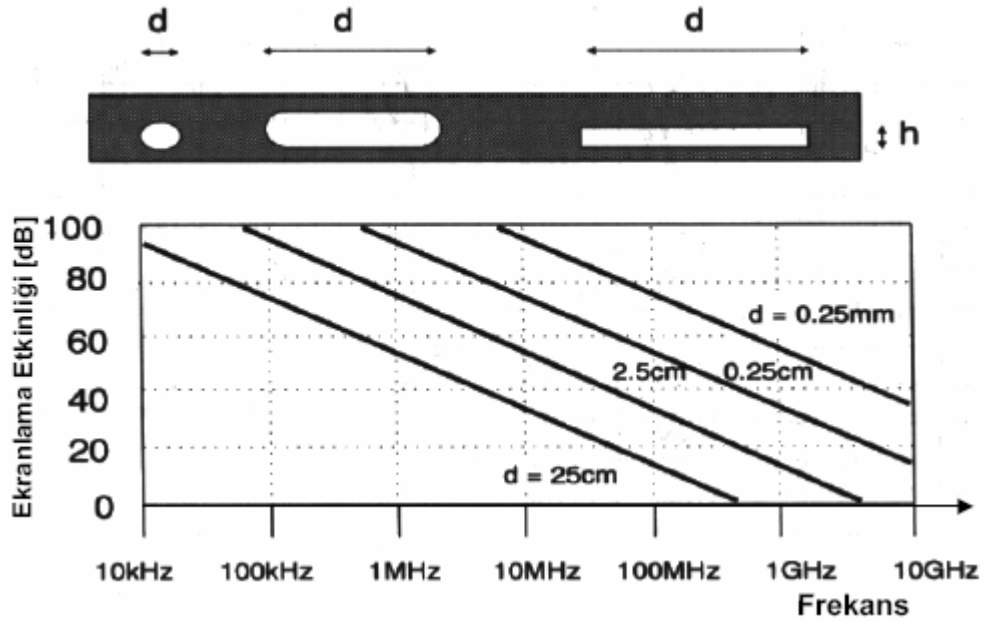
Çizelge 5.1 Tipik ekranlama değerleri (E: EM alan, P: EM güç)

Ekranlama(SE)	$E_{dış} / E_{iç}$	$P_{dış} / P_{iç}$	Açıklama
10 dB	% 32	% 10	Kötü
20 dB	% 10	% 1	Alt sınır
30 dB	% 3.6	% 0.1	Ortalama
60 dB	% 0.1	% 0.0001	İyi
90 dB	% 0.0031	% 0.001 ppm	Çok iyi
120 dB	% 0.0001	% 0.000001 ppm	Olağan üstü

Ekranlama performansını azaltan etmenlerin başında ekran duvarındaki süreksizlikler (bağlantılar, lehimler, perçinler), ekran duvarında zorunlu bırakılan açıklıklar (havalandırma delikleri, düğmeler, sinyal lambaları, görüntü ekranı, vb). gelir. Tasarımda bırakılan açıklıkların tasarımında özel dikkat gösterilmelidir. Pratikte kullanılan çeşitli açıklık türleri küçük ya da dar yarıklar, delik ve yarık dizileri, ızgara yada örgülü tabakalar ve kafes yapılar olarak sıralanır. Açıklıkların boyutları engellenmek istenen elektromanyetik ışınımın dalga boyunun 1/10'u olmalıdır. Açıklığın (kesitin) en büyük boyutu önemlidir. Engellenmek

istenen ışınımın en yüksek frekansı göz önüne alınmalıdır. Şekil 5.7’de delik ve yarıklar için frekansla ekranlama etkinliğinin değişimi gösterilmiştir.

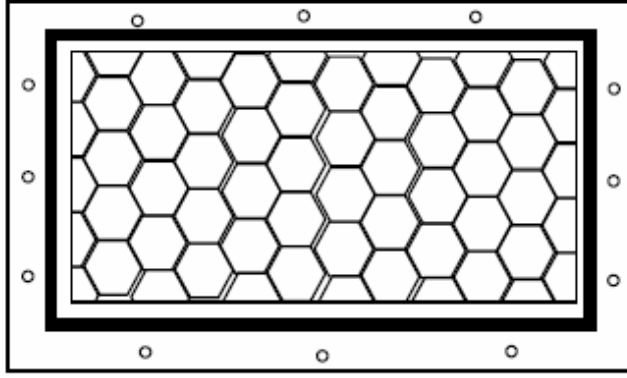
Delik ve Yarıklar



Şekil 5.7 Delik ve yarıkların tipik ekranlama etkinliği davranışları

Görüldüğü gibi, 25 cm boyunda bir yarık 10 kHz frekansında 90 dB ekranlama sağlarken bu değer 500 MHz’in üstüne çıktığında 0 dB’ ye düşer. 600 MHz’de işaret dalga boyu 50 cm olduğundan yarık boyu dalga boyunun yarısıdır. Bu durumda da işaret olduğu gibi yarıktan öteye sızar.

Özellikle binalarda, içlerinde yüksek güçlü trafoların bulunduğu odalarda soğutma ve ekranlama aynı anda gerçekleştirmek istendiğinde Şekil 5.8’deki yaklaşım kullanılabilir. Havalandırma panelindeki delik sayısına, derinliğe ve delik çaplarına bağlı olarak ampirik formülden ekranlama etkinliği hesaplanabilir. Şekildeki örnekten görüleceği üzere 100 dB mertebesinde yeterli ekranlama etkinlikleri sağlanır. Şekildeki formülün kesim frekansının birkaç kat üstünde geçerli olduğu unutulmamalıdır.



Örnek:

$$d=3/4 \text{ "}$$

$$w=1/8 \text{ "}$$

$$N=100 \times 100$$

$$SE = 30 (6/8)(1/8) - 20 \log(100 \times 100)$$

$$SE=100\text{dB}$$

$$SE = 30 d/W - 20 \log N^2$$

d : derinlik [inch], W : çap [inch], N : delik sayısı, $f \gg f_c$ (kesim frekansı)

Şekil 5.8 Havalandırma paneli ve ekranlama etkinliği

Yüksek zayıflama elde edebilmek için iki koşul vardır:

- Ekran kalınlığı, açıklık çapının en az iki katı olmalıdır.
- Açıklığın büyük kenarı ekran kalınlığının 1/6'sından küçük olmalıdır.

Açıklık malzemesinin direnci çeşitli parçalar arasındaki dirençler de dahil olmak üzere küçük olmalıdır (ızgaralı yapılar yerine delikli levhalar tercih edilmelidir). Boş bir açıklığın ya da deliğin içine hiç bir zaman bir iletken yerleştirmemelidir. Bu durumda, kılavuzun kesim frekansı değiştirilmiş olur.

Kablolar ve Ekranlama Etkinliği

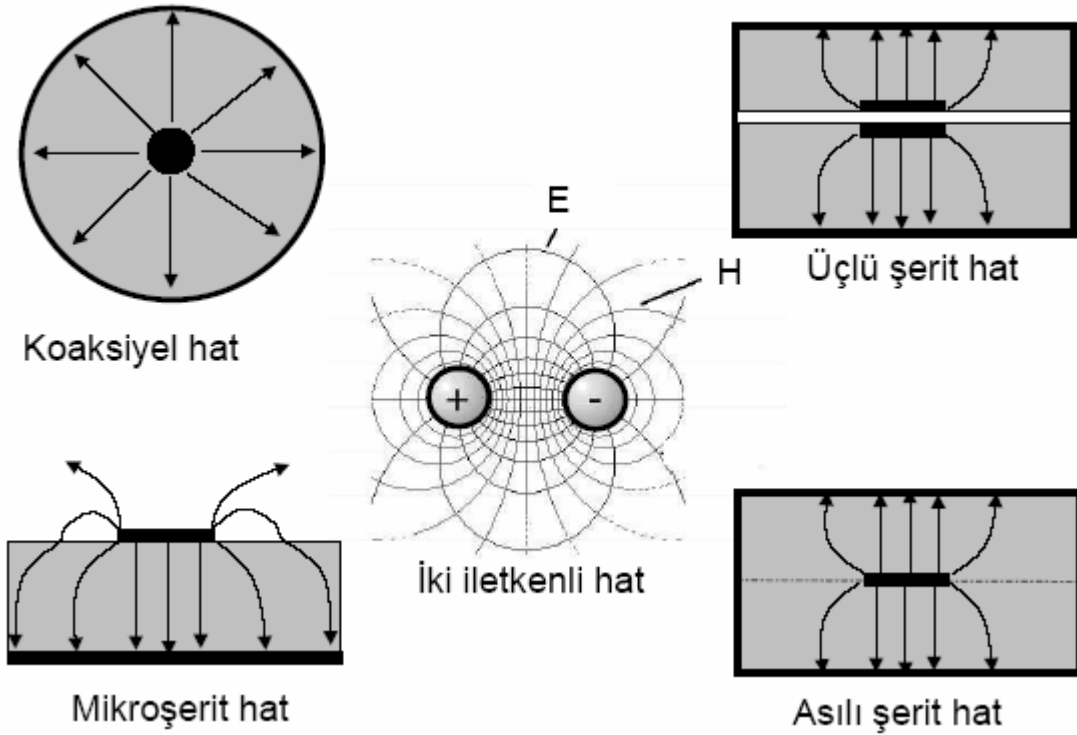
Şekil 5.9'da değişik tipte kablo ve iletim hatları ve oluşan elektrik alan çizgileri gösterilmiştir. Şekilde gösterilen alan çizgileri dağılımından da iletim hatlarının ekranlama etkinliği performansları belli olmaktadır. Örneğin, iki iletkenli hat ile mikroşerit hatlar açık hatlar olduklarından ekranlama performansları kötüdür. Oysa, koaksiyel ve diğer hatlar doğal ekranlara sahip olduklarından iyi ekranlama etkinliği performansı gösterirler.

$$SE = 30d / W - 20 \log N^2 \quad (5.16)$$

d : derinlik [inch], W : çap [inch], N : delik sayısı, $f \gg f_c$ (kesim frekansı)

Örnek olarak $d=3/4 \text{ "}$, $W=1/8 \text{ "}$, $N=100 \times 100$ değerleri için,

$SE = 30 (6/8)(1/8) - 20 \log(100 \times 100) = 100 \text{ dB}$ bulunur.



Şekil 5.9 İletim hattı tipleri ve ekranlama etkinliği performansları

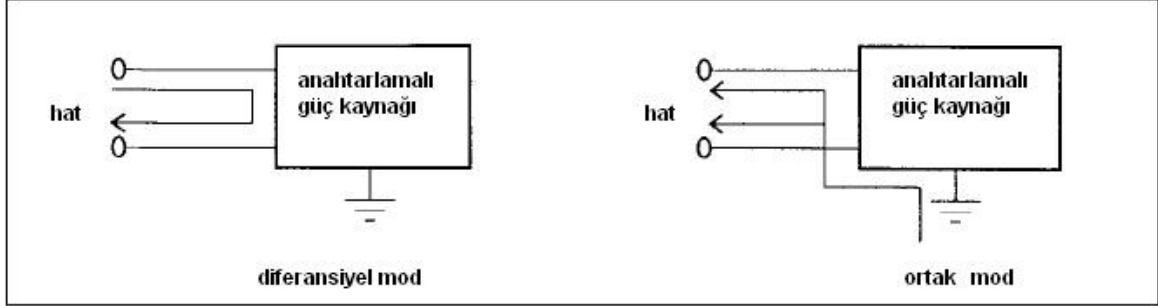
Ekranlama etkinliği frekansla değişir ve değişimin nasıl olacağı ise (kestirimi çok zor olduğundan) ancak ölçü ya da sayısal benzetimler yoluyla saptanabilir. Bu yüzden EMC mühendisliğinin temeli hassas ve tekrarlanabilir ölçülere ve gerçekçi modeller üzerinden yapılan simülasyonlara dayanır [6].

5.2 İletim Yoluyla Elektromanyetik Girişimi Azaltma

Anahtarlama güç kaynaklarında enerji depo eden elemanlarının (kondansatör, transformatör ve bobinler) boyutları, anahtarlama hızı arttıkça orantılı olarak küçülür. Bu sebepten dolayı güç yoğunluğunun yüksek olduğu anahtarlama güç kaynaklarında anahtarlama frekansları yüksektir. Anahtarlama hızları yükseldikçe akımın ve gerilimin değişim hızları da artmaktadır. Artan akım ve gerilim değişim hızları elektromanyetik uyumluga zarar veren bir faktördür.

Elektromanyetik girişim, diferansiyel-mod ve ortak mod olmak üzere ikiye ayrılır. Diferansiyel mod gürültü Şekil 5.10'da gösterildiği gibi giriş yolunu takip eder. Diferansiyel-

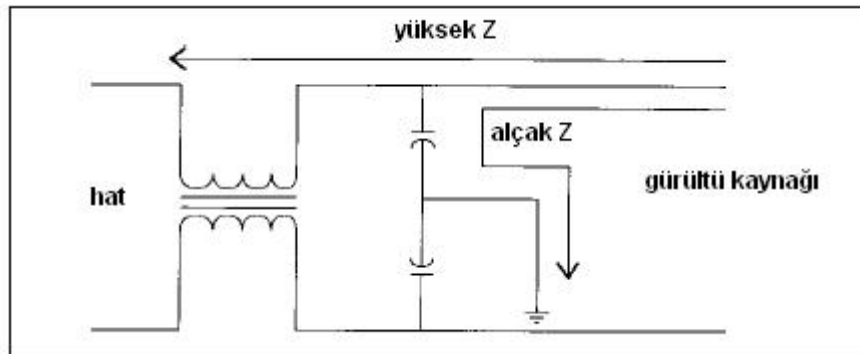
mod gürültü, sistemdeki manyetik bileşenlerden dolayı oluşur ($L di/dt$). Öte yandan ortak-mod gürültü ise Şekil 5.10'da gösterilen hat toprak yolunu izler. Ortak mod gürültü, gürültünün elektriksel bileşenidir ($C dv/dt$).



Şekil 5.10 EMI gürültü çeşitleri

İletim yoluyla elektromanyetik girişimi azaltmak için EMI filtreleri kullanılır. Bu filtrelerin kullanım amacı gürültü dalgalarını süzmektir. Filtreler güç kaynaklarıyla şebeke arasına yerleştirilir. Bir AC-DC dönüştürücü ele alındığında çok çeşitli yükleri besleyebilir (2 ohm'dan 2000 ohm'a kadar değişebilen yükler). Bu yüzden sistemlere uygun filtre seçimi önemli bir konudur.

EMI filtreleri ortak mod endüktansları, diferansiyel mod endüktansları, X ve Y kondansatörleri ile gerçekleştirilir. Y kondansatörleri ve ortak mod endüktansları ortak mod gürültüleri süzmek için kullanılır. Endüktans elemanı yüksek frekanslarda açık devre karakteristiği gösterir, gürültüleri yansıtır veya absorbe eder. Y kondansatörleri yüksek frekanslarda kısa devre karakteristiği gösterir, gürültüyü toprağa iletir .



Şekil 5.11 Ortak mod filtre

Ortak mod endüktanslar eş sayıda sarımlı 2 sarımdan oluşur. Bu sarımlar aynı nüve üzerinde



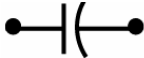
olurlar. Her iki sarımdan geçen hat akımları manyetik akı oluşturur. Bu manyetik akılar aynı genlikte zıt yöndedir. Sonuç olarak sarımlardan oluşan manyetik akılar birbirlerini yok ederler. Diferansiyel mod endüktans tek sarımdan meydana gelir. Diferansiyel mod endüktans, hat akımını doyuma gitmeden geçirmelidir. Doyumu önlemek için diferansiyel mod nüve geçirgenliği çok düşük olan malzemelerden seçilir. Diferansiyel mod endüktans için boşluklu ferit veya toz nüve kullanılmalıdır. Ortak mod endüktans için nüvenin yalıtkanlığının önemi boyutla ilişkilidir. Yalıtkanlığı yüksek bir nüve seçip küçük bir hacimde yüksek bir endüktans elde edilebilir [37].

5.2.1 Devre Elemanlarının İdeal Olmayan Davranışları

Devre elemanlarının incelemelerini yaparken genellikle, elemanların ideal olduğunu varsayılır. Bu varsayımlar EMI gibi hassasiyet gerektiren konularda büyük sorunlara yol açabilir. EMI için filtre tasarlarken devre elemanlarının ideal olmadığını hesaba katmak ve devre elemanlarının frekans karakteristiklerini dikkate almak gerekir.

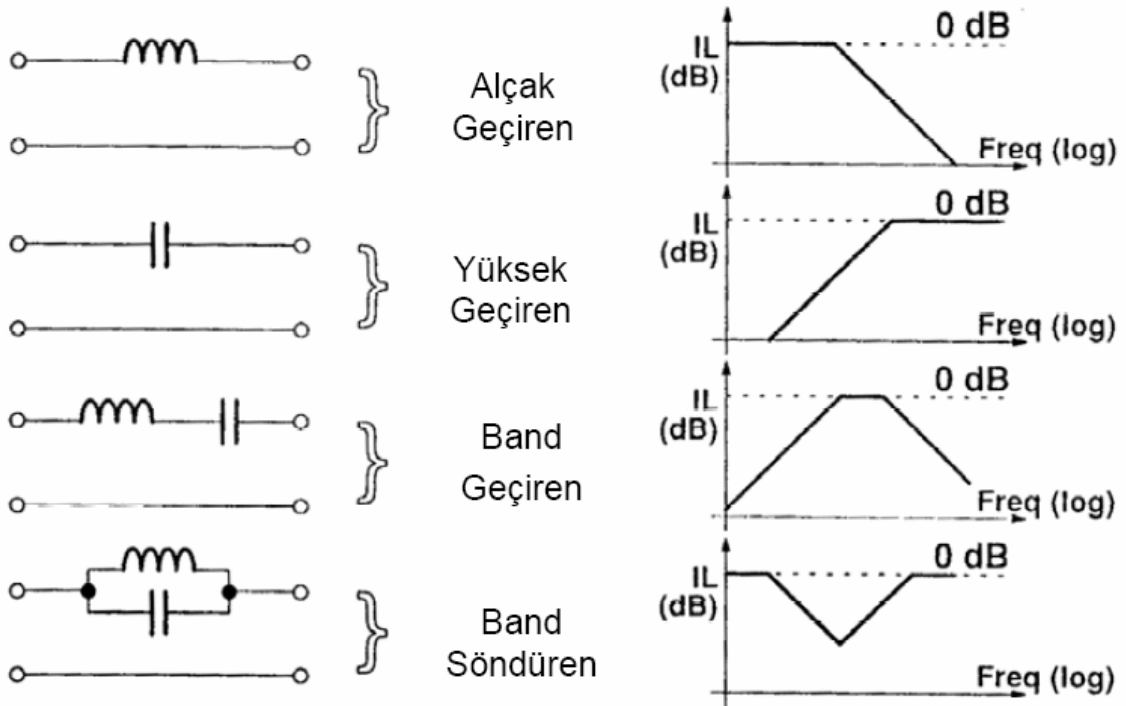
Elektrik devre modelinde temel eleman olarak kullanılan direnç, endüktans ve kondansatörün sembolleri ve model denklemleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Devre elemanları, birimleri, semboller ve ideal AC modelleri ($V=ZI$)

Direnç	R [Ω]		$Z = R$
Endüktans	L [Henry]		$Z_L = j\omega L$
Kondansatör	C [Farad]		$Z_C = 1 / (j\omega C)$

DC gerilimler için kısaca ohm yasasının ($V = RI$) geçerli olduğu direnç elemanı, uçlarına uygulanan gerilimle doğru orantılı bir akım geçiren eleman olarak tanımlanır. AC devrelerde, Z eleman empedansı olmak üzere, bu eşitlik $V=ZI$ şeklini alır. Sarım şeklinde iletkenlerden oluşturulan endüktans DC gerilimler için kısa devre etkisi gösterir. DC gerilimlerde kondansatör elemanı, açık devre etkisi gösterir. Şekil 5.12’de endüktansın ve kondansatörün AC gerilimler için akım karakteristiği gösterilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi kondansatör ve endüktans elemanları AC gerilimlerde sıfırdan farklı empedans değerlerine sahiptir. Bu

özellikler her iki elemanın da bir devreye seri/paralel bağlanarak DC/AC filtresi gibi kullanılabileceğini gösterir.

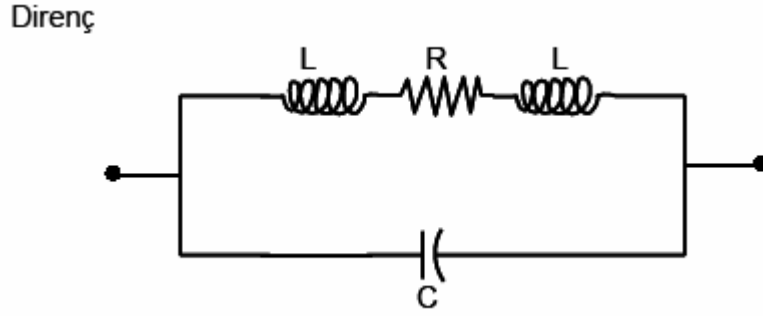


Şekil 5.12 Temel LC filtreler

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, bir devrede giriş/çıkış arasında sadece AC işaretlerin iletilmesi, DC’nin süzülmesi istendiğinde, bir kondansatörün araya paralel bağlanması yeterlidir. DC ve düşük frekanslı sinyallerin iletilmesi istendiğinde seri bir endüktansı kullanılması yeterlidir. Bu iki elemanın birlikte kullanılması bant geçiren veya bant söndüren karakteristikler gösterir.

Gerçek RLC Modelleri

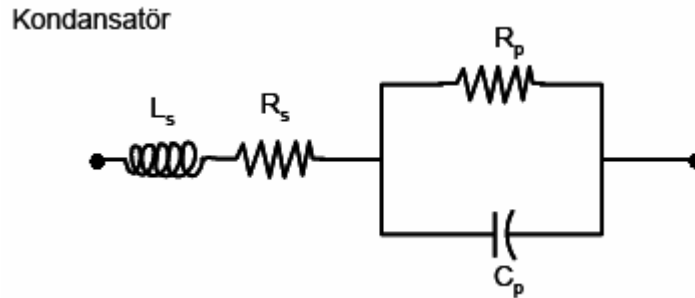
Şekil 5.13’te direnç elemanlarının uygulamadaki davranışlarını daha gerçekçi açıklayan bir model gösterilmiştir. R değerindeki direncin gerçek hayattaki etkisi L değerinde iki seri endüktans ve C değerinde paralel bir kondansatörden oluşan bir devre ile modellenir.



Şekil 5.13 Direnç elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri

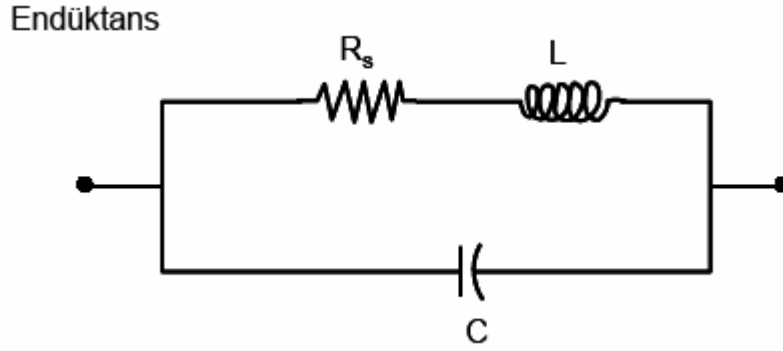
Bir kondansatör yüksek frekanslara doğru gidildiğinde bağlantı ve lehim noktalarındaki istenmeyen kaçak etkiler nedeniyle seri bir LC devresi gibi davranır.

Hiçbir basit devre elemanı yüksek frekanslarda sadece kendisinden beklenen etkiyi gösteremez. Kondansatörün gerçekçi modeli Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Kondansatör elemanı, paralel iletkenler arasındaki kayıpları temsil eden paralel direnç ile bağlantı kayıplarını modelleyen seri direnç ve endüktanstan oluşmaktadır.



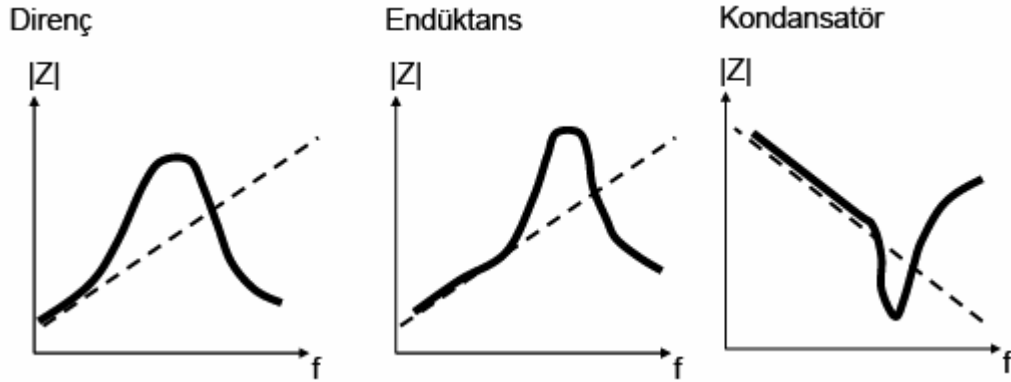
Şekil 5.14 Kondansatör elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri

Endüktans, yüksek frekanslarda bağlantı noktaları arasında oluşan kaçak kapasite etkileri nedeniyle paralel LC devresi gibi etki gösterir. Endüktansın gerçekçi modelinde ise Şekil 5.15'de gösterilen ve iletken kayıplarını temsil eden seri bir direnç ile sarımlar arasında oluşan kapasitif etkileri modelleyen bir paralel kondansatörden oluşmaktadır.



Şekil 5.15 Endüktans elemanı ve yüksek frekans eşdeğeri

Temel devre elemanlarının verilen eşdeğer modellerine ait tipik davranışlar Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



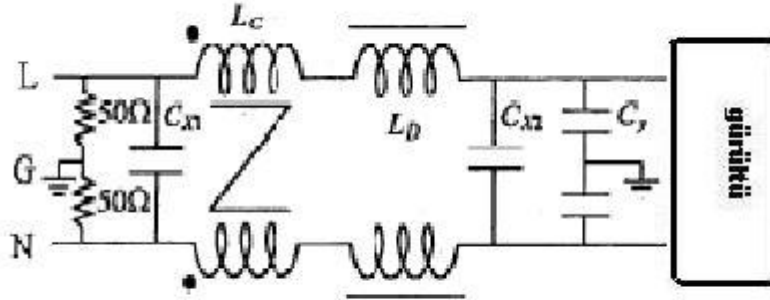
Şekil 5.16 R,L,C elemanlarının gerçek davranışları

EMC denince ilk göz önüne alınması gereken konu gerçek dünyanın modellerden çok farklı olduğudur. Temel RLC devre elemanlarının ideal davranışlarından bu kadar sapabilmesi göz önünde bulundurulduğunda bu elemanlardan onlarca kullanılan sistemlerde, sistemin davranışlarını tahmin etmek oldukça zordur [38].

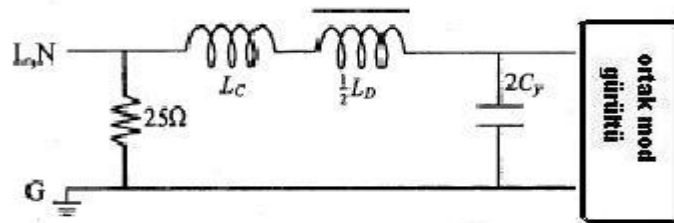
5.2.2 Filtre Tasarımı

EMI filtresi için genellikle kullanılan topoloji Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Şekil 5.18'de ortak mod gürültü filtresi ve Şekil 5.19'da diferansiyel mod gürültü filtresi gösterilmiştir. Şekil 5.19 ve 5.20'ye bakıldığında bazı filtre elemanları sadece ortak mod veya sadece diferansiyel mod gürültülere etki etse de bazı elemanlar hem ortak mod hem de diferansiyel mod gürültüye tesir eder. C_{X1} ve C_{X2} kondansatörleri sadece diferansiyel gürültüye etki eder. İdeal ortak mod endüktansı L_C sadece ortak mod gürültüye tesir etse de kaçak endüktansı diferansiyel mod

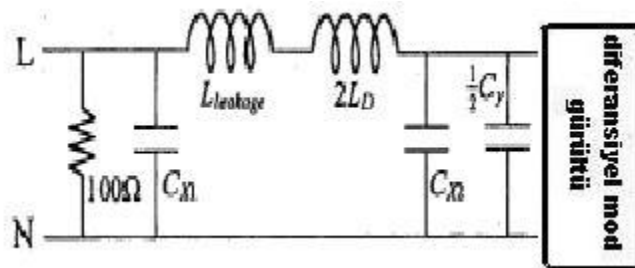
gürültüye tesir eder. C_y hem ortak hem de diferansiyel mod gürültüye tesir eder ama C_{X2} daha büyük değerde olduğu için, diferansiyel mod gürültüye tesiri azdır. L_D endüktansı da hem ortak mod hem de diferansiyel mod gürültüye tesir eder ama L_C endüktansına göre düşük değeri olduğu için ortak mod gürültüye tesiri azdır.



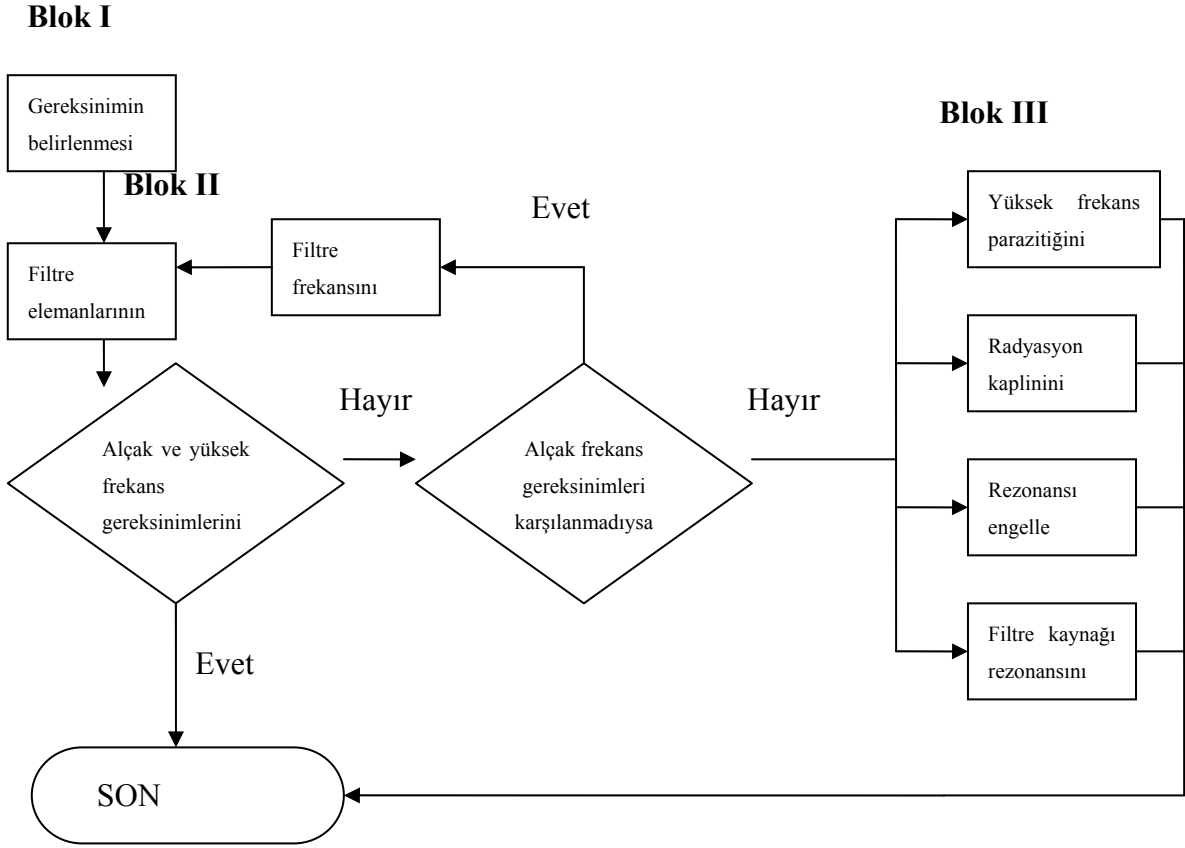
Şekil 5.17 Genel bir EMI filtresi



Şekil 5.18 Ortak mod filtre

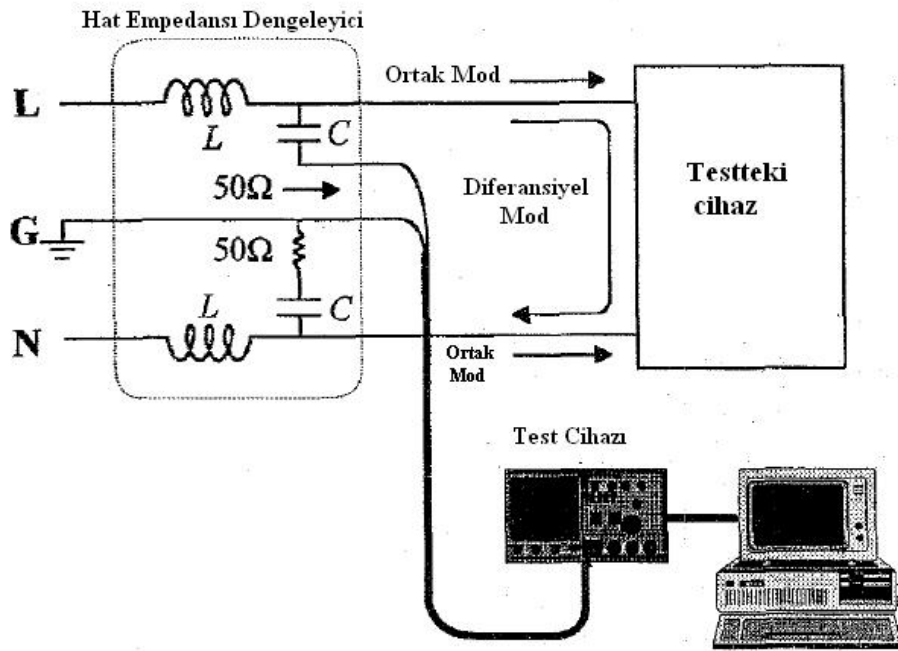


Şekil 5.19 Diferansiyel mod filtre



Şekil 5.20 EMI filtresi dizaynında uygulanması gereken akış diyagramı

Filtre dizaynında Şekil 5.20'deki akış diyagramı kullanılır. Akış diyagramının 1. bloğunda gösterilen ve dizayn için ilk önce yapılması gereken işlem, gereken filtre gereksinimlerinin belirlenmesidir. Bu gereksinimin belirlenmesi için gürültü ayrıştırıcı sistemi kullanılıp ortak mod ve diferansiyel mod gürültüler ölçülmelidir. Şekil 5.21'de örnek test düzeneği gösterilmiştir.

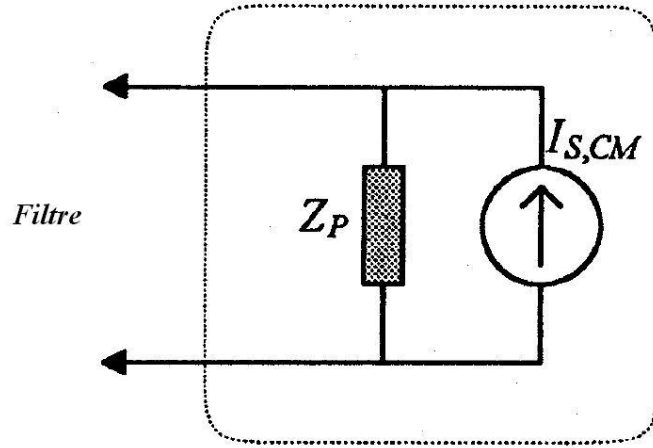


Şekil 5.21 Örnek bir test düzeneği

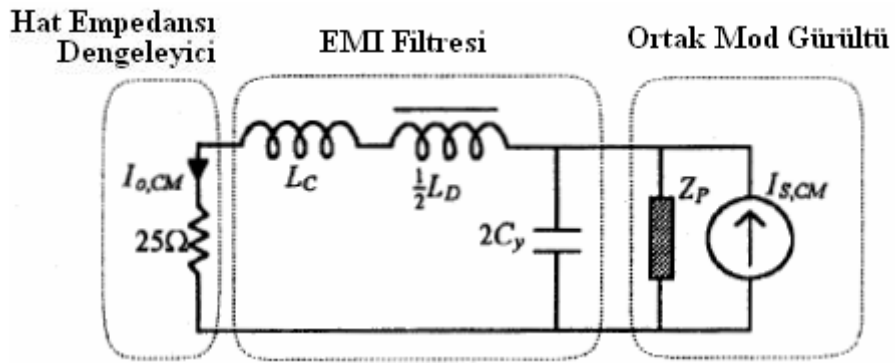
Blok I'de bulunan değerlere göre blok II de filtre için gereken değerler belirlenir. Blok II'de filtrenin düşük frekans isteklerini karşılaması sağlanır. Eğer Blok II'nin sonunda yüksek frekans istekleri sağlanmıyorsa Blok III'e geçilir. Blok III'te yüksek frekans isteklerinin karşılanmamasının sebebi olan genellikle karşılaşılan 4 sonuç gösterilmiştir. Bu sebepler filtre elemanlarının yüksek frekans parazitik etkileri, ışımaya karşı duyarlılık, filtre kaynak rezonansı, filtrenin erken sönen rezonansı olarak sıralanabilir.

5.2.3 Filtre Elemanlarının Değerlerinin Bulunması

Ortak mod filtreler, Şekil 5.18'de gösterildiği gibi olup Şekil 5.23'deki gibi modellenir. Eğer empedans değerleri karşılanırsa Şekil 5.25'deki sadeleştirme yapılabilir ve transfer fonksiyonu $V_{S,CM}/V_{O,CM}$ şeklinde elde edilir. Şekilde filtre bastırma oranı $V_{LISN(filtresiz)}/V_{LISN(filtreli)}$. Bu şekillerin sonucunda filtre bastırımı LCM ($LC+LD/2$) ve CCM ($2CY$) ile belirlenir. Şekil 5.26'da frekansa göre ortak mod gürültünün grafiği verilmiştir. Uygulamada $LC \gg 0,5 LD$ ve $f_{R,CM}$ frekansı LC ve CY ile bulunur. Şekil 5.22'de ortak mod gürültü modeli gösterilmiştir. Şekil 5.24'de ortak mod filtre modeline karşılık gelen devre gösterilmiştir.

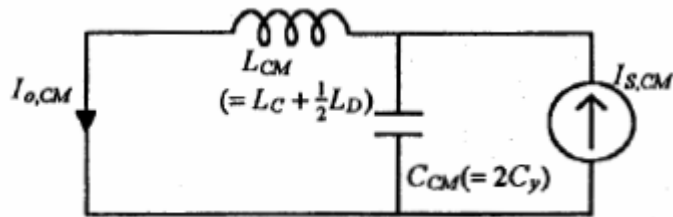


Şekil 5.22 Ortak mod gürültünün modellenmesi



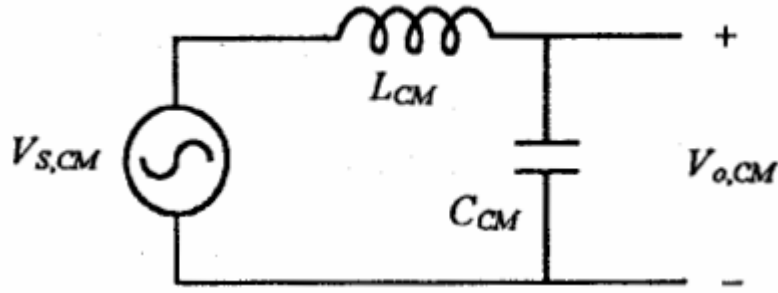
Şekil 5.23 Ortak mod EMI filtresi modeli

$$\frac{1}{\omega(2C_y)} \ll Z_p \quad \Rightarrow \quad \omega(L_C + \frac{1}{2}L_D) \gg 25\Omega \quad (5.21)$$



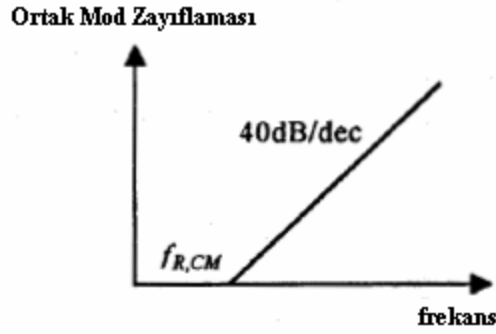
Şekil 5.24 Ortak mod filtre modeline karşılık gelen devre

Şekil 5.26'da ortak mod filtrenin düşürme oranı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.25 Ortak mod filtre modeline karşılık gelen devre (sadeleştirilmiş)

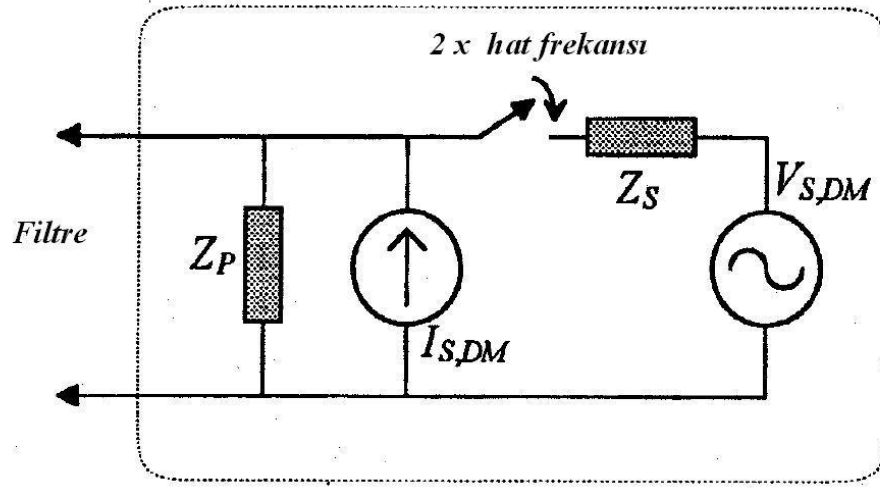
$$CM \text{ Zayıflama} = \frac{V_{LISN}(\text{filtreli})}{V_{LISN}(\text{filtresiz})} = \frac{I_{S,CM} 25\Omega}{I_{O,CM} 25\Omega} \approx \frac{V_{S,CM}}{V_{O,CM}} \quad (5.22)$$



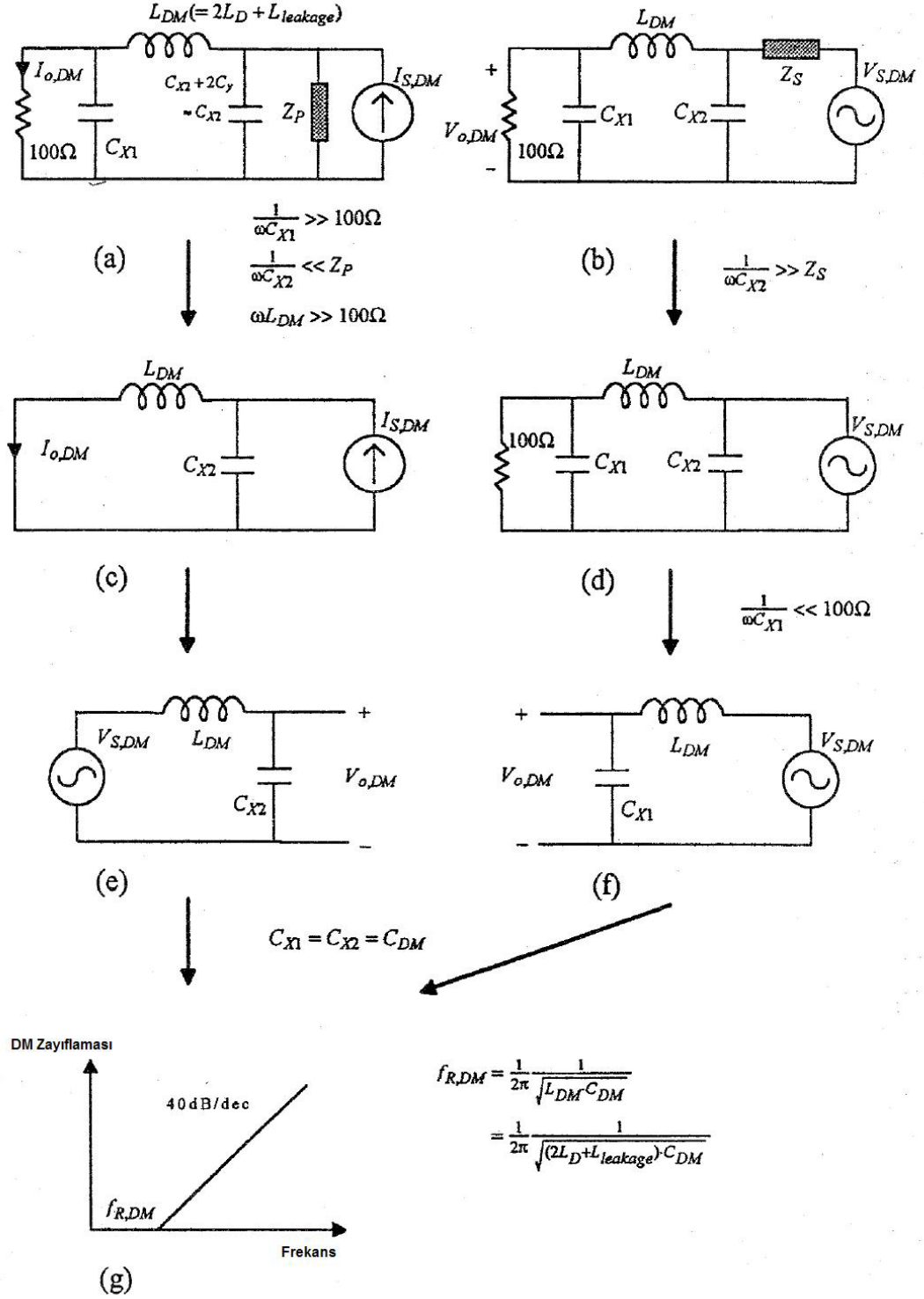
Şekil 5.26 Ortak mod filtre gürültü düşürme oranı

$$L_C \gg \frac{1}{2}L_D \Rightarrow f_{R,CM} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{CM}C_{CM}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_C + \frac{1}{2}L_D)2C_y}} \approx \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_C}2C_y} \quad (5.23)$$

Şekil 5.19'da diferansiyel mod filtre modeli gösterilmiştir. Diferansiyel mod filtreler, doğrultucu diyotların geçirme durumuna bağlı olarak yüksek veya alçak olabilir. Şekil 5.28'de eşdeğer iki devrenin grafiksel açıklaması gösterilmiştir. Diyotlar geçirmediği zaman şekil 5.28(a)'daki modeli, diyotlar iletimdeyken Şekil 5.28(b)'deki modeli kullanılır. Empedans koşulları sağlandığı takdirde transfer fonksiyonu $V_{S,DM}/V_{O,DM}$ (Şekil 5.28(e) ve 5.28(f)) olarak bulunur. Diferansiyel mod eş değer devre her periyotta iki eş değer arasında değişim gösterir. Fakat $C_{X1} = C_{X2} = C_{DM}$ ise toplam diferansiyel mod filtre bastırımı $L_{DM} (= 2 \cdot L_D + L_{kaçak})$ ve C_{DM} ile belirlenir.



Şekil 5.27 Diferansiyel mod gürültünün eşdeğer devresi



Şekil 5.28 Diferansiyel mod filtrenin eş değer devresi ve zayıflama oranları (b) doğrultucu diyotları iletimde iken diferansiyel mod filtre eşdeğer devresi (a) doğrultucu diyotları kesimde iken diferansiyel mod filtre eşdeğer devresi

Tasarım Aşamaları

Adım 1: Ortak mod ve diferansiyel mod gürültüler gürültü ayırıştırıcı yardımıyla ölçülür.

Adım 2: Gerekli olan ortak mod azaltım ve diferansiyel mod azaltım bulunur.

$$(V_{\text{gerekli,ortakmod}})_{\text{dB}} = (V_{\text{CM}})_{\text{dB}} - (V_{\text{limit}})_{\text{dB}} + 3\text{dB} \quad (5.24)$$

$$(V_{\text{gerekli,difemod}})_{\text{dB}} = (V_{\text{DM}})_{\text{dB}} - (V_{\text{limit}})_{\text{dB}} + 3\text{dB} \quad (5.25)$$

$(V_{\text{CM}})_{\text{dB}}$ ve $(V_{\text{DM}})_{\text{dB}}$ birinci adımdan bulunur. V_{limit} ise standart kuruluşlarınca belirtilir. 3dB ise ölçüm cihazının hata payından dolayı oluşacak hata payını azaltmak için kullanılır.

Adım 3: Filtre frekansının belirlenir.

f_{RCM} adım 2 de bulunan $(V_{\text{CM}})_{\text{dB}}$ ' e çizilen 40dB/dec-slope eğiminden bulunur. Kesişen noktanın yatay bileşeni ortak filtrenin frekansını belirler. Aynı şekilde diferansiyel mod filtre için de yapılır.

Adım 4: Filtre devre elemanlarının değerleri belirlenir.

Ortak mod filtre devre elemanları L_C ve C_Y nin belirlenmesi :

Ürün güvenliği standartlarına göre sızıntı akımdan dolayı C_Y kondansatörünün değeri 3300 pF ile sınırlandırılmıştır. L_C ve $2C_Y$ adım 3'te bulunan f_{RCM} ile rezonans yapmalıdır. böylelikle 5.26 denklemini elde edilir.

$$L_C = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{RCM}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot C_Y} \quad (5.26)$$

Diferansiyel mod filtre devre elemanlarının (L_D , C_{X1} ve C_{X2}) belirlenmesi:

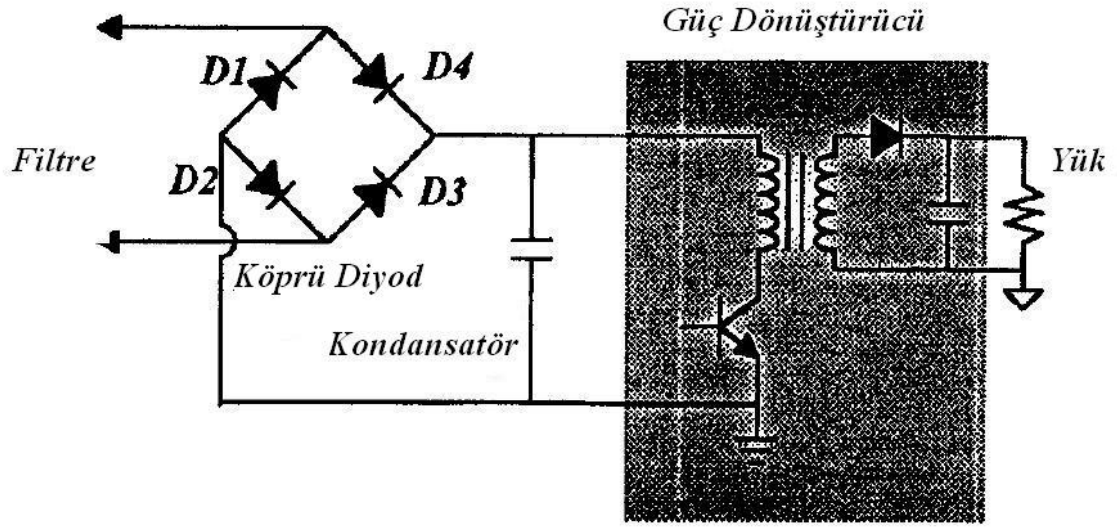
Teorik kısımda belirtildiği gibi $C_{X1} = C_{X2} = C_{DM}$ olmalı ve L_{DM} ise adım 3'te bulunan f_{RDM} den bulunmalıdır.

$$C_{X1} = C_{X2} = C_{DM} = \left(\frac{1}{2\pi \cdot f_{\text{RDM}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{L_{DM}} \quad (5.27)$$

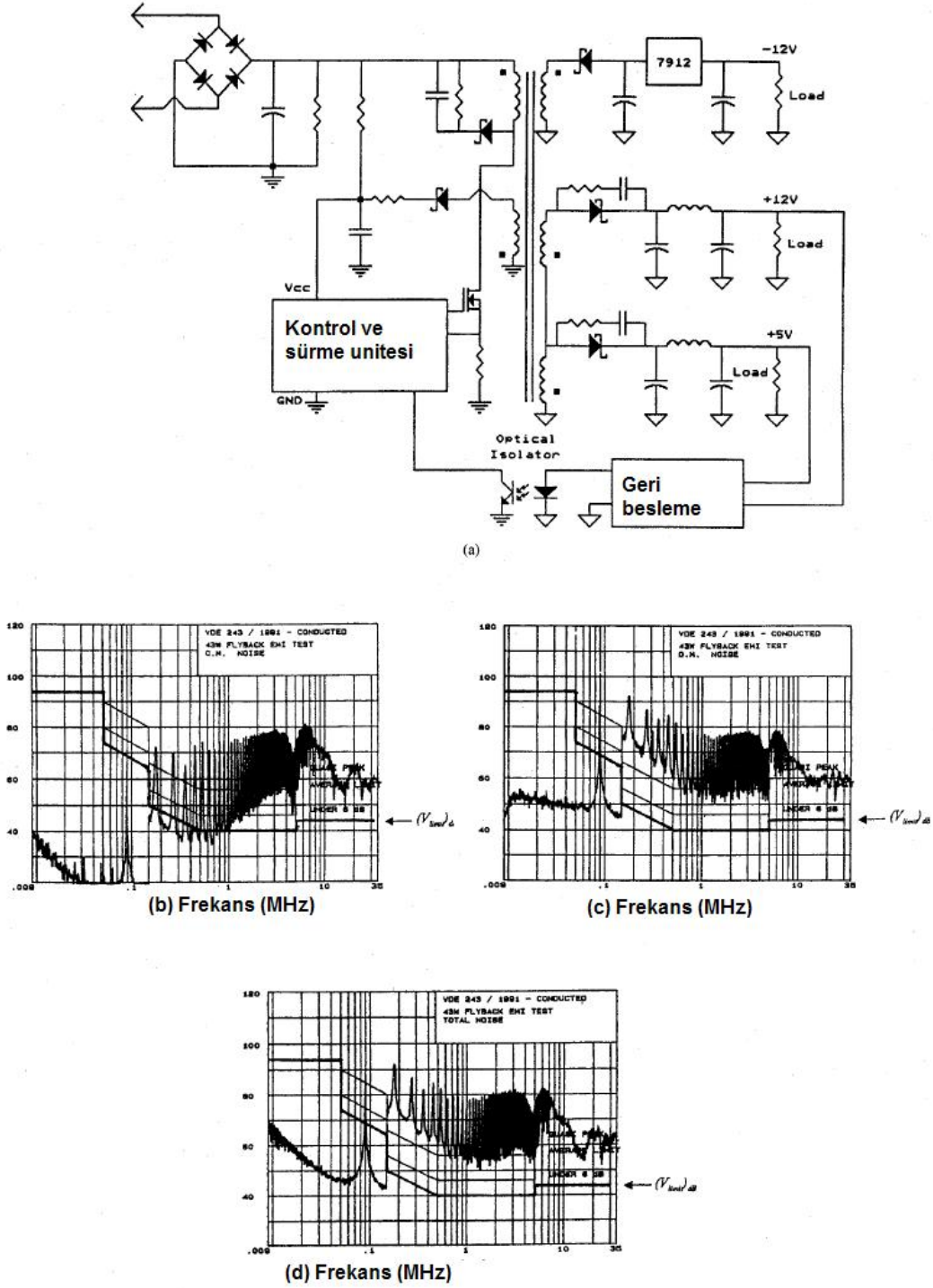
f_{RDM} adım 2'den bulunduğundan denklemde hala bilinmeyenler vardır. Endüktansın büyümesi kondansatörün azalması veya kondansatörün büyümesi endüktansın küçülmesi anlamına gelir. Ortak mod endüktansının kaçak endüktansı diferansiyel mod endüktansı olarak kullanılabilirdiğinden diferansiyel mod endüktans gerekmez.

5.2.4 Sayısal Örnekler

Örnek 1:



Şekil 5.29 Örnek bir geri dönüşlü (flyback) güç dönüştürücü şeması



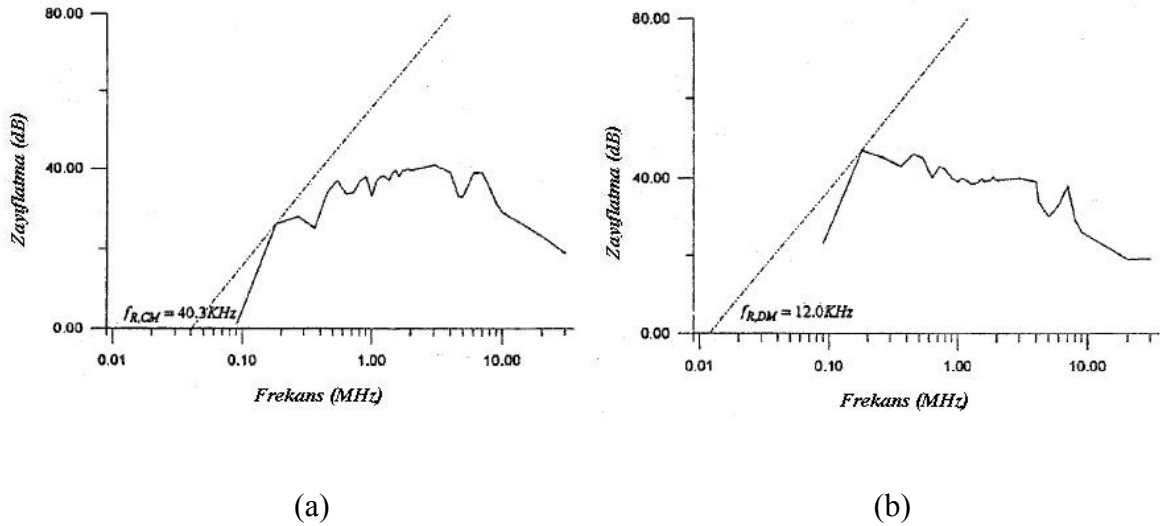
Şekil 5.30 (a) 43 W geri dönüşlü anahtarlamalı güç kaynağı devre şeması (b) ortak mod gürültü taban çizgisi (c) diferansiyel mod gürültü taban çizgisi (d) toplam gürültünün taban çizgisi

Şekil 5.29 da geri dönüşlü bir güç dönüştürücünün prensip devre şeması gösterilmiştir. Şekil 5.30 da gösterilen, 90 kHz anahtarlama frekansında çıkış gücü 43 W olan giriş gerilimi 90 ile 260 V arasında değişen bir geri dönüşlü anahtarlamalı güç kaynağı için filtre tasarlanmıştır.

Dizayn için 6dB'lik limit kullanılmıştır.

Adım 1: Ortak mod gürültüleri ve diferansiyel mod gürültüleri gürültü ayrıştırıcı yardımıyla ölçülür ve V_{DM} ile V_{CM} bulunur (Şekil 5.30(b), 5.30(c) ve 5.30(d)).

Adım 2: $(V_{\text{gerekli,ortakmod}})_{dB}$ ve $(V_{\text{gerekli,difemod}})_{dB}$ değerleri $(V_{\text{limit}})_{dB}$ e değer olarak 6 verildiğinde elde edilen sonuçlardır.



Şekil 5.31 (a) Ortam mod zayıflatma oranı (b) diferansiyel mod zayıflatma oranı

Adım 3: şekil 5.31(a)'dan ve 5.31(b)'den $f_{R,CM} = 40.3$ kHz ve $f_{R,DM} = 12$ kHz bulunur.

Adım 4 (a) : $C_Y = 3300$ pF ve buna göre L_C

$$L_C = \left[\frac{1}{2\pi \cdot (40,3 \cdot 10^3)} \right]^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 3300 \cdot 10^{-12}} = 2,36 \text{ mH}$$

olarak bulunur.

L_C değerini 2,4 mH seçtiğimiz takdirde ölçüm vasıtasıyla kaçak endüktansı 36 μ H bulunur.

Adım 4 (b): $f_{R,DM} = 12$ kHz alındığı takdirde L_{DM} ve C_{DM} için sonsuz çözüm vardır kullanılabilir 3 çözüm aşağıda belirtilmiştir.

1-) Kaçak endüktansı diferansiyel mod endüktans olarak kullanmak;

Kaçak endüktansı ölçümle 36 μ H bulunduğunda C_{DM} 4,75 μ F olur. Böyle bir kondansatörün hacmi çok büyük olur.

2-) C_{DM} 0,47 μ F seçilirse . $L_{DM} = 374 \mu$ H ve $L_D = L_{DM} - L_{kaçak} / 2 = 169 \mu$ H olur pratik olarak 180 μ H seçilir.

3-) C_{DM} 0,22 μ F seçilirse L_{DM} 800 μ H bulunur ve L_D 380 μ H olur.

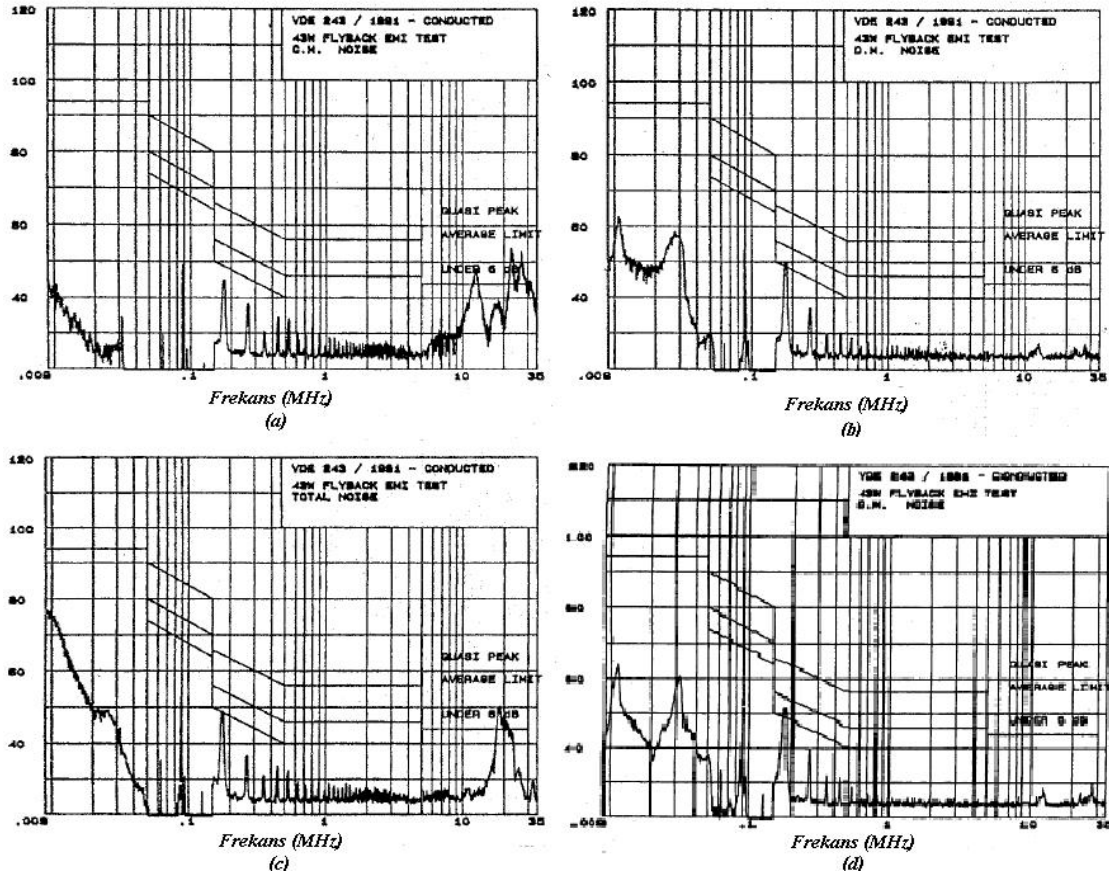
Çıkan sonuçlar değerlendirildiği zaman 2. ve 3. filtreyi yapılması daha uygun bulunmuştur.

Filtre 2 : $L_C = 2,4$ mH ($L_{kaçak} = 36\mu$ H), $L_D = 180\mu$ H,

$$C_{X1} = C_{X2} = 0,47 \mu\text{F} , C_Y = 3300\text{pF}.$$

Filtre 3 : $L_C = 2,4$ mH ($L_{kaçak} = 36\mu$ H), $L_D = 180\mu$ H,

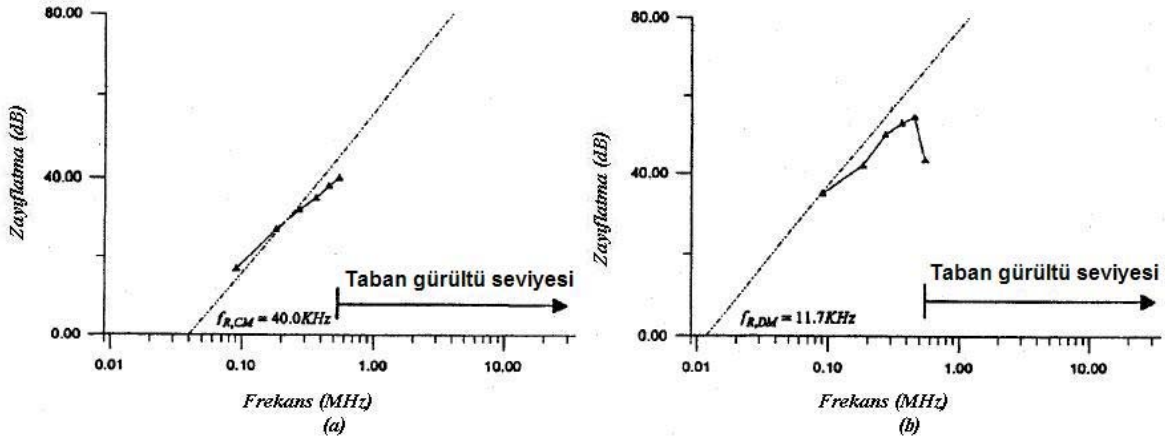
$$C_{X1} = C_{X2} = 0,47 \mu\text{F} , C_Y = 3300\text{pF}.$$



Şekil 5.32 Filtre 2 devredeyken ölçülen (a) ortak mod gürültü (b) diferansiyel mod gürültü (c) ölçülen toplam gürültü. (d) diferansiyel mod gürültü

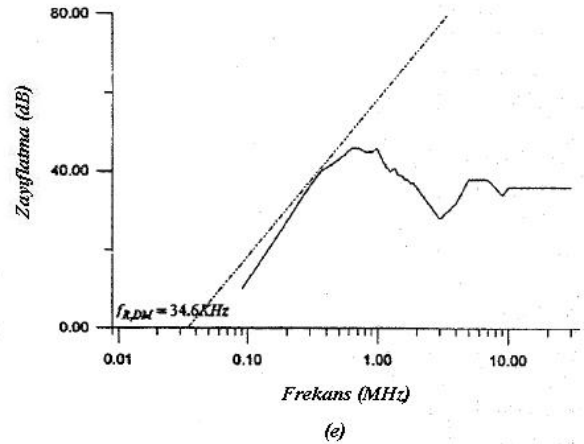
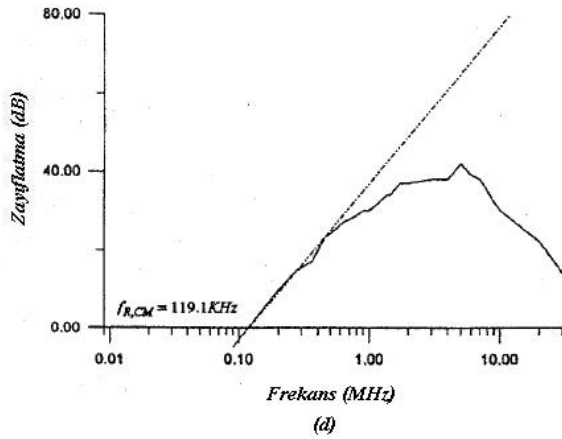
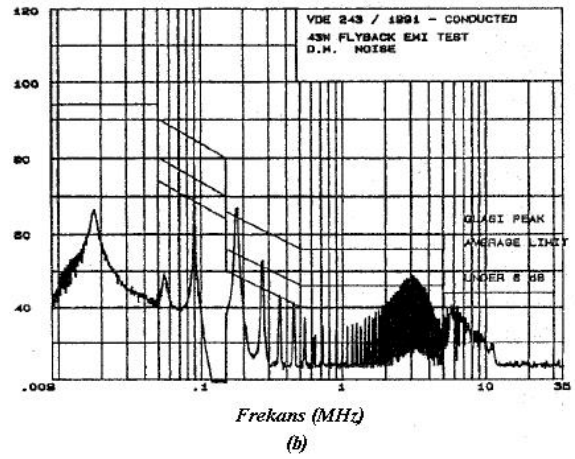
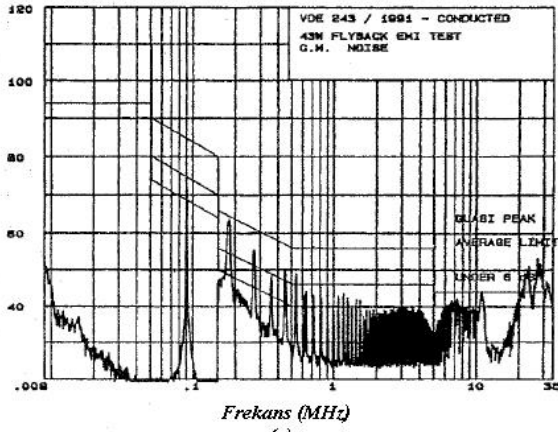
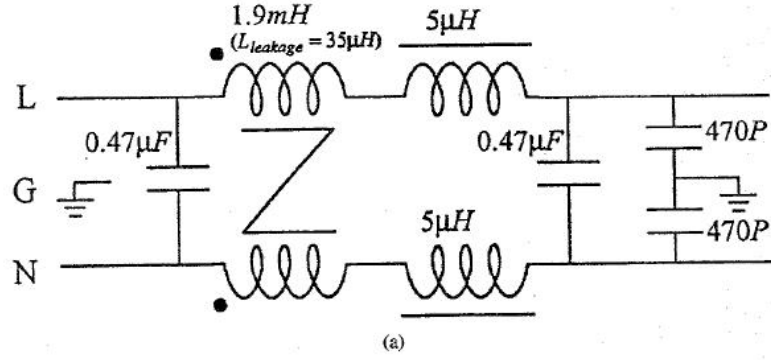
Filtre 2 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.32'deki gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi filtre 2 düşük frekans dizayn amaçlarına ulaşmıştır. Filtre 2 kullanılarak elde edilen sistem 20

MHz civarında yayılım limitlerini aşmıştır. Bunun sebebi dış ortamdaki elektromanyetik gürültülerin sistemi etkilemesidir. EMI filtresi ve güç kaynağı arasındaki bağlantı yolları tekrar gözden geçirildiği zaman bu sonuç ortadan kalkmıştır. Filtre 3 ün ortak mod filtre katmanı filtre 2 ile aynı olduğundan sadece diferansiyel mod katmanı incelenmiştir. Şekil 5.32(d) filtre 3 için diferansiyel mod yayınımları göstermektedir. Şekil 5.32(d)'de gözüktüğü gibi filtre 2 deki yayılım ve filtre 3 deki yayılım benzerdir.



Şekil 5.33 Teorik olarak zayıflama ve gerçekteki zayıflamanın karşılaştırılması (a) ortak mod zayıflama (b) diferansiyel mod zayıflama

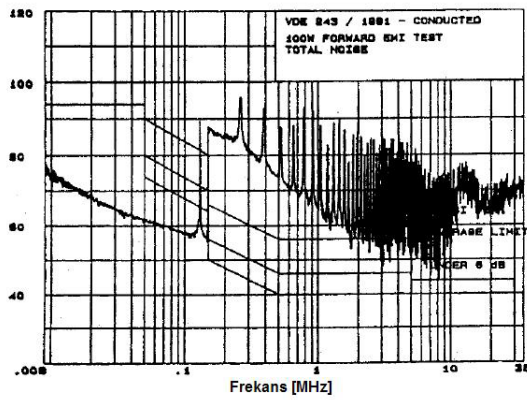
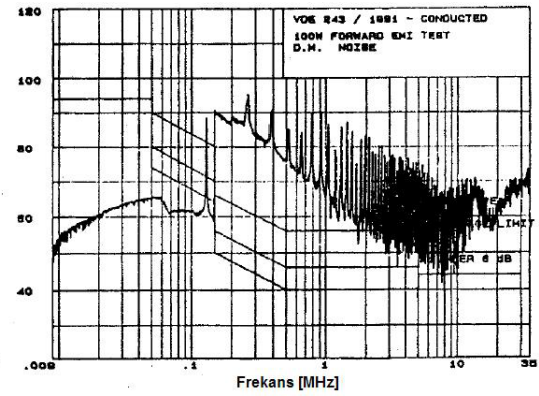
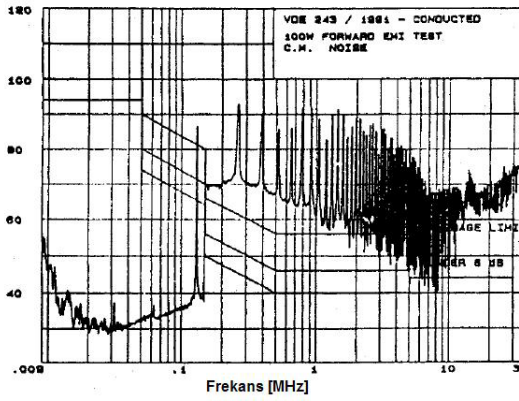
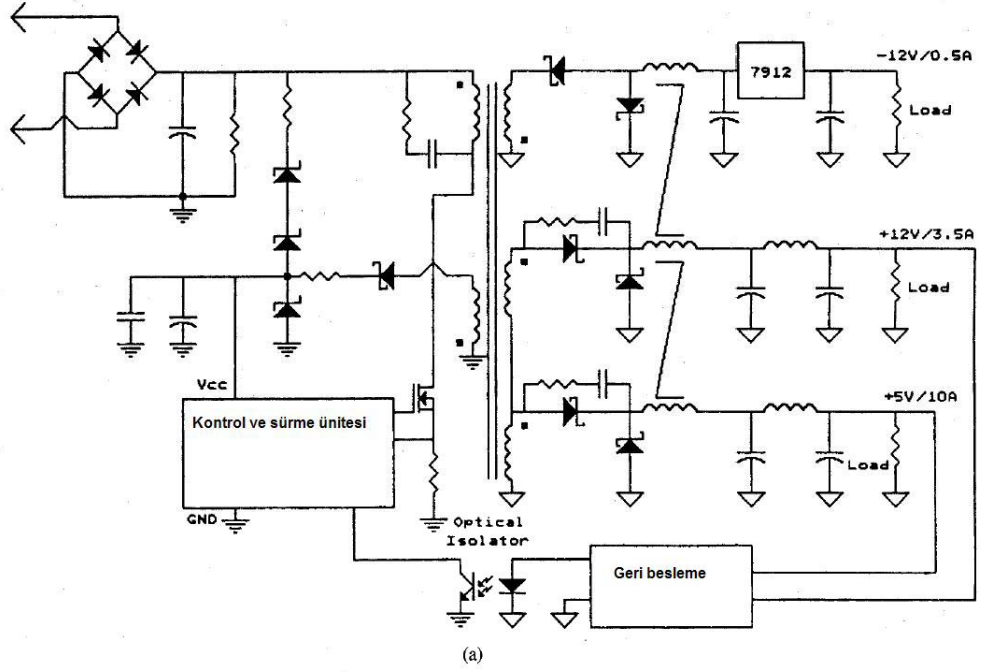
Gerçek filtre performanslarının karşılaştırılması ve tahmin edilen performansları Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Düşük frekanslarda her iki filtrede iyi sonuçlar vermiştir. Ancak 540 kHz'in üstünde karşılaştırma yapılmamıştır çünkü bu değerden sonra zaten gürültüler taban gürültü seviyesine düşürülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla Şekil 5.34(a)'daki filtre kurulmuştur. Gerçek performansı ortak mod gürültüler için Şekil 5.34(b) de diferansiyel mod performansı 5.34(c)'de gösterilmiştir. Filtreli sonuçlar Şekil 5.34(d) ve Şekil 5.34(e)'de gösterilmiştir. 700 kHz'in altında ortak mod ve diferansiyel mod ölçümleri olumludur. 700 kHz'in ötesinde sapmalar başlıyor. Bu sapmaların sebebi 1,9 mH ortak mod nüve olduğu tespit ediliyor. 1,9 mH'lik ortak mod nüve 900 kHz mertebelerinde kapasitif özellik göstermeye başlıyor. Bu kapasitif özelliğin sebebi geçirgenlikteki düşüş ve parazitik kondansatör dür. Bu denemenin sonucunda belirtildiği gibi filtrelerin yüksek frekans performansları bulmak zordur ve ancak uygulama yapıldıktan sonra ayarlamalar yapılabilir.



Şekil 5.34 (a) gerçek filtre performansını karşılaştırmak için daha küçük bir filtre (b) ölçülen ortak mod gürültü (c) ölçülen diferansiyel mod gürültü (d) ortak mod gürültü zayıflatma performansı (e) diferansiyel mod gürültü zayıflatma performansı

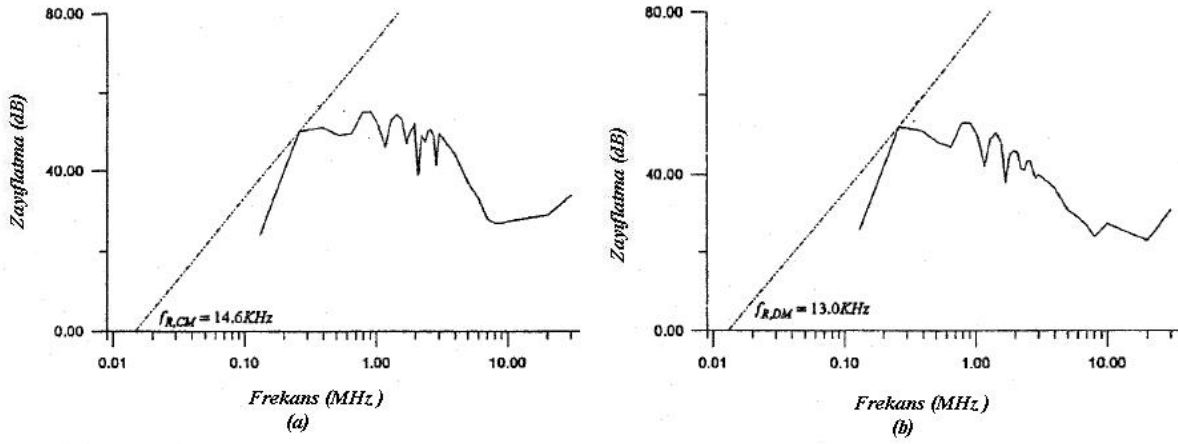
Örnek 2:

Şekil 5.35(a)'da verilmiş olan, giriş gerilimi 90-260 V, anahtarlama frekansı 130 kHz olan ve 100 W çıkış gücü sahip bir ileri yönlü topolojisinde tasarlanmış bir anahtarlama güç kaynağı için EMI filtresi tasarlanmıştır.



Şekil 5.35 (a) 100 W ileri yönlü anahtarlamalı güç kaynağı devre şeması (b) ortak mod gürültü (c) diferansiyel mod gürültü (d) toplam gürültü

Adım 1: Şekil 5.35(b) ve 5.35(c) de ortak ve diferansiyel mod gürültüler gösterilmiştir. Şekil 5.35(d)'de toplam gürültü gösterilmiştir.



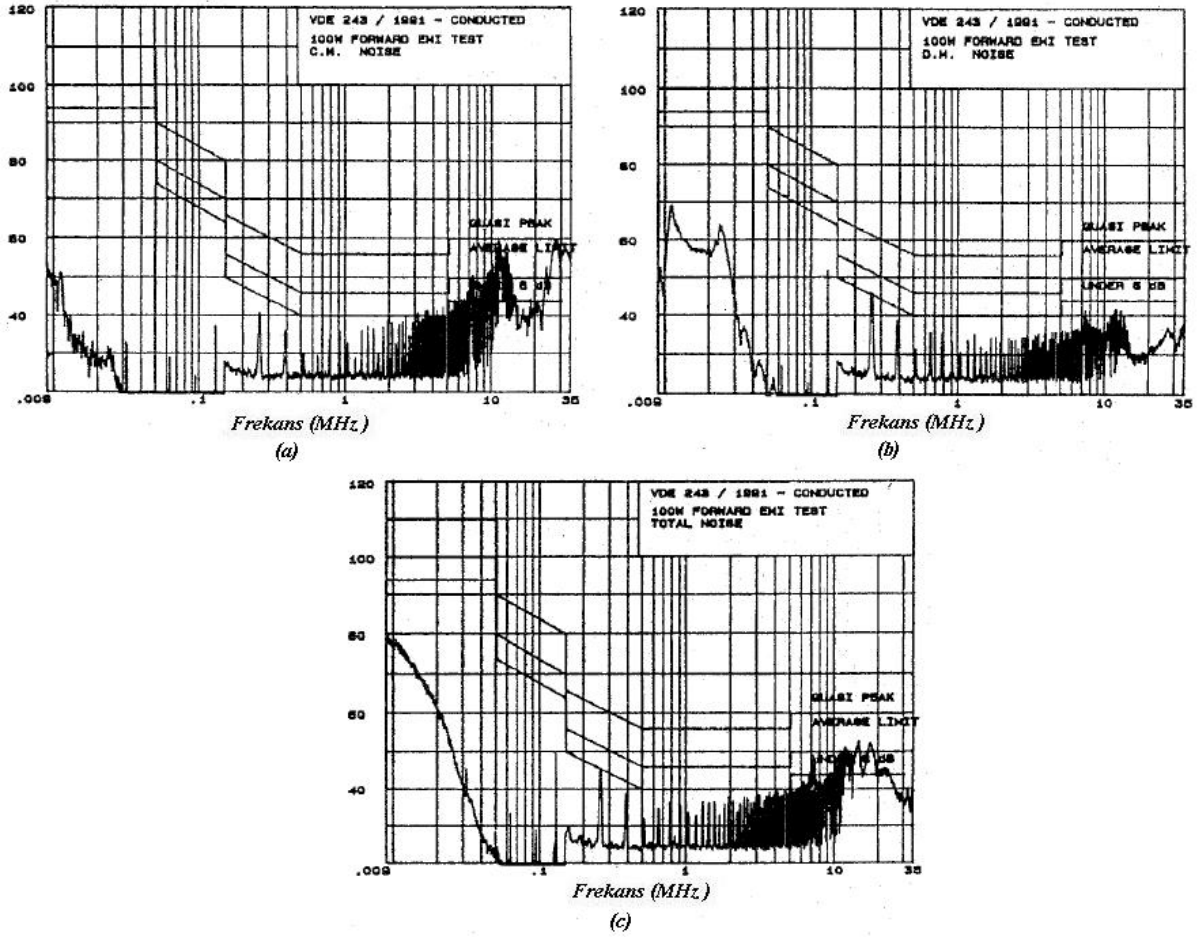
Şekil 5.36 (a) Ortam mod zayıflatma oranı (b) diferansiyel mod zayıflatma oranı

Adım 2 : Şekil 5.36(a) ve 5.36(b) gösterildiği gibi ortak mod ve diferansiyel mod zayıflatma gereksinimleri bulunur .

Adım 3 : Şekil 5.36(a) ve Şekil 5.36(b)'den $f_{R,CM} = 14,6$ kHz ve $f_{R,DM} = 13$ kHz bulunur

Adım 4 a): $C_Y = 3300$ pF ve buradan $L_C = 18$ mH bulunur . 20 mH'lik bir nüve seçilir . Seçilen bu nüvenin kaçak endüktansı $240 \mu H$ 'dir

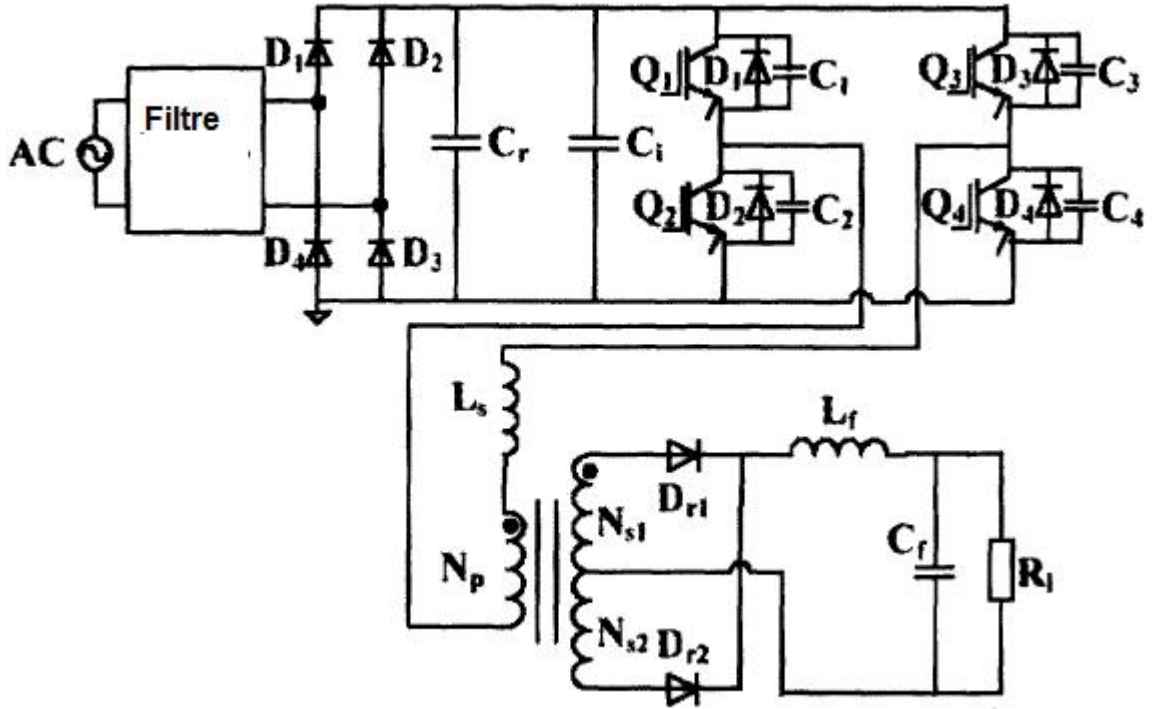
Adım 4 b): Kaçak endüktansı ($240 \mu H$) ortak mod endüktansı olarak kullanıp $C_{x1} = C_{x2} = C_{DM} = 0,68 \mu F$ bulunur. Şekil 5.37'de tasarlanan filtre kullanılarak elde edilen test sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında görüldüğü gibi tasarlanmış filtre düşük frekans gereksinimlerini karşılamıştır [39].



Şekil 5.37 Filtre devredeyken (a) ölçülen ortak mod gürültü (b) ölçülen diferansiyel mod gürültü (c) ölçülen toplam gürültü

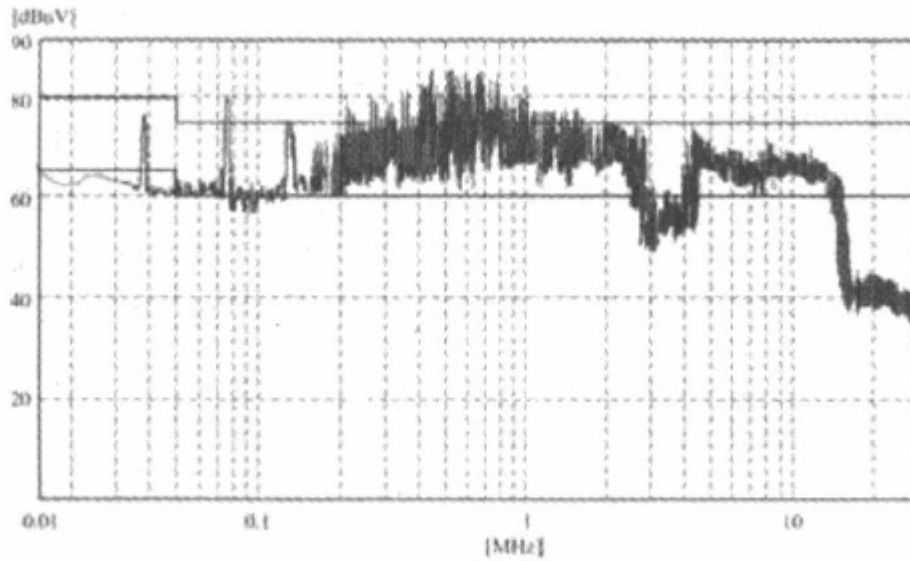
Örnek 3:

Şekil 5.38'de devre şeması verilen, giriş gerilimi 380-460 V, giriş akımı 17,5 A anahtarlama frekansı 40 kHz, çıkış gerilimi 78-82 V, çıkış akımı 89 A olan bir tam köprü anahtarlama güç kaynağına EMI filtresi tasarlanmıştır.

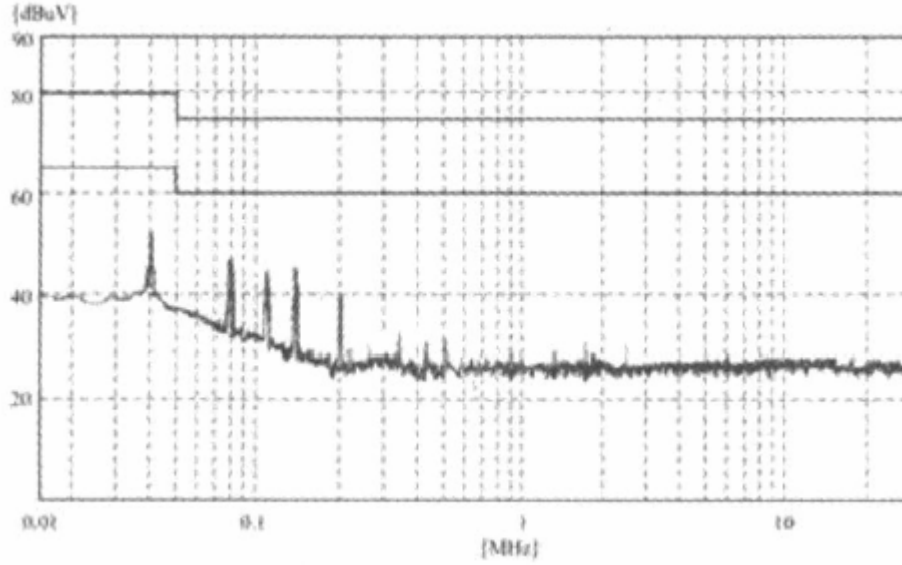


Şekil 5.38 Tam köprü dönüştürücü devre şeması

Frekansa göre ortak mod gürültü spektrumu Şekil 5.39'daki gibidir ve yaklaşık 50 dB mertebesindedir. Diferansiyel mod gürültü spektrumu şekil 5.40'daki gibidir ve yaklaşık 45 dB mertebesindedir.



Şekil 5.39 Filtre olmadan ölçülen ortak mod gürültü



Şekil 5.40 Filtre olmadan ölçülen diferansiyel mod gürültü

Şekil 5.39 ve 5.40'dan görüldüğü gibi gürültü seviyeleri 80 kHz ile 1 MHz arasında 40 dB'den fazladır. Limitin ilk geçen noktası 80 kHz'dir.

EMC standartlarına göre ortak mod filtre empedansı 25 ohm'dan fazla olmalıdır. Aynı zamanda EN 50121'e göre en düşük frekans limiti 9 kHz'dir. Bu bağlamda ortak mod endüktansı L_c

$$L_c > \frac{|Z_{\sin k}|}{2\pi f_o} = 0,4mH \quad (5.28)$$

bulunur ve 0,6mH seçilir .

Ortak mod filtreye göre durdurma frekansı f_{stop} aşağıdaki denklem ile bulunur .

$$f_{stop} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_c C_c}} \quad (5.29)$$

$L_c=0,6mH$ olduğuna göre ve $C_c=2C_Y$ ve $f_{stop}= 80$ kHz olduğundan C_y 0,35 μ F olarak bulunur.

Şekil 5.40'dan da görüldüğü gibi diferansiyel mod gürültü istenilen frekans aralığı limitinin altındadır. Toplam harmonik enerjiyi azaltmak için EMI filtresi tasarlamak gerekmektedir.

Durdurma frekansı temel frekansın iki katı seçilir ($f_{stop} = 100$ Hz). Diferansiyel mod empedans için limit değeri 100 ohm'dur ve düşük frekans limiti 9kHz'dir. Böylelikle:

$$L_d > \frac{|Z_{\sin k}|}{2\pi f_o} = 1.77 \text{ mH}$$

L_D 1.8 mH seçilir ve durdurma frekansı L_D ve C_D ye bağlı olup 5.30 denklemiyle hesaplanır.

$$f_{stop} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d C_x}} \quad (5.30)$$

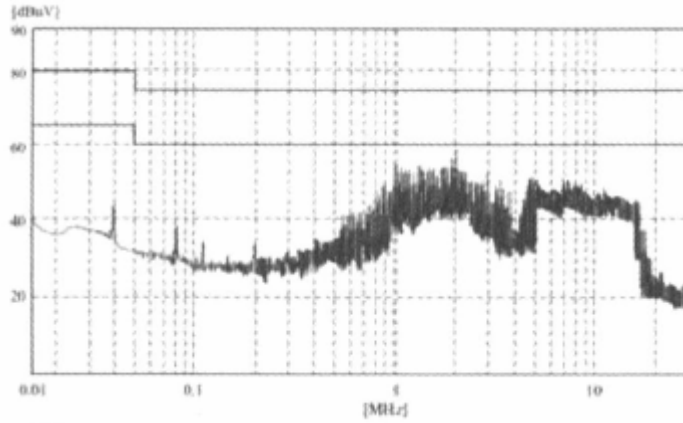
Buradan $C_D = 1407 \mu\text{F}$ bulunur. Uygulamalarda EMI filtresinde kullanılacak elemanları seçerken çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. EMI filtreleri , herhangi bir sisteme zarar vermemelidir ve diğer güvenlik limitlerine uymalıdır (Örn : sızıntı akımı).

Ortak mod filtrenin kaçak endüktansı diferansiyel mod filtreye katkıda bulunur aynı zamanda ortak mod filtrenin kaçak endüktansı da ortak mod filtreyi destekler.

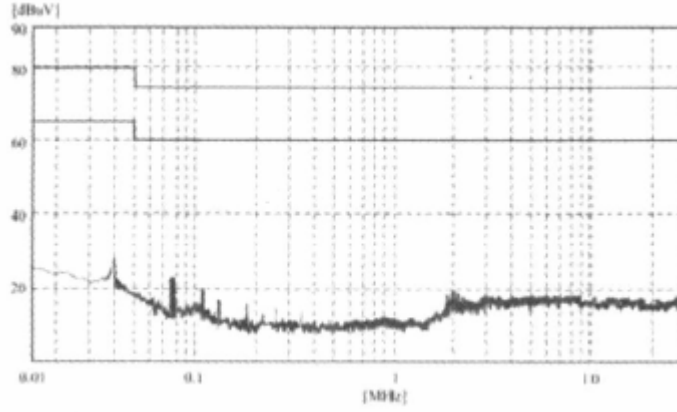
Bu kriterler göz önünde bulundurularak hesaplanan filtre elemanlarının değerleri aşağıda verilmiştir.

$C_Y=0.56 \mu\text{F}$, $L_C=0.47 \text{ mH}$, $C_D=4700 \mu\text{F}$ ve $L_D = 1.6 \text{ mH}$.

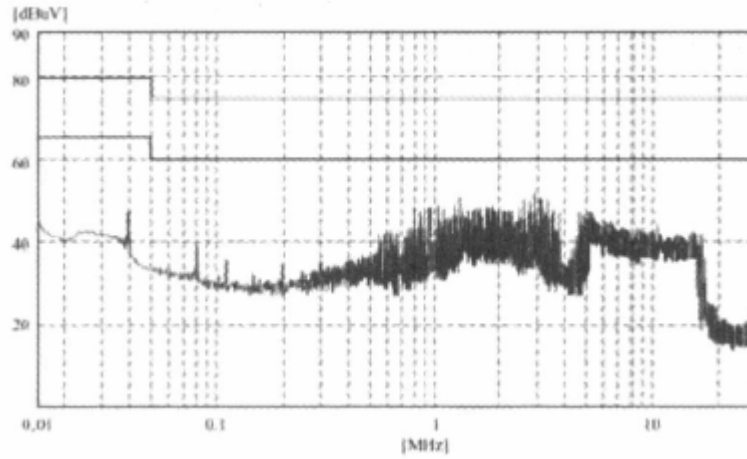
Bu devre elemanlarıyla kurulan filtreden sonraki gürültü analizi Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'deki gibidir [40].



Şekil 5.41 Filtre devredeyken ölçülen ortak mod gürültü



Şekil 5.42 Filtre devredeyken ölçülen diferansiyel mod gürültü



Şekil 5.43 Filtre devredeyken ölçülen toplam gürültü

Nüve malzemesi seçimi

Genellikle anahtarlama güç kaynaklarının ürettiği gürültüler ürünün temel frekansı ve bunun üzerindeki harmonikler şeklinde olup 10 kHz ile 50 MHz arasındadır.

Nüve malzemesi olarak genellikle nikel çinko ve manganez çinko seçilir. Nikel çinko başlangıçta düşük geçirgendir, geçirgenliklerini yüksek frekanslarda elde ederler. Bu sebepten nikel çinko malzemeler düşük frekanslarda düşük empedans gösterirler ve 10-20 MHz civarındaki yüksek frekanslı gürültüleri bastırmak için kullanılır. Manganez çinko malzemeler daha iletkenlikleri daha iyidir fakat iletkenlikleri 20 kHz ve altındaki frekanslarda düşer. Bu yüzden EMI filtreleri için genellikle manganez çinko malzemeler kullanılır.

Yüksek iletimli ferit nüveler çeşitli şekillerde olabilir. Genellikle ortak mod filtreler toroid'ler üzerine sarılır.

Toroidin seçilmesinin temelde iki sebebi vardır. Bunların ilki toroidler tek parça olduklarından dolayı daha ucuzdur. İki parçalı nüvelerin kullanılabilmesi için temas yüzeylerinin birbirine iyi temas etmesi gerekmekte ve hava boşluğunun olmaması gerekmektedir. Bunun dışında toroidler en iyi iletkenlik karakteristiğine sahip nüvelerdir. İki parçalı nüveler, birleşim yerlerindeki hava boşluklarından dolayı iletkenliklerini kaybederler (yüzde 30 civarında).

Toroidlerin dezavantajı sarım maliyetleri pahalı olmasıdır. Diğer nüveler için sarım ekonomik ve hızlı yapılabilir ama toroidlerin sarımı özel tekniklerle veya elle yapılır.

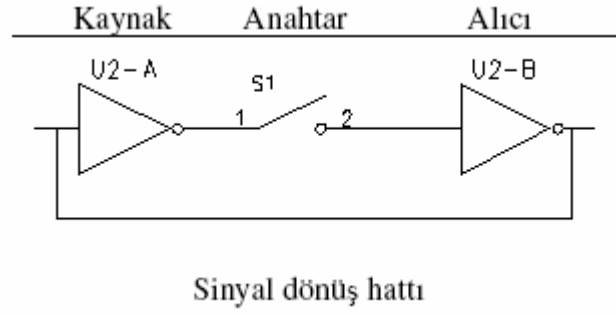
Ortak mod endüktanslar için çok sarım gerekmez. Bu yüzden sarım maliyeti göz önünde bulundurulması gereken bir etken değildir. Şekil 5.44'de çeşitli boyutlarda nüveler gösterilmiştir [39].



Şekil 5.44 Çeşitli toroid nüveler

5.2.5 PCB Tasarımından Kaynaklanan Problemler

Anahtarlama güç kaynaklarında bir çok darbe sinyaliyle anahtarlama olur. Bu sistemlerdeki denetleyici bacakları anten görevini üstlenip ortama gürültü yayarlar, bu gürültüler harici kablolarda gürültü oluşmasına sebep olur. Osilatör devreleri şebeke geriliminde harmonikler oluşmasına neden olabilir ve buda EMI kaynağı gibi davranır. Her iletim hattı sonlu bir empedans değerine sahiptir. Bu değer direnç ve bobin birleşimidir. Şekil 5.45'de PCB üzerinde RF enerjinin nasıl oluştuğunu açıklamaktadır.



Şekil 5.45 PCB üzerinde RF enerjinin oluşumu

Böylece toplam empedans değerinin düşük olması durumunda dönüş akımı zorlukla karşılaşmadan kaynağına geri dönecektir. Bu bağlantı için daha uzun bir hat kullanıldığında endüktans değeri artacaktır. Dolayısıyla toplam $Z (= R+j2\pi fL)$ artacaktır. Buradaki R artışı ihmal edilebilir. Yüksek frekanslarda toplam Z değeri daha da artmış olur. Havanın (boşluk) empedans değeri 377Ω 'dur. Buradaki 377Ω 'un asılması 100 kHz - 1 MHz arasındaki frekanslar için çok güçtür. Fakat dönüş hattı empedans değeri 377Ω 'dan daha büyük olması durumunda, akım düşük empedans yolunu tercih edeceğinden boşluk, dönüş hattı yerine geçecek ve ortamda EMI yayılımı gözlenecektir.

Manyetik Akış ve Önleme Yolları

Manyetik alan, akım döngüleri mevcut olduğu sürece vardır. Bu alan boşlukta yayılan istenmeyen elektromanyetik enerji gibi davranır. Oluşan bu manyetik alanın zamana bağlı değişiminden elektrik alan oluşur. Manyetik alan gibi elektrik alanda boşlukta yayılır ve her ikisi de elektromanyetik dağılımın ana bileşenlerini oluşturur. EMI etkisini azaltmanın en kolay yolu yansıma yüzeyi kullanımıdır.

1. Toprak yüzeyi analog toprak ve dijital toprak şeklinde bölünmez,
2. Çok katmanlı uygulamalar için, uygun katman düzenlemesi ve empedans kontrolü yapılır,
3. Saat frekans hatları; RF dönüş yollarına, toprak katmanına (çok katmanlı PCB için), toprak düğümlerine ya da toprak koruma hatlarına (guard line, tek ve çift katlı PCB'ler için) olabildiğince bitişik yerleştirilmelidir.
4. Hatlar üzerindeki RF akımı (enerji) azaltılmalıdır. Bunun için frekans üreten devrelerin voltaj değerleri düşürülmelidir.
5. Düşük hızlı (low edge – rate) malzeme seçilmeye çalışılmalıdır.

Katman Sayısının Belirlenmesi

Tasarımda ilk olarak tasarımın kaç katmanlı olacağı ve bu katmanlar arasındaki fonksiyonel dağılımın şekline karar verilir. Daha sonra hangi sinyal hangi katmanda (microstrip ya da stripline olarak) kullanılması gerektiği belirlenir.

Microstrip: Üst ve alt katmanlara (bir ve iki katlı PCB'ler için) ya da en dış katmana (çok katmanlı PCB'ler için) denir. Çok hızlı sinyallerin RF yayılımı, bu katmanda daha kolay yayıldığından bu tür sinyaller için bu kat kullanılmaz. Bu tür hızlı sinyaller stripline katında kullanılır.

Stripline: Genellikle iki kat arasında yer alır ve hızlı sinyaller için kullanılabilir. Kaynaktan alıcıya giden her sinyalde yayılım gecikmesi (propagation delay) ile hatlar ve iç bağlantılar arasındaki etkileşim her zaman mevcuttur. 500 MHz'in üzerindeki frekanslarda, işaret taşıyan hatlar, kullanılan devrenin bir elemanı ya da parçası (direnç, kondansatör ya da bobin) gibi davranır. Dolayısıyla yapılacak en ufak bir değişim tasarım performansını çok fazla etkiler.

Bir tasarımın katman sayısını aşağıdaki kriterler belirler;

1. Gürültü bağışıklığı (besleme katı gerektirir), gürültülere karşı hassas devreler içeriyorsa,
2. İşaretlerin sınıflandırılması sonucunda yerleşimin sıklığı ve bölümlenmeden doğan gereklilik,
3. Toplam net (hat) sayısı,
4. Empedans kontrol sonucu,
5. Kullanılan malzemenin sayısı, PCB'ye mekanik bağlantı şekli ve bacak sayısı (örneğin: BGA-Ball Grid Array + 720 pin= min. 4 kat),
6. Veri taşıyan hatların türü ve duyarlılığı,
7. Maliyet.

Besleme ve toprak katmanlarının PCB içinde gömülü olması, ortak – mod akımlarının (Common Mode, CM) önlenmesinde en etkin yöntemdir. Tek katlı PCB'ler dışındaki uygulamalarda, Microstrip katmanda, referans yüzeyi olarak Besleme ve Toprak katmanları kullanılır. Bu yüzeyin diğer katmanlara olabildiğince yakın olması istenir. Çizelge 5.2'te katman sayılarına göre oluşturulan yapılandırma verilmiştir. Çok katmanlı PCB'lerde kullanılan kat sayısına bağlı olarak, bir ya da birden fazla besleme-toprak yüzey çifti kullanılabilir. Bu yüzeyler, düşük empedanslı kondansatörler gibi davranırlar. PCB'nin çok

noktadan şaseye bağlanması, kart üzerindeki tüm toprak yüzeylerindeki voltajın, PCB'den şase'ye doğru ya da PCB katmanları arasında azaltılması demektir. Böylece ortak mod etkisi asgari düzeye çekilmiş olur. Toprak yüzeyine bitişik olarak oluşturulan besleme yüzeyi, manyetik akışın azaltılmasında etkin bir yöntemdir. Besleme hattında meydana gelen yükselme ve alçalmalar, malzemelerin bağlı olduğu hat üzerinde gürültü oluşumuna neden olur. Besleme ve toprak katmanları sinyal hatlarına olabildiğince yakın olmalıdır (asimetrik yapı). Bu uygulamada yalnızca toprak hattının yakın olması ortak mod akımını azaltır.

Çizelge 5.2 Katman sayılarına göre yapılandırma

Yapılandırma	1	2	3	4
2 katlı	S1 & GND	S2 & VCC	-	-
4 katlı (2 sinyal, 2 referans)	S1	GND/VCC	VCC/GND	S2
4 katlı (2 sinyal, 2 referans)	GND	S1	S2	VCC

Çok Katmanlı Yapılandırma

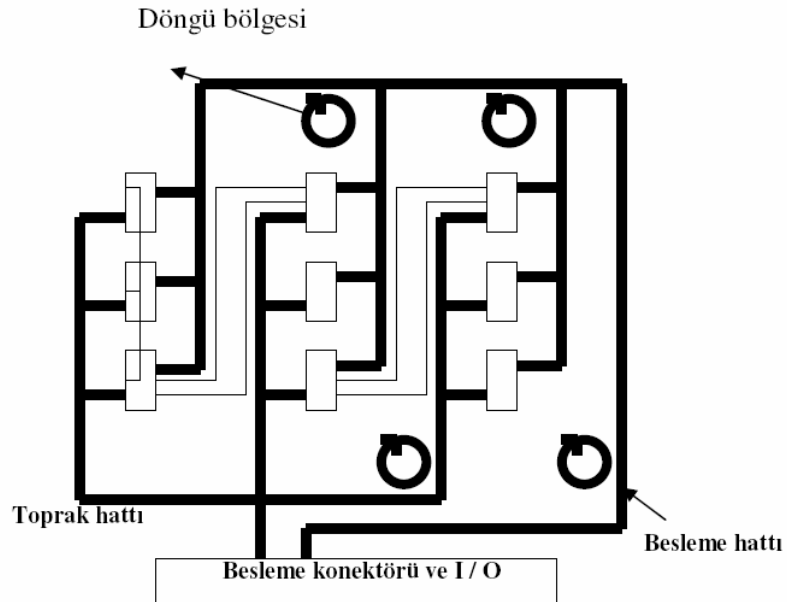
Çok katmanlı PCB uygulamalarında besleme ve toprak yüzey kullanımı toplam sistem performansını artırır. Malzeme ile bağlı olduğu besleme hattı arasındaki empedans değeri düşer. Sağlanan bu düşük empedans, bu hat üzerindeki voltaj değerlerinin daha az değişmesini sağlar. Bu durum PCB üzerindeki tüm malzemeler için düşünüldüğünde, bunun getirdiği faydanın çok büyük olduğu görülür. Eğer kart üzerindeki tüm besleme hattında bir dengesizlik / kararsızlık meydana gelirse bu ortak mod RF enerjisi oluşturacaktır. Bununla birlikte, PCB için fiziksel olarak oluşturulan her iki yüzey, büyük bir kondansatör anlamına gelir. Çünkü, iki paralel yüzey ve arada dielektrik malzeme, tipik kondansatör yapısını gösterir. Oluşan bu kapasitif etki, düşük frekanslı birçok tasarım için kabul edilebilir bir değere sahiptir. Bununla birlikte eklenen her kat ek bir maliyet getirir. Eğer malzemelerin saat geçiş süreleri 10ns'den daha yavaş ise (standart TTL gibi), uygulamada yüksek performanslı ve yüksek rezonans frekansına sahip "through – hole" yapıda dekaplaj kondansatör kullanımı önerilmez. Buna rağmen "Bulk" kondansatör kullanımına hala ihtiyaç vardır.

Tek Katlı Tasarım

Düşük teknoloji uygulamalarda tercih edilir. Genelde periyodik işaret içermez ve kHz seviyesinde sinyalleri taşır. Dışarıdan uygulanan ESD etkilerine karşı çok hassastır. Tasarıma ilk olarak aşağıdaki iki adımla başlanır; Birinci Adım: Tasarıma besleme ve toprak hatları çekilerek başlanır. İkinci Adım: Hassas hatlar (saat ve periyodik sinyal hatları gibi) çekilir. Bu hassas hatlar toprak hattı olabildiğince yakın tutulur. Daha sonra aşağıdaki adımlar izlenir.

- Tüm besleme ve toprak kaynakları, kritik işaret hatları ile birlikte tespit edilir.
- Ana bölgelere ayrılan PCB, fonksiyonel özelliklerine göre tekrar alt bölümlere ayrılır. Bu işlem sırasında hassas malzemeler ile bunların farklı birimlerle olan (I/O ve iç bağlantılar gibi) bağlantılarına dikkat edilmelidir.
- Tüm malzemelere ait kritik döngüler tespit edilir.
- Malzemeler ve ona ait kritik döngüler bir arada olacak biçimde yerleştirilir.

Şekil 5.46'da kötü düzenlenmiş bir yerleşim görülmektedir. Besleme ve toprak hatlarının kötü dağılımı, bunlar arasında çok fazla döngü oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 5.46 Tek Katlı PCB için Kötü Yerleşim

Tek katlı PCB'ler için, RF enerjinin bastırılması amacıyla bilinen yalnızca tek bir teknik vardır. Bu da malzemeleri tek bir besleme hattı boyunca yerleştirmektir. Bu yaklaşım,

yalnızca düşük hız ve teknoloji ürünlerde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımdaki en büyük zorluk malzemelere ait besleme bağlantılarının konnektöre ve diğer birimlere optimum biçimde bağlanmasıdır.

Tasarımdan en iyi performansın elde edilebilmesi için;

- Tüm besleme ve toprak hatları kısa tutulmalıdır.
- Besleme ve toprak hatları birbirine paralel ve yakın olmalıdır. Bu, yüksek frekanslı anahtarlama gürültülerinin oluşturduğu döngü akımını azaltır. En ideal uygulama bu iki hat arası, dekuplaj kondansatörünün bacak aralığı kadar açılarak başka bir hat (dolgu hattı) ile doldurulmasıdır.

Çift Katlı Tasarım

Nadiren kullanılan bu yaklaşımda aşağıdaki adımlar takip edilir.

- Toprak hattı tek bir katmanda dikey polarizasyonla yerleştirilmeli, besleme hattı ise diğer katmanda – yatay polarizasyonlu yerleştirilmelidir.
- Dekuplaj kondansatörleri, besleme ve toprak hatlarına, entegre ve konektörlere yakın olacak biçimde yerleştirilir.
- Tasarımın üst kat hatlarının tamamı dikey polarizasyonlu olarak çekilir.
- Tasarımın alt kat hatlarının tamamı yatay polarizasyonlu olarak çekilir.
- Sinyal hatları dikey ve yatay polarizasyonlu hatlar şeklinde taşınır.

Bu yaklaşımdaki en büyük zorluk, besleme ve toprak hatlarının, her bir malzeme için ayrı, ayrı çizilecek olmasıdır. Bir çok uygulamada, bu zorluktan dolayı toprak dolgu (ground fill) tekniği kullanılır. Böylece döngü alanının kontrolü için dönüş hattı (return path) oluşturulur. Sonuçta RF dönüş akımının empedansı azalır. Toprak dolgu, diğer bölgelerin 0V referanslarına bağlanmalıdır.

Çift katlı PCB tasarımı için en iyi yaklaşım; tasarımın tek katlı olduğu düşünülerek (daha hassas) tasarıma devam etmek. Bu yaklaşım üst ve alt katmanlar için ayrı uygulanır. Bu tür tasarımda toprak döngülerinin kontrolü her zaman için öncelikli konu olmalıdır.

Dört Katlı Tasarım

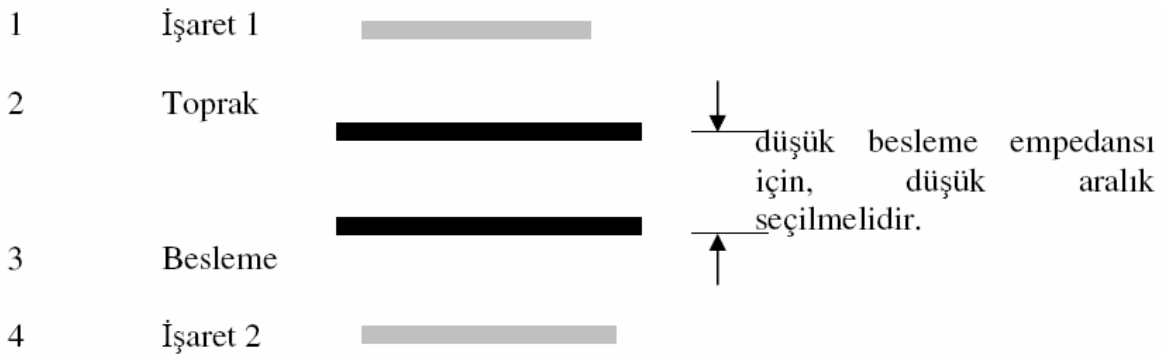
Bu tür tasarım, EMC normlarına uyumluluk açısından optimum çözüm sağlar. İki yaklaşım

vardır, her bir yaklaşım simetrik ve asimetrik olmak üzere iki seçenek içerir. RF akımının önlenmesi için referans yüzey kullanılır. Burada işaret taşıyan kat ile (üst ya da alt- dış katman) referans yüzeyin fiziksel aralığı iki katlı tasarıma göre daha dardır. Fakat buna rağmen 4 katlı tasarım hala manyetik akışın giderilmesi konusunda yeterli değildir. Bunun nedeni kaynaktan çıkan hat ile dönüş yolu arasındaki fiziksel aralığın aşırı büyük olmasıdır.

Simetrik ve Asimetrik Katman Yapılandırması

Simetrik yapının özellikleri aşağıda verilmiştir.

- İşaret hatları yüksek empedansa sahiptir.
- Anahtarlama sonucu ortaya çıkan enerjinin önlenmesinde, besleme ve toprak hatları arasında dekaplaj kondansatör gereksinimi daha azdır.
- RF dönüş akımı, kesintiye uğramadan kendi kaynağına geri dönemez (aralık büyük).
Simetrik yapıda fiziksel aralıklar Şekil 5.47'deki gibi yapılandırılmıştır.

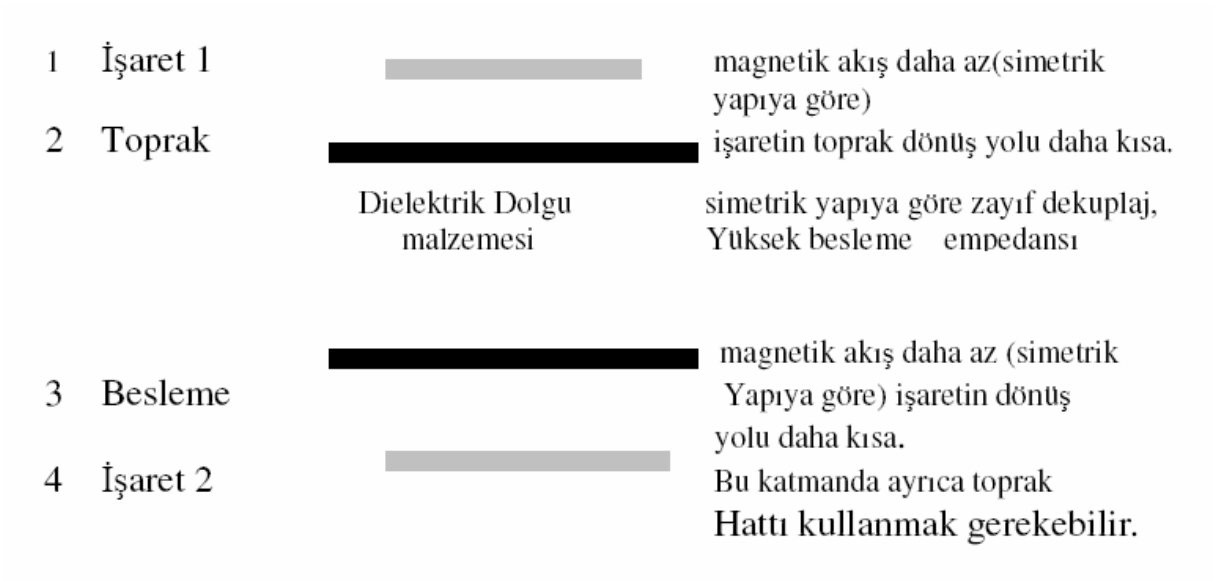


Şekil 5.47 Simetrik yapıda katman aralıkları ve düzenlenmesi

Asimetrik yapının özellikleri;

- Çizilen hatların empedans özellikleri ve değerleri belirlenebilir (PCB yapısından dolayı) sabittir.
- Dekuplaj kondansatör kullanımı birçok uygulamada zorunludur.
- Dolgu malzemesinden dolayı üretimi simetrik yapıya göre daha zordur.

Asimetrik yapıda fiziksel aralıklar Şekil 5.49'daki gibi yapılandırılmıştır. Manyetik akışın azaltılabilmesi için; işaret yüzeyi ile yansıma yüzeyi, besleme ya da toprak hattı) aralığı azaltılmalıdır [38].



Şekil 5.49 Asimetrik yapıda katman aralıkları ve düzenlemesi

6. SONUÇLAR

Bu tezde güç elektroniği uygulamaları için son derece kritik bir ürün güvenliği kavramı olan elektromanyetik uyumluluk incelenmiştir. Gelişen teknolojiye paralel olarak ürün güvenliği kavramının önemi giderek artmaktadır. Ekranlama yöntemleriyle ve PCB tasarımları ile ürünlerin en az şekilde elektromanyetik gürültüden etkilenmeleri sağlanabilir. Filtre tasarımı ile şebekeden çekilen harmonikler minimuma indirilebilir. Filtre kullanımında çeşitli kısıtlamalar olduğu bilinmektedir.

Genellikle filtre tasarımında ortak-mod girişimler için endüktans, diferansiyel-mod girişim için de faz ile nötr hattı arasında X kondansatörleri kullanılır. Düşük frekanslı anahtarlamalı güç kaynakları, faz açısı kontrolü ile çalışan güç kaynakları, motor sürücüleri ve benzeri yüklerde diferansiyel-mod girişimi filtre etmek için X kondansatörlerinin kullanımı oldukça etkilidir. Yüksek frekanslarda ise diferansiyel-mod endüktanslar kullanılır. Filtre için kullanılan endüktans, özellikle nüvelerin doyuma gitmesi hesaba katıldığında hacmi etkiler. Ayrıca nüveler sisteme ek maliyet getirir.

Ortak-mod filtrelerde kullanılan Y tipi kondansatörleri faz ile toprak arasına bağlanır ve sızıntı akımı geçmesine neden olur. Güvenlik standartlarına göre bu sızıntı akımının sınırı dikkate alınarak en gürültülü iletkene bağlanmalıdır. Örnek olarak hassas bir analog ekipmanın şebeke giriş kablosu, anahtarlamalı güç kaynağının doğrultucu bölümü verilebilir.

Medikal uygulamalarda sızıntı akımı uygunluk mertebesi çok daha düşük olduğundan Y tipi kondansatörler kullanılamaz. Bu tür uygulamalarda bir kaç katmanlı endüktans kullanılır. Bunun sonucunda boyut ve maliyet artar. Büyük sistemlerde Y tipi kondansatörlerden dolayı akan sızıntı akımlarının toplamı çok büyük seviyelere ulaşır. Bu durum cihazın topraklama seviyelerinde farklılık oluşmasına neden olur. Bu tür sistemlerde 3 boyutlu topraklama olan eş potansiyel bağlantılar yapılır ve sistemin her noktasında topraklama seviyesi aynı tutulur.

Kaynak filtrelerinin kullanımı EMI açısından avantaj sağlar. Filtre ve diğer EMC çözümleri sistemlere ek maliyetler getirir. Ayrıca PCB tasarımı, ekranlama, dış etkenlere karşı bağışıklık konularına dikkat edilmelidir. Tasarımcı ürüne ilişkin standartları çok iyi bilmeli ve tasarım aşamasında bu standartları dikkate almalıdır. Tasarım aşamasında standartlar göz önünde bulundurulmaz ise, tasarlanan cihazları daha sonra standartlara uygun hale getirmek maliyeti arttırdığı gibi aynı zamanda ürünün boyutunun artmasına ve ürün işlevselliğinin azalmasına neden olur.

KAYNAKLAR

- 1 Serway Raymond A., (1996), “ Physics for scientists & engineers with modernphysics third edition”, 955-977.
- 2 <http://www.elektrik.gen.tr/>
- 3 30/12/2006 tarih ve 26392 sayılı R.G., Elektromanyetik uyum yönetmeliği , (89/336/AT) .
- 4 Clayton R. Paul, (1991), “Introduction to electromagnetic compability” John Wiley & Sons, Inc.
- 5 Weston A. D., (1991), “Electromagnetic compability – principles and applications “ , markel Dekker Inc ., Canada.
- 6 Paul A. Chatterton and Michael A.Houlden, (1992), “EMC theory to pritical design “ John Wiley & Sons.
- 7 Köse H., (2005), “CE uygunluk işareti” TC başbakanlık dış tic. Müsteşarlığı IGEME,Ankara,TR.
- 8 L.Sevgi, (2004), “EMC ve Koruma Yöntemleri” Endüstriyel&otomasyon dergisi, sayı 10
- 9 <http://www.emitel-tr.com/>
- 10 <http://www.dtm.gov.tr>
- 11 Eğdirici Alper , (2001), “CE Uygunluk İşareti “ Araştırma ve Geliştirme Başkanlığı.
- 12 Eğdirici Alper , (1998), “Avrupa Pazarında Ürününüzün Pasaportu, , CE MARK”, IGEME, Ankara.
- 13 <http://www.igmd.org>
- 14 C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, 2003 127
- 15 C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, 2003 133
- 16 Çelik Halil, (1996), “Gümrük Birliğinde Avrupa Uygunluk(CE) İşareti” ,KOSGEB, Ankara.
- 17 TSE Yayınları, (1995), “CE, Gümrük Birliği ve Türk Standartları”, Ankara.
- 18 <http://www.alkanelektronik.com.tr/>
- 19 Rodger Richey, (2004), “EMC the art of compatibility” Microchip issue 1
- 20 Endüstriyel & Otomasyon dergisi, Mart 2004, sayı 5.
- 21 Uluslar arası Güvenlik Standardı, IEC 61000-4-2:1995+A1:1998+A2:2000
- 22 Elektromanyetik Uyumluluk raporu ELDAŞ Elektrik Elektronik Sanayi A.Ş. EMC2-2701 02-07 15.08.2006
- 23 Armstrong Keith “ Hand book on EN 61000-4-5” Reo
- 24 Uluslararası Güvenlik Standardı, IEC 61000-4-2:1995+A1:2000
- 25 Uluslararası Güvenlik Standardı, IEC 61000-4-3:2002+A1:2002

- 26 Williams Tim, Marshall Richard “Pitfalls and practice of IEC 61000-4-6 conducted immunity testing”
- 27 Armstrong Keith “A practical guide for EN 61000-4-6” Reo
- 28 Uluslar arası Güvenlik Standardı, IEC 61000-4-6:1996+A1:2000
- 29 Uluslar arası Güvenlik Standardı, EN 61000-4-11:2004
- 30 İnan Aslan, Ermiş Nurten, “Ara harmoniklerden kaynaklanan gerilim kırışmasının aydınlatma üzerindeki etkileri”
- 31 Armstrong Keith , Cherry Clough, Williams Tim “ EMC Testing Part 7 – Emissions of mains harmonic currents, voltage fluctuations, flicker and inrush currents; and miscellaneous other tests”
- 32 Slade Philip D., “Harmonics and Flicker – the low frequency end of the EMC spectrum
- 33 Chapman David, (2001), “Harmonics causes and effects”
- 34 Uluslar arası Güvenlik Standardı, IEC 61000-3-3:1994+A1:2001
- 35 Dr. Philip D Slade, Exeter University “ Harmonics and flicker – The low frequency end of the EMC spetrum”
- 36 Kunkel George, (2003), “ EMI shielding theory” Euqipment Protection sayı :2
- 37 West Robert, (1995), “Common mode inductors for EMI filters require careful attention to core material selection” Pennsylvania PCIM magazine
- 38 Karşil Feramuz, (2006), “ Yüksek Hızlı Sayısal Sistemlerde Elektromanyetik uyumluluk ve tasarımı Performans Analizi”
- 39 Fu-Yuan Shih, Dan Y. Chan , Yan-Pei Wu, Yie-Tone Chen, (1996), “ A procedure for designing EMI filters for AC line Appliacations”
- 40 Xue Wenyan, Chen Xiao, Ma Xikui, (2005), “ Analysis and Reduction of conducted EMI From an AC/DC Higgh Power Converter”

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	06.07.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1998-2001	F.M.V. Özel Işık Lisesi
Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği

ÇALIŞTIĞI KURUM

2003	Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinası İşletmesi Kalite Güvence Bölümü EMC Lab.
2004	Elektro Elektronik A.Ş.
2006-	TÜV RHEINLAND TÜRKİYE Uluslararası Sertifikasyon ve Denetim A.Ş.