

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANAHTARLAMALI GÜÇ KAYNAKLARINDA ELEKTROMANYETİK  
GİRİŞİMİN İNCELENMESİ VE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM SÜZGEÇİ  
TASARIMI**

**Samet YALÇIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2015**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANAHTARLAMALI GÜÇ KAYNAKLARINDA ELEKTROMANYETİK  
GİRİŞİMİN İNCELENMESİ VE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM SÜZGEÇİ  
TASARIMI**

**Samet YALÇIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 05/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman).....

Doç. Dr. Selçuk HELHEL.....

Yard. Doç. Dr. Okan ORAL.....

## ÖZET

### ANAHTARLAMALI GÜÇ KAYNAKLARINDA ELEKTROMANYETİK GİRİŞİMİN İNCELENMESİ VE ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM SÜZGEÇİ TASARIMI

Samet YALÇIN

**Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÖZEN**

**Aralık 2014, 60 sayfa**

Gelişen teknolojiyle birlikte neredeyse her cihazda kullanılan anahtarlama güç kaynaklarının muadillerine göre birçok avantajı vardır. Bu avantajların yanında anahtarlama güç kaynakları belli frekanslarda yapmış oldukları açma kapama işleminden dolayı iletimle yayılım yoluyla girişime sebep olurlar. Bu gürültünün azaltılması etkileşimde bulunan cihazlar için önem arz etmektedir.

Bu tezde bir anahtarlama güç kaynağı örneği olan ATX güç kaynağının yaymış olduğu gürültünün tespit edilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle güç kaynağının iletim hatları CISPR 22 standardı çerçevesinde test edilmiştir. Oluşan gürültünün ortak mod ve fark mod bileşenlerine ayrılabilmesi için uygun gürültü ayırıcı devre tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen gürültü ayırıcının başarılı bir şekilde çalıştığı ispat edildikten sonra güç kaynağı için ortak mod ve fark mod süzgeçlerini içine alacak bir elektromanyetik girişim süzgeci tasarlanmıştır. Gürültünün bastırılması için uygulanacak kesim frekanslarının belirlenmesinin ardından süzgeç tipinin kararlaştırılması ve süzgeç devresini oluşturacak devre elemanlarının değerleri hesaplanarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan süzgeç devresi benzetim ortamında kurulmuş ve analiz edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** ATX Güç Kaynağı, Elektromanyetik Süzgeç, Elektromanyetik Uyumluluk, Gürültü Ayırıcı, İletimle Yayılım

**JÜRİ:** Doç. Dr. Şükrü ÖZEN (Danışman)

Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Yrd. Doç. Dr. Okan ORAL

## **ABSTRACT**

### **EXAMINATION OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN SWITCHED MODE POWER SUPPLIES AND ELECTROMAGNETIC FILTER DESIGN**

**Samet YALÇIN**

**M.Sc. Thesis in Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Sukru OZEN**

**December 2014, 60 pages**

Switched mode power supplies that are widely used thanks to the developing technology have several advantages against other power supplies. In spite of these advantages, they make conducted emission because they switch on-off at known frequencies. Reduction of these distortions is very important for devices that are coupled with switch mode power supplies.

At that thesis, determination of ATX power supply's interference was worked. At first, power supply's transmission lines was assayed based on CISPR 22 standard. After showing that the interferences exceed limits, proper noise separator was designed to separate noise common-mode and differential-mode interference components. After proving noise separator's success, an electromagnetic filter that includes common-mode and differential-mode filters was designed. After proper cut off frequency was determined for noise suppression, value of circuit components of EMI filter was calculated and than layout was implemented with calculating and determining. The filter designed at simulation. Next, conclusion of design was submitted.

**KEYWORDS:** ATX Power Supply, Conducted Emission, Electromagnetic Compatibility, Electromagnetic Filter, Noise Separator

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Şükrü ÖZEN (Supervisor)

Assoc. Prof. Selçuk HELHEL

Asst. Prof. Okan ORAL

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında elektromanyetik süzgeçler ve gürültü ayırıcılar üstünde yapılan çalışmalarla ileriki adımlarda elektromanyetik girişim süzgeçleme ile gürültü ayırma metotları üzerinde yapılabilecek yeni araştırmalara ışık tutulabileceğine inanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının tüm aşamalarında katkı ve desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Şükrü ÖZEN'e, ölçümlerde bilgileri ve imkânları ile daima yardımcı olan çok kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e ve Sayın Yard. Doç. Dr. Evren EKMEKÇİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasının uygulamaları için Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarları kullanılmıştır. Bundan dolayı EMUMAM Müdürlüğüne ve laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı Mühendis Atalay KOCAKUŞAK, Alp Erkan ŞAVLI ve Necdet Yiğit EROĞLU'ya teşekkür ederim.

Son olarak her türlü zorlukta bana daima destek olan canım aileme ve biricik eşim Şerife Tuba YALÇIN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI .....	4
2.1. İletimle Elektromanyetik Yayılım Ve Bileşenleri.....	4
2.1.1. Elektromanyetik girişim.....	4
2.1.2. İletimle yayılım ölçümleri.....	4
2.1.3. Ortak mod ve fark mod gürültü bileşenleri .....	8
2.1.4. İletimle yayımda gürültü ayırma yöntemleri .....	12
2.2. Elektromanyetik Girişim Süzgeçleri .....	17
2.2.1. Süzgeç tipleri.....	17
2.2.2. Süzgeçlemede eşdeğer devre tipleri .....	18
2.2.2.1. Ortak mod gürültü bastırma.....	20
2.2.2.2. Fark mod gürültü bastırma.....	20
2.2.3. Süzgeç bileşenleri.....	21
2.2.3.1. Kapasitörler.....	22
2.2.3.2. İndüktörler .....	23
3. MATERYAL VE METOT.....	28
3.1. Anahtarlama Güç Kaynaklarında EMG Tespiti.....	28
3.1.1. CISPR 22 iletimle yayılım test ölçümleri (150 kHz – 30 MHz).....	29
3.1.2. Birinci hattın ölçümü.....	30
3.1.3. İkinci hattın ölçümü .....	32
3.1.4. Hat ölçüm sonuçları .....	33
3.1.5. Gürültü bileşenlerinin ayrılması.....	33
3.1.5.1. Saçılma parametresi .....	34
3.1.5.2. Gürültü ayırıcı tasarımı.....	36
3.1.5.3. Ortak mod gürültü ölçüm sonuçları .....	40

3.1.5.4. Fark mod gürültü ölçüm sonuçları.....	42
3.1.6. Sonuçların değerlendirilmesi.....	44
3.2. Elektromanyetik Girişim Süzgecinin Belirlenmesi ve Tasarlanması.....	44
3.2.1. Elektromanyetik girişim süzgeci tasarımı .....	44
3.2.1.1. Gerekli OM ve FM gürültü bastırmalarının belirlenmesi.....	45
3.2.1.2. Süzgeç tipinin belirlenmesi.....	47
3.2.1.3. Süzgeç elemanlarının belirlenmesi .....	48
3.2.1.4. Süzgeç tasarımının gerçekleştirilmesi .....	49
4. BULGULAR .....	51
4.1. Süzgeçlenmiş Anahtarlamalı Güç Kaynağının İzlenmesi .....	51
5. TARTIŞMA.....	53
6. SONUÇ .....	54
7. KAYNAKLAR.....	55
8. EKLER .....	59
8.1. Ek 1: Wideband RF Transformers.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$\Gamma$	Yansıma Katsayısı
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
EPC	Eşdeğer Paralel Kapasitans
ESL	Eşdeğer Seri Endüktans
M	Ortak Endüktans
N	Sarım Sayısı
$I_f$	Faz Akımı
$I_{fm}$	Fark Mod Akımı
$I_n$	Nötr Akımı
$I_{om}$	Ortak Mod Akımı
S	Saçılma Parametresi
$V_f$	Faz Gerilimi
$V_{fm}$	Fark Mod Gerilimi
$V_n$	Nötr Gerilimi
$V_{om}$	Ortak Mod Gerilimi
$\omega$	Radyal Frekans

### Kısaltmalar

AA	Alternatif Akım
AGK	Anahtarlama Güç Kaynağı
AV	Ortalama Dedektörü
CENELEC	Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
DA	Doğru Akım
EMG	Elektromanyetik Girişim
EMU	Elektromanyetik Uyumluluk
EMUMAM	Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi
EPC	Eşdeğer Paralel Kapasitans
EPR	Eşdeğer Paralel Direnç
ESL	Eşdeğer Seri İndüktans
ESR	Eşdeğer Seri Direnç
FCC	Federal Haberleşme Komitesi
FM	Fark Mod
FMBO	Fark Mod Bastırma Oranı
FMİO	Fark Mod İletim Oranı
HEDD	Hat Empedansı Dengeleme Devresi
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komitesi
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
OM	Ortak Mod
OMBO	Ortak Mod Bastırma Oranı



OMİO	Ortam Mod İletim Oranı
QP	Tepe Gibi Dedektörü
SRF	Kendi Rezonans Frekansı
TAC	Test Altındaki Cihaz
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektromanyetik yayılım türleri .....	1
Şekil 2.1. İletimle yayılımda uygulanacak örnek ölçüm düzeneği .....	5
Şekil 2.2. Ölçüm düzeneği .....	5
Şekil 2.3. HEDD (a)örnek fotoğrafları ve (b) devre yapısı .....	6
Şekil 2.4. HEDD frekansa karşı empedans grafiği .....	7
Şekil 2.5. CISPR 22 iletimle yayılım gürültü limitleri .....	8
Şekil 2.6. İletimle yayılım deney eşdeğer devresinde ortak ve fark mod akımların hatalı gösterimi .....	10
Şekil 2.7. İkinci görüşe uygun tanımlanan eşdeğer devre .....	11
Şekil 2.8. İkinci görüşe uygun tanımlanan eşdeğer devrenin (a) ortak mod, (b) fark mod şemaları .....	12
Şekil 2.9. Örnek bir akım probu .....	13
Şekil 2.10. Gürültü ayırıcı tasarım örnekleri: (a) Paul-Hardin devresi, (b) güç birleştirici, (c) Nagel devresi, (d) Caponet devresi, (e) Shou Wang devresi .....	16
Şekil 2.11. İki yapılı pasif EMG süzgeci (a) elektriksel eşdeğer devresi, (b) OM eşdeğer devresi, (c) FM eşdeğer devresi .....	19
Şekil 2.12. Ortak mod gürültü süzgeç devresi .....	20
Şekil 2.13. Fark mod gürültü süzgeç devresi .....	21
Şekil 2.14. Kapasitör (a) eşdeğer devresi ve (b) EPR ihmal edilmiş hali .....	23
Şekil 2.15. OM şok bobin indüktör sarımı .....	24
Şekil 2.16. İndüktör (a) eşdeğer devresi (b) EPR ihmal edilerek (c) ESR ve EPR ihmal edilerek .....	25
Şekil 2.17. Şok bobini (a) eşdeğer devresi, (b) OM için EPC iptal yöntemi .....	26
Şekil 2.18. Bağlı FM İndüktörlerinde (a) çapraz bağlanarak (b) paralel bağlanarak EPC iptal işlemi .....	27
Şekil 3.1. İletimle yayılım test düzeneği .....	30

Şekil 3.2. Ortam ölçümü .....	31
Şekil 3.3. Birinci hat ölçümü için HEDD bağlantıları .....	31
Şekil 3.4. Birinci hat ölçüm sonucu .....	32
Şekil 3.5. İkinci hat ölçüm sonucu .....	33
Şekil 3.6. S-parametresi ölçümünde iletim hattındaki karakteristik empedansların gösterimi .....	35
Şekil 3.7. Xinli Chang tarafından geliştirilmiş olan gürültü ayırıcı .....	36
Şekil 3.8. Gürültü ayırıcı devresinin (a) önden, (b) arkadan ve (c) yandan görünüşü ....	37
Şekil 3.9. Gürültü ayırıcı modelinin s-parametre sonuçları .....	38
Şekil 3.10. Gürültü ayırıcı devresinin (a) birinci port girişi ve (b) ikinci port girişi s-parametre sonuçları .....	39
Şekil 3.11. Test düzeneğinde gürültü ayırıcının bağlantı şekli .....	40
Şekil 3.12. OM gürültü ölçüm sonucu .....	41
Şekil 3.13. Bastırılması gereken OM gürültü .....	42
Şekil 3.14. FM gürültü ölçüm sonucu .....	43
Şekil 3.15. Bastırılması gereken FM gürültü .....	44
Şekil 3.16. OM kesim frekansı .....	46
Şekil 3.17. FM kesim frekansı .....	47
Şekil 3.18. Süzgeç FM eşdeğer devresi .....	48
Şekil 3.19. Süzgeç OM eşdeğer devresi .....	49
Şekil 3.20. EMG süzgecinin devre yapısı .....	50
Şekil 3.21. EMG süzgecinin (a) FM benzetimi ve (b) OM benzetimi.....	50
Şekil 4.1. EMG süzgeci OM frekans tepkisi.....	51
Şekil 4.2. EMG süzgeci FM frekans tepkisi .....	52

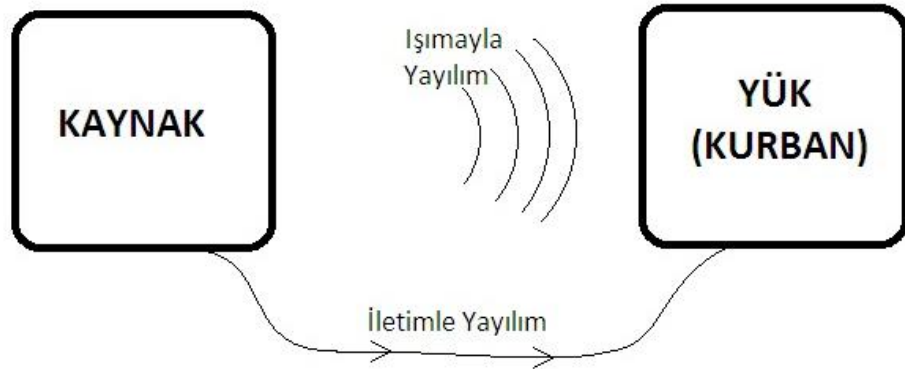
## **ÇİZELGELER DİZİNİ**

Çizelge 3.1. B sınıfı cihazın ana hatta yaptığı iletimle yayılım için sınır değerler ..... 29

## 1. GİRİŞ

Elektromanyetik uyumluluk, bir cihaz veya sistemin aynı ortamdaki diğer cihazlara karşı telafi edilemeyecek seviyede elektromanyetik girişimde bulunmadan çalışabilme yeteneğine denir. Bu tanım doğrultusunda elektromanyetik uyumluluk yayılım ve alınganlık olarak iki noktada ele alınır. Elektromanyetik alınganlık veya diğer bir adıyla elektromanyetik bağışıklık, bir cihazın maruz kaldığı belli bir seviyedeki elektromanyetik gürültüde doğru bir şekilde çalışabilmesidir. Elektromanyetik yayılım ise yine bir cihazın optimum çalışma düzeyine ulaştığında ortama yaydığı elektromanyetik gürültüyü tanımlar.

Elektronik cihazların yaptıkları elektromanyetik girişim (EMG) yayılım ortamına göre Şekil 1.1’de gösterildiği gibi ışıma ile yayılım (radiated emission) ve iletimle yayılım (conducted emission) olmak üzere iki şekilde oluşur. Işıma ile yayılım havadan gerçekleşirken iletim ile yayılım da bağı oldukları hat üzerinden olur.



Şekil 1.1. Elektromanyetik yayılım biçimleri

Günümüzde kullandığımız birçok cihaz yüksek frekansta çalışmaktadır. Bu yüzden küçük boyutta olmalarına rağmen aygıt ve kablolar anten tepkisi vererek ışıma yapabilirler. Işıma kaynağının ışıma bölgesinde olan herhangi bir kurban cihaz ise bu girişimden dolayı çalışma aksaklıklarına veya arızalanmalara maruz kalabilmektedir. Elektromanyetik uyumluluğun ışıma ile yayılım bölümü burada devreye girerken, iletimle yayılım ise yalnızca cihazdan cihaza kablolarla ulaşan EMG’yi kapsamaktadır. Yani iletimle yayılım bölümü içerisinde kısmen daha düşük frekanslarda (0.15-30 MHz) çalışan bir kaynağın sebep olduğu gürültü bağı buldukları hatlar aracılığı ile yüke ulaşmaktadır. İletimle yayılımda çoğu zaman bu eşleştirme kaynak kabul edilen test altındaki bir cihaz ile şebeke arasında yapılır. Bu doğrultuda birçok güç kaynağı, çevirici ve benzeri sistemlerin izin verilen değerden daha yüksek gürültüler oluşturarak şebekeye verdiği bilinmektedir.

Günümüzde birçok yerde elektrikli aletler/cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar şebeke güç hattındaki alternatif akım (AA) değerinden farklı bir değerdeki alternatif veya doğru akıma (DA) ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı AA-AA veya AA-DA çeviricilerine ihtiyaç duyulmaktadır. AA-DA çevirici teknolojisinin en başında ise anahtarlama güç kaynakları (AGK) bulunur. AGK belirli bir frekansta anahtarlama işlemi yaparak AA'yı DA'ya çok hızlı bir şekilde çevirebilmektedir. Ayrıca küçük yapısı ve oldukça az enerji ihtiyacı duyan anahtarlama tristörleri sayesinde yüksek verimliliğe sahiptir. Ancak AGK bu verimliliğinin yanında belirli frekanslarda bulunduğu ortamdaki cihazları rahatsız edebilecek düzeyde elektromanyetik yayılım yapmaktadır. Bu yüzden AGK'ların yaptığı elektromanyetik yayılım hem askeri hem de sivil hayatta önemli bir unsurdur.

Cihazların aynı ortamdaki başka cihaz veya sistemleri etkilememesi için yaydıkları EMG'yi belli bir sınırlamaya alan standartlar ve kuruluşlar mevcuttur. Bu standartlar yöntem ve sınır değerleri konusunda askeri ve sivil standartlar olarak ayrılır. AGK'nın çok daha fazla kullanıldığı günlük hayatımızda bu tip cihazların elektromanyetik uyumluluğu ise sivil standartlar tarafından değerlendirilir.

Bu tezdeki temel amaç, hayatımızın birçok yerinde kullanılan bilgisayarlardaki enerjisini sağlayan AGK'ların yaydığı iletimle yayılım gürültülerini tespit etmek, bu gürültüleri bileşenlerine doğru bir şekilde ayırmak ve sonrasında ise baskın olan gürültü bileşeni çerçevesinde uygun pasif elektromanyetik girişim süzgeci tasarlamaktır. Böylece bilgisayar kasalarında kullanılmak zorunda olan ATX güç kaynaklarının ana hatta yapmış olduğu girişimler daha basit yöntemlerle tespit edilip bastırılarak ana hattan beslenen diğer cihazların da bu girişime maruz kalmadan daha dayanıklı bir şekilde çalışması hedeflenmektedir.

Bu tezde, AGK'nın yapmış olduğu elektromanyetik girişimin belli bant aralığındaki genliğini görmek için Akdeniz Üniversitesi EMUMAM laboratuvarlarındaki araçlar ve Agilent E4405B spektrum analizörü kullanılmıştır. Ayrıca tasarlanacak cihazların yansıma katsayısı ( $\Gamma$ ), saçılma parametreleri ve giriş empedansı gibi değerlerin incelenmesi için ise Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarındaki Agilent N9926A Vektör Network Analizörü ve ilgili araç gereçler kullanılmıştır.

Bu tezde yapılan tasarımların benzetimleri AWR Microwave Office programı ile gerçekleştirilmiştir. Microwave Office bir RF/mikrodalga devre tasarım yazılımıdır. Süzgeç türlerinin tanımlanması, mikrodalga devre elemanlarının ve bu elemanların parazit parametreleri ile birlikte istenilen bant aralığında analiz edilebiliyor olması ayrıca şematik ve baskı devre tasarım sonuçlarının grafiklerle verilebiliyor olması bu tezdeki çalışmaların çok daha hızlı ve net bir şekilde sonuca ulaştırılmasını sağlamıştır.

İletimle oluşan elektromanyetik yayılımdan ve oluşan bu yayılımdaki ortak mod ve fark mod bileşenleri hakkında teorik ve kuramsal bilgiler verilmiştir. Bölümün devamında, EMG'nin ortak mod ve fark mod bileşenlerini analiz etmek için kullanılan ayırma yöntemleri gösterilmiştir. Daha sonra oluşabilecek bir EMG'nin bastırılması için tasarlanabilecek olan elektromanyetik girişim süzgecinden bahsedilmiştir. Bu çerçevede süzgeç tipleri, eşdeğer süzgeç devreleri ve süzgeçleri oluşturan devre bileşenleri açıklanmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde ise kullanılan CISPR 22 standardı açıklandıktan sonra bir ATX anahtarlamalı güç kaynağının bu standart çerçevesinde yapılan deneyi sonucunda oluşturduğu gürültü gözlenmiştir. Gözlenen gürültünün bileşenlerini tespit etmek için literatürdeki uygun bir gürültü ayırıcı tasarlanarak, tasarlanan devrenin network analizör yardımı ile saçılma parametreleri incelenip ve bu doğrultuda gürültü ayırıcı deneye dâhil edilmiştir. Böylece tasarlanan bu ayırıcı yardımıyla anahtarlamalı güç kaynağımızın üretmiş olduğu elektromanyetik gürültünün bileşenlerine ayrılması hedeflenmiştir. Daha sonra ayrılan bu bileşenler yorumlanarak her bileşen için istenilen batırma miktarı, tasarlanacak pasif süzgecin tipi, devre elemanları ve süzgeçleme katı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu değerler doğrultusunda süzgeç, benzetim ortamında tasarlanarak gerçek devre haline getirilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde tasarlanan pasif elektromanyetik gürültü süzgecinin bastırma becerisi gözlemlenerek hesaplanan değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde tasarlanmış olduğumuz elektromanyetik girişim süzgecinin elde edilen bulguları tartışılmıştır.

Tezin son bölümünde ise yapmış olduğumuz çalışma değerlendirilmiş ve çalışma ile ulaşılan sonuçlar tartışılmış, ileriki çalışmalar değerlendirilmiştir.

## **2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI**

### **2.1. İletimle Elektromanyetik Yayılım Ve Bileşenleri**

#### **2.1.1. Elektromanyetik girişim**

Elektromanyetik girişim (EMG), bir kaynağın kurban olarak nitelendirilen diğer bir cihaza karşı belirli bir frekansta yapmış olduğu yüksek gürültüdür. EMG'nin oluşumunda temel üç nokta gereklidir. Bunlar gürültü kaynağı, yayılım ortamı ve kurban olarak tanımlanabilir. Yayılım ortamına bağlı olarak ise EMG ikiye ayrılır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi bunlardan birincisi ışıma ile yayılım, diğeri ise iletim ile yayılımdır. Işıma ile yayılım girişimleri, elektromanyetik alan vasıtasıyla hava veya boşluk gibi bir ortam üzerinden aktarılan elektromanyetik enerjiye karşılık gelir. İletim ile yayılım girişimleri ise bir iletken veya metalik bir yol vasıtasıyla gerçekleşen girişim olarak tanımlanır (Arı ve Özen 2000).

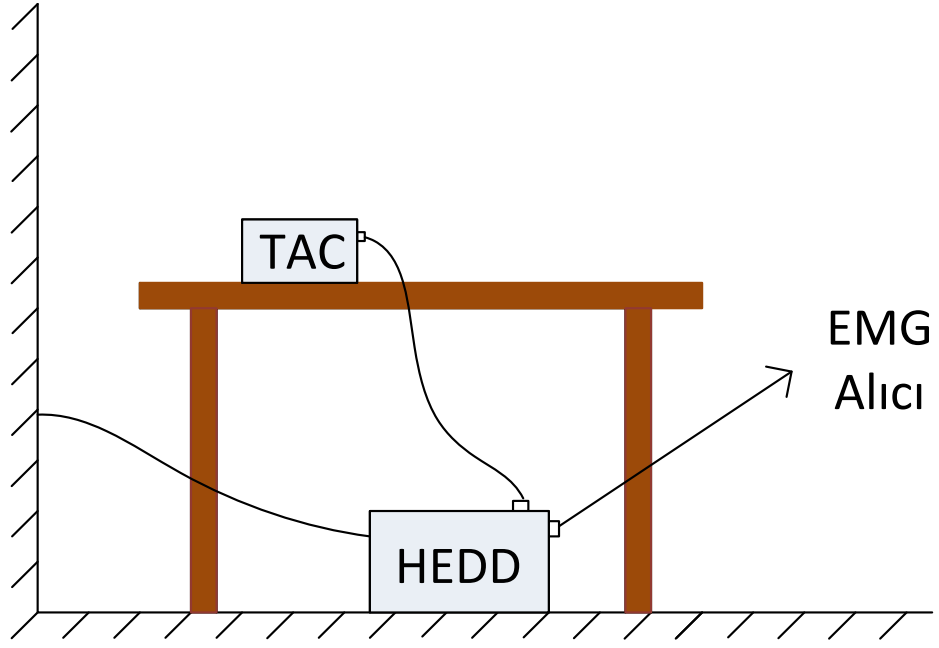
CISPR ( International Special Committee on Radio Interference), iletim ile yayılım bant aralığını 150 kHz ile 30 MHz, ışıma ile yayılım bant aralığını ise 30 MHz ile 1 GHz aralığında tutmuştur. 30 MHz üzerinde iletimle yayılım, 30 MHz altında ise ışıma ile yayılım olabilir. Ancak 30 MHz üzerinde iletimle yayılım, 30 MHz altında ise ışıma ile yayılım baskın olmadığı için limitler içerisinde değerlendirilmezler.

Kökenine bakıldığında ışıma ile yayılım, kaynağın baskı devresinde oluşan yayılım ve iletim hattında oluşan yayılım olarak ikiye ayrılır (Williams 1996). Işımadan kaynaklı EMG'nin temel çözümü ekranlamadır. Ancak ekranlamadan önce gürültünün oluşmasını en başta engellemek için iyi bir devre çizimi ve iyi bir topraklama yapısı önemlidir. İletim hattında oluşan ışımadan kaynaklı gürültüler ise iletim ile yayılım gürültülerinin bastırılmasıyla etkili bir şekilde düşer. Bu nedenle bu tezde tartışılacak olan iletim ile yayılım gürültülerinin bastırılmasıyla ışıma ile yayılım gürültüleri de azalacaktır.

#### **2.1.2. İletimle yayılım ölçümleri**

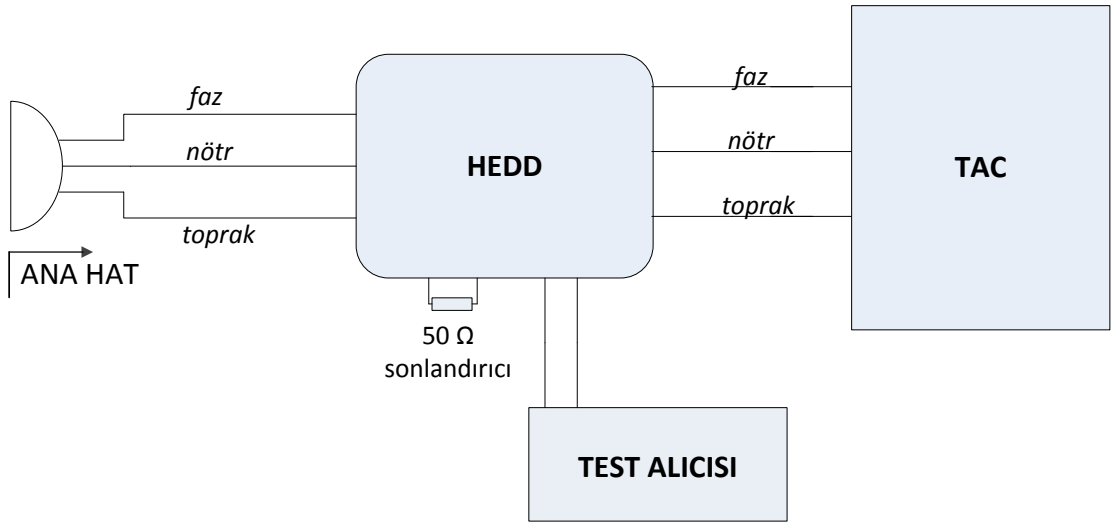
Sivil standartlar çerçevesinde iletimle yayılım ölçümleri 150 kHz ile 30 MHz aralığındaki frekanslarda cihaz kabloları test edilerek yapılır. CISPR 16-2-1 standardına göre uygulanacak olan örnek ölçüm düzeneği Şekil 2.1'de gösterilmiştir (CISPR 16-2-1 2005). Fiziksel olarak ölçüm düzeneği farklılık teşkil edebilir olsa da, tek faz beslemeli cihazların iletimle yayılım ölçüm düzeneklerinin elektriksel devre kurulumları Şekil 2.2'de gösterildiği gibi olmalıdır.





Şekil 2.1. İletimle yayımda uygulanacak örnek ölçüm düzeneği

İletim ile yayılım ölçümleri, test altındaki cihazın (TAC) 150 kHz ile 30 MHz aralığında yaptığı gürültüyü test edip bu gürültünün ilgili standart limitlerini aşıp aşmadığını tespit etmek amacıyla uygulanır. Ölçümlerde TAC güç kaynağı tarafından beslenir. TAC, gücün akışı kısmından bakıldığında her ne kadar yük konumunda olsa da, iletimle yayılım EMG kısmından bakıldığında gürültü üreten bir kaynak konumundadır.



Şekil 2.2. Ölçüm düzeneği

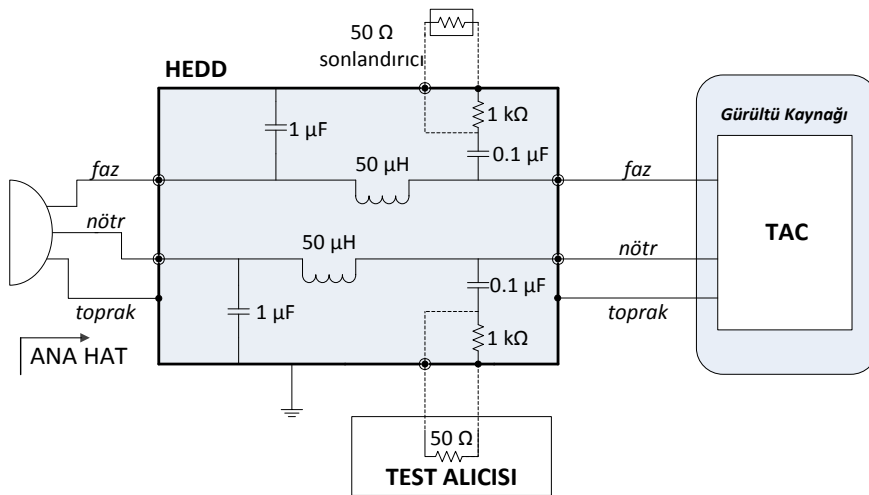
Ölçüm sırasında güç kaynağından gelebilecek herhangi bir istenilmeyen gürültünün engellenmesi için güç kaynağı ile TAC arasına hat empedansı dengeleme

devresi (HEDD-LISN-AMN) adı verilen bir cihaz yerleştirilir. Şekil 2.3'te gösterilmiş olan HEDD'in deney düzeneğindeki kullanım nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Güç kaynağının frekans değerlerinde giriş toprak arasında yüksek empedans, giriş çıkış arasında ise düşük empedans değerlerini sağlayarak kaynaktan TAC'a güç akışını sağlar.
- Gerçek uygulamalar içerisinde ana kaynağın ve kablolarının empedansı çok büyük bir bölge içerisinde değişebilmektedir. TAC ise tam olarak bilinmeyen ancak yüksek değerlerde olan bir kaynak empedansına sahiptir. Farklı laboratuvarlarda aynı testin tekrarlanabilir olması için ise güç kaynağı empedansının sabitlenmesi gerekir. Bu nedenle HEDD çıkış toprak arası empedansını bilinen bir değerde tutarak TAC'ın ürettiği yüksek frekanslı iletimle yayılım girişimlerinin tanımlanmasını sağlar.
- Yüksek frekanslarda giriş ile toprak arasında düşük empedans, giriş ile çıkış arasında ise yüksek empedans özelliği göstererek güç kaynağından gelebilecek ve ölçümde hataya sebep olabilecek gürültüleri engeller.
- Faz ve nötr hat gerilimlerinin ölçümüne imkan sağladığı gibi bu hat gerilimlerinin toplamını ya da farkını belirlemek için kurulacak birimlerin kullanılmasına, böylece bir sonraki bölümde açıklanacak olan ortak mod ve fark mod gürültü bileşenlerinin tanımlanmasına izin verir (Montrose ve Nakauchi 2004, Kostov 2009).



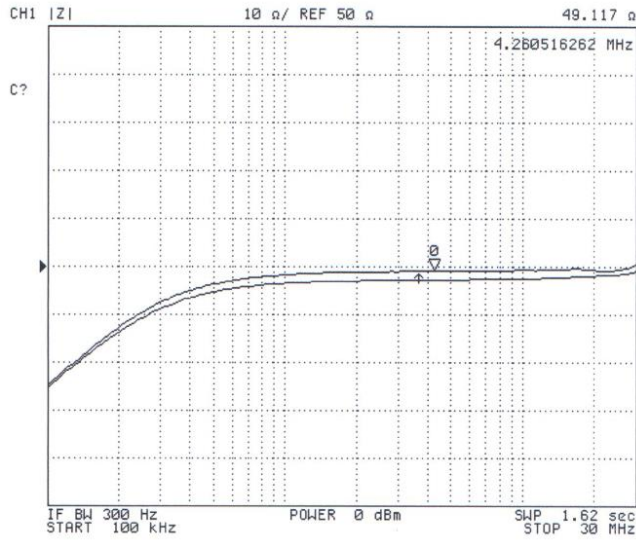
(a)



(b)

Şekil 2.3. HEDD (a)örnek fotoğrafları ve (b) devre yapısı

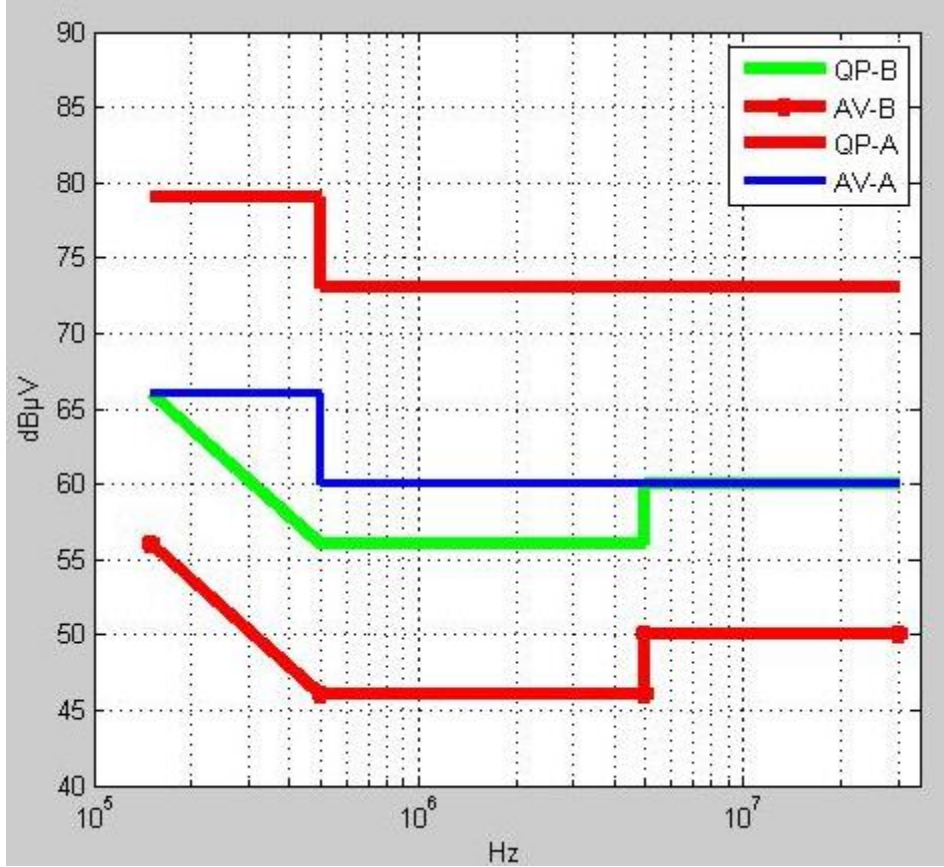
Şekil 2.3 (b)'de devre yapısı gösterilen HEDD, tek fazlı TAC ölçümlerinde faz ve nötr hatlar için aynı olan iki devre yapısı barındırır. Bu yapılarıdaki temel gereksinim ise 0.15 – 30 MHz aralığında her hat ile toprak arasında 50  $\mu$ H'ye paralel 50  $\Omega$  empedans sunabilmektir. 150 kHz'in altındaki deneylerde ise 5  $\Omega$ , 50  $\mu$ H'ye seri olarak etkili olmaya başlar. Şekil 2.4'te HEDD'in CISPR 16-1 standardına uygun kalibre edilmiş halinin empedans-frekans tepki grafiği verilmiştir.



Şekil 2.4. HEDD frekansa karşı empedans grafiği

Deney düzeneğinde alıcı olarak bir spektrum analizör veya EMG test alıcısı kullanılır. Alıcı olarak kullanılan bu cihazlar HEDD'e koaksiyel kablo yardımı ile bağlanır. Ayrıca alıcıların giriş empedansları, HEDD'in çıkış empedansıyla uyumlu olabilmesi için 50  $\Omega$ 'dur. 0.15 – 30 MHz aralığında olan iletimle yayılım testlerinde çözünürlük band genişliği alıcı üzerinden 9 kHz olarak seçilir. Ayrıca deney sırasında Ortalama Dedektörü (Average Detector - AV) ve Tepe-Gibi Dedektörü (Quasi Peak Detector - QP) kullanılır. AV zamanla değişen bir sinyalin belirli bir süre boyunca ortalamasını, QP ise belirli bir süre boyunca sinyalin genliğini ve tekrarlamı sıklığını kaydeder (CISPR 16-2-1 2005).

Avrupa birliğinde ve dünya çapında birçok ülkede harfiyen uyulan EN 55022 (CISPR 22) standardının vermiş olduğu, 16 A'den daha düşük akım seviyesindeki düşük gerilim DC veya tek faz AC beslemeli elektrikli cihazların faz ve nötr hatlarındaki iletimle yayılım limitleri Şekil 2.5'te grafik şeklinde gösterilmiştir (EN 55022 2010). Burada ürünler iki sınıfa ayrılır. Birinci sınıf endüstriyel ortamlarda kullanılan cihazları kapsar ve bu sınıf için A sınıfı ibaresi kullanılır. Diğer sınıf ise ev ve benzeri yerlerde kullanım için tasarlanmış haberleşme terminal cihazları, kişisel bilgisayar gibi cihazları niteler. Bu sınıf için ise B sınıfı ibaresi kullanılır.



Şekil 2.5. CISPR 22 iletimle yayılım gürültü limitleri

### 2.1.3. Ortak mod ve fark mod gürültü bileşenleri

İletimle yayılım testlerinde hatlar üzerinde oluşan gürültüler yönlerine göre farklılık gösterirler. Ölçümlerde önemsenmeyebilir ancak bu farklılıklar düşünülmeden EMG azaltmak imkânsız olduğu için bu konu elektromanyetik filtre tasarımı ve uygulamaları için son derece önem arz etmektedir.

Şekil 2.2’de gösterildiği üzere, tek faz uygulamalarında TAC ile HEDD arasında faz, nötr ve toprak olmak üzere üç kablo vardır. Bazı durumlarda ise TAC askıda tutularak toprak bağlantısı kesilir.

Fark mod gürültü hatlar üzerindeki normal enerji yolunu izler. Toprak hattından bağımsız olarak bir kablodan bir yönde akan ve diğer kablodan ters yönde ilerleyen akımın oluşturduğu gerilim fark mod gerilimidir. Başka bir deyişle fark mod gürültü enerji hattındaki güç gibi aynı yönde ilerlemektedir. Böylece fark mod biçiminde oluşan girişimler, eşit şiddette fakat faz-nötr hatlar üzerinde ters yönlü olarak akarlar. Fark mod gürültünün temel sebebi cihaz içerisinde bulunan devre bileşenlerinin kendi aralarında etkileşime girerek istenilmeyen gerilim farkları oluşturmasıdır.

Ortak mod gürültü gerilimi, bütün enerji hatlarını aynı yönde etkileyen bir gerilimdir. Bu gerilim, hatlar (faz - nötr) ile toprak arasında oluşur. Ortak mod gürültüsü, genellikle bir parazit kapasite üzerinden sisteme girer ve sistem iletkenleri üzerinde toprağa geçerler. Ortak mod gürültünün başlıca sebepleri, güç kaynaklarındaki anahtarlama işlemlerinde oluşan endüktif açma kapama darbeleridir. Ayrıca güç kaynaklarındaki süzgeç kapasitörlerinin ve mosfet devresindeki soğutucuların kapasitör gibi davranmasıyla toprağa belirli frekanslarda istenmeyen akımlar göndermesinden dolayı ortak mod gürültüler meydana gelebilir. Ortak mod akımlarına bir başka örnek ise nükleer etkiler ve yıldırımdan kaynaklı elektromanyetik darbelerden oluşan gürültüler verilebilir (Ozenbaugh 2001).

Yukarıda belirttiğimiz üzere TAC ile HEDD arasında genel olarak faz, nötr ve toprak olmak üzere üç hatlı bağlantı vardır. Faz ve nötr bağlantılar üzerinden akan akımlar  $i_f$  ve  $i_n$  olarak verilir. Bu akımlar ise bir görüşe göre aşağıda gösterildiği gibi ortak mod  $i_{om}$  ve fark mod  $i_{fm}$  akımlarından oluşur:

$$i_f = i_{om} + i_{fm} \Leftrightarrow i_n = i_{om} - i_{fm} \quad (2.1)$$

Buradan  $i_{om}$  ve  $i_{fm}$  akımlarını tanımlayacak olursak:

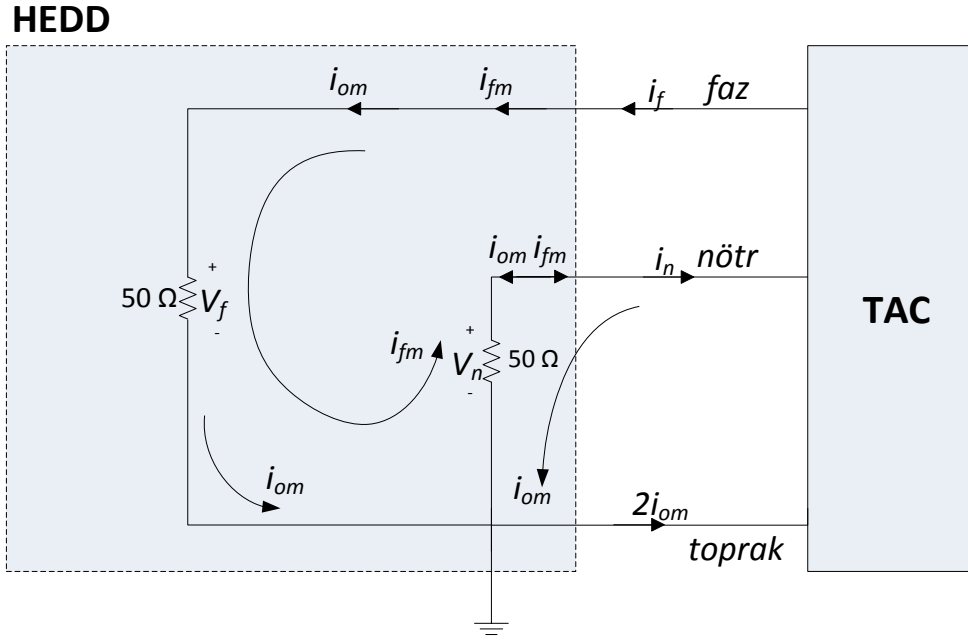
$$i_{om} = \frac{i_f + i_n}{2} \Leftrightarrow i_{fm} = \frac{i_f - i_n}{2} \quad (2.2)$$

Fark mod akımları  $i_{fm}$  iki kablo arasında eşit değerde ancak zıt yönlerde oluşurken, ortak mod akımlarının  $i_{om}$  ise iki kabloda da eşit değerde ve aynı yönde olduğunu görmekteyiz (Paul 2006). Bu konuda akımlar her hatta ayrı ayrı düşünüldüğü için ortak mod ve fark mod akımları Şekil 2.6'da gösterildiği gibi HEDD'deki her iki 50  $\Omega$  dirence aynı şekilde yansır. Böylece ortak ve fark mod gürültü gerilimleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v_{fm} = 50\Omega \cdot i_{fm} = \frac{50\Omega \cdot i_f - 50\Omega \cdot i_n}{2} = \frac{50\Omega(i_f - i_n)}{2} = \frac{v_f - v_n}{2} \quad (2.3)$$

$$i_{om} = i_f + i_n \quad (2.4)$$

Böylece ortak ve fark mod gerilimleri (2.3) ve (2.4) eşitliklerine göre 50  $\Omega$  direnç üzerindeki akıma bağlı olan gerilimdir.



Şekil 2.6. İletimle yayılım deney eşdeğer devresinde ortak ve fark mod akımların hatalı gösterimi

Başka bir görüşe göre ise ortak mod akımı faz ve nötr akımları toplamı olarak düşünülerek hareket edilmektedir (Bockelman ve Eisenstadt 1995, Tihanyi 2004, Kotny, Duquesne ve Idir 2011).

$$i_{om} = i_f + i_n \quad (2.5)$$

Bu görüşte Eşitlik (2.5)'e göre  $i_{om}$  faz ve nötr hatlara eşit değildir. Bu açıklama çok daha mantıklıdır. Çünkü ortak mod akımlarının en büyük sebebi devre yapısından veya topraklama hatalarından dolayı oluşan parazit kapasitans etkileridir. Bu kapasitans kaynaklanan gerilimle toprağa akan bir ortak mod akımı ortaya çıkacaktır. Pratikte faz ile nötr hatların empedanslarının eşit olması mümkün değildir. Bu sebeple bu hatlar üzerinden parazit kapasitans gelecekle ortak mod akımı bu hatlara eşit dağılamaz. Bu doğrultuda (2.5) eşitliğine uygun olan eşdeğer devre Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Akımda bu şekilde farklı tanımlamalar tartışılabilir de ortak mod gerilim tanımı aynıdır:

$$v_{om} = \frac{v_f + v_n}{2} \quad (2.6)$$

Böylece iletimle yayılım deneylerinde Şekil 2.8(a)'da gösterildiği gibi 50 Ω dirençlerle birlikte ortak mod akım ile gerilimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi oluşur.

$$v_{om} = \frac{v_f + v_n}{2} = \frac{50\Omega \cdot i_f + 50\Omega \cdot i_n}{2} = \frac{50\Omega}{2} (i_f + i_n) = 25\Omega \cdot i_{om} \quad (2.7)$$

Fark mod akımının tanımı iki görüş için de aynı şekilde tanımlanırken:

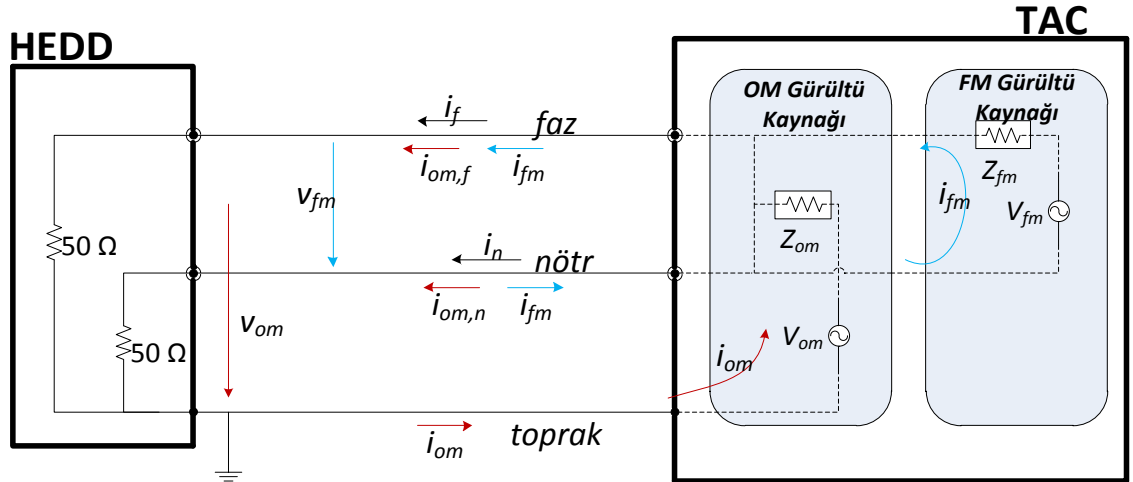
$$i_{dm} = \frac{i_f - i_n}{2} \quad (2.8)$$

Fark mod gerilimi ikinci görüşte daha farklı tanımlanmıştır:

$$v_{fm} = v_f - v_n \quad (2.9)$$

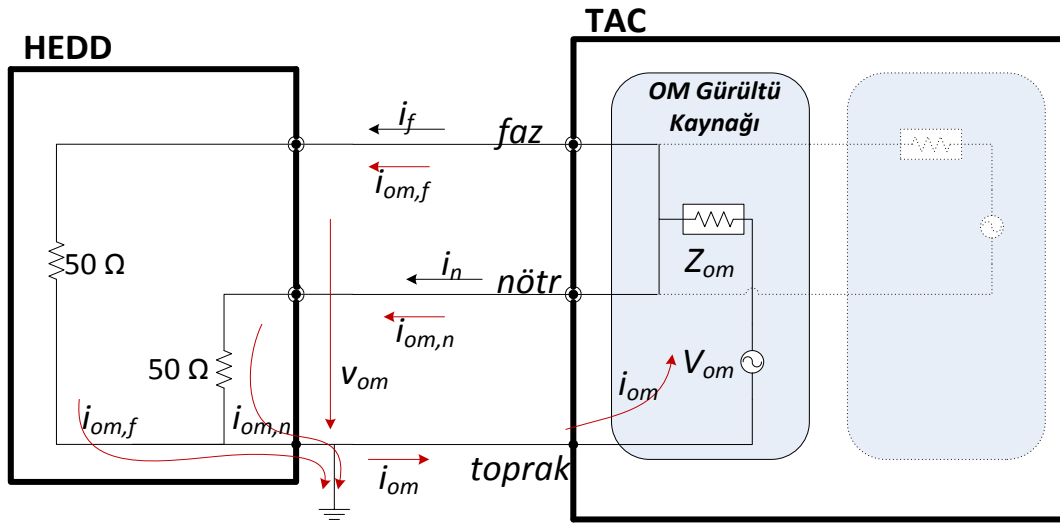
Böylece Şekil 2.8(b)'de belirtilen devre ile birlikte fark mod akımı ile gerilimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$v_{fm} = v_f - v_n = 50\Omega \cdot i_f - 50\Omega \cdot i_n = 2 \cdot 50\Omega \frac{i_f - i_n}{2} = 100\Omega \cdot i_{fm} \quad (2.10)$$

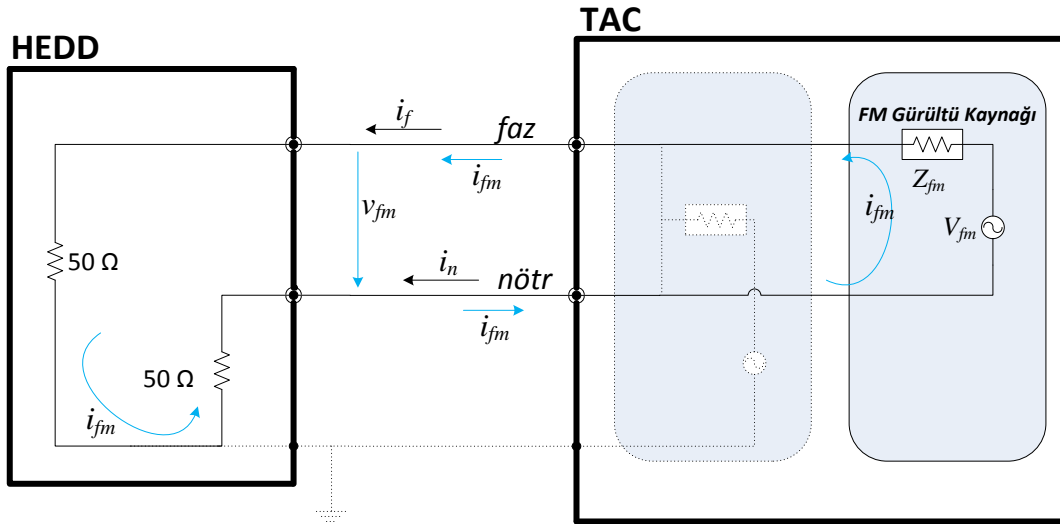


Şekil 2.7. İkinci görüşe uygun tanımlanan eşdeğer devre

İkinci görüşe geniş olarak tekrar bakacak olursak, iletimle yayılım testlerinde ortak mod akımı Şekil 2.8 (a)'da gösterildiği gibi 50 Ω'luk iki paralel dirençten geçer. Böylece ortak mod gerilimi 25 Ω empedans ile sonlanır. Fark mod akımı ise Şekil 2.8 (b)'de gösterildiği gibi 50 Ω'luk iki seri direnç üzerinden akar. Bundan dolayı fark mod gerilimi 100 Ω empedans ile sonlanmış olur. Bir sonraki bölüm olan iletimle yayılımda gürültü ayırma yöntemlerindeki bazı uygulamalar açıklamış olduğumuz ikinci görüş doğrultusunda incelenecektir.



(a)



(b)

Şekil 2.8. İkinci görüşe uygun tanımlanan eşdeğer devrenin (a) ortak mod, (b) fark mod şemaları

#### 2.1.4. İletimle yayılımda gürültü ayırma yöntemleri

Sivil veya askeri ortamlarda bulunan cihazların yapmış olduğu iletimle yayılım gürültülerinin bastırılması süzgeçleme yöntemleriyle gerçekleşmektedir. Başarılı bir süzgeçlemenin yapılabilmesi için ise ortamdaki gürültünün hangi frekansta hangi mod gürültü bileşeninden kaynaklandığını belirlemek gerekir.



Anahtarlama Güç Kaynakları (AGK)'nın OM ve FM gürültü içerdikleri bilinmektedir. Oluşan bu gürültüler ise EMG süzgeçlerinin içerisinde tek tek bastırılmalıdır. Tipik bir EMG süzgecinde OM ve FM gürültülerin bastırılması için ayrı bölümler bulunur. Bu bölümler ilgili gürültü bileşenlerini bastırmak için tasarlanır. Uygun araçlar kullanılmadan iletimle yayılım gürültü bileşenlerinin ve bu bileşenlerin oluştuğu frekansları tespit etmek oldukça güçtür. Bu nedenle ideal süzgeç tasarımını gerçekleştirebilmek için EMG'nin belirli gürültü ayırma yöntemleriyle bileşenlerinin ayrılması gerekmektedir. Böylece AGK'dan kaynaklanan iletimle yayılım gürültü bileşenleri tespit edilebilir ve EMG süzgeç devre elemanları bu doğrultuda daha başarılı bir şekilde belirlenebilir (Serrao, et al. 2008, Guo, Chen ve Lee, Separation of the common-mode- and differential-mode-conducted EMI noise 1996).

İletimle yayılım gürültü bileşenlerini ayırmak için uygulanabilecek yöntemlerden bir tanesi uygun akım probu kullanmaktır. Ölçüm, Şekil 2.9'da örnek olarak gösterilen akım probunun içinden hatların –OM bileşenini tespiti için- aynı önde ( $i_f+i_n$ ) veya –FM bileşenini tespiti için- zıt yönde ( $i_f-i_n$ ) geçirilmesiyle gerçekleştirilir.



Şekil 2.9. Örnek bir akım probu (R&S EZ-17 2005)

Gürültü akımları kendi yüklerine bağlıdır. HEDD 50  $\Omega$  empedans değeriyle ölçüme yinelenabilirlik sağladığı için burada giriş portuna akım probu bağlanan ölçüm cihazının empedansı ( $Z_{ölçüm}$ ) önemli bir hal alır. Hatların probdaki yönlerine bağlı olarak iki farklı gerilim ölçülür.

$$V_{om,ölçüm} = \frac{(\bar{I}_f + \bar{I}_n) \cdot Z_{ölçüm}}{n}, \quad V_{fm,ölçüm} = \frac{(\bar{I}_f - \bar{I}_n) \cdot Z_{ölçüm}}{n} \quad (2.11)$$

Burada  $n$  akım probunun sarım sayısını gösterir. Elde edilen (2.7) ve (2.10) eşitlikleri ile (2.11) eşitliği aşağıdaki gibi tekrar tanımlanabilir:

$$V_{om,ölçüm} = \frac{2V_{om} \cdot Z_{ölçüm}}{n \cdot 50} \Rightarrow V_{om} = \frac{n \cdot 50}{2Z_{ölçüm}} V_{om,ölçüm} \quad (2.12)$$

$$V_{fm,ölçüm} = \frac{V_{fm} \cdot Z_{ölçüm}}{n \cdot 50} \Rightarrow V_{fm} = \frac{n \cdot 50}{2Z_{ölçüm}} V_{fm,ölçüm} \quad (2.13)$$

Spektrum analizör ve EMG test alıcıları gibi ölçüm cihazlarının giriş empedansları HEDD'in MHz düzeyindeki empedansı ile uyumlu olarak 50  $\Omega$  değerinde olduğu için Eşitlik (2.12) ve Eşitlik (2.13) aşağıdaki gibi kısaltılabilir:

$$V_{om} = \frac{n}{2} V_{om,ölçüm}, V_{fm} = n \cdot V_{fm,ölçüm} \quad (2.14)$$

Akım probunun literatürdeki diğer gürültü ayırıcılara göre düşük hata payına sahip olması tercih sebebi olabilir. Ancak fiyatından dolayı diğer düşük maliyetli ayırıcılar tercih edilebilir.

Gürültü ayırıcı tasarımlarında tasarımların seviyesini belirleyen bazı kriterler vardır. Bunlardan biri tasarlanan devrenin empedansının gerilim ve akımdan bağımsız olarak referans empedansına yani 50  $\Omega$  eşit olmasıdır.

Bir diğer kriter ise devrenin (2.6) ve (2.9) eşitlikleri çerçevesinde tanımlanabiliyor olmasıdır. Bazı tasarımlar FM çıkışları için Eşitlik (2.9) yerine Eşitlik (2.3)'e göre tasarlanmıştır. Bu büyük bir problem oluşturmayabilir ancak aşağıda gösterildiği üzere sonucu 6 dB daha az görmemize sebep olacaktır:

$$V_{fm,(2.3)} [dB\mu V] = 20 \cdot \log \left| \frac{(\bar{V}_f - \bar{V}_n)}{2} \right| = V_{fm,(2.9)} [dB\mu V] - 6dB \quad (2.15)$$

Başka bir kriter ise giriş sinyalinde bulunan gürültü bileşeninin görülmek istenen çıkışına herhangi ilave bir parazit ile kirlenmeden ulaşabilmesidir. Bu ise ortak mod iletim oranı (OMİO - CMTR) veya fark mod iletim oranı (FMİO - DMTR)'ndan hesaplanır.

$$OMİO = \frac{V_{\zeta,om}}{V_{g,om}} \quad (2.16)$$

$$FMİO = \frac{V_{\zeta,fm}}{V_{g,fm}} \quad (2.17)$$

İdeal şartlarda girişteki gürültü bileşeni görülmek istenen çıkışa kayıp olmadan ulaşır. Bu da  $V_{g,om} = V_{\zeta,om}$  ve  $V_{g,fm} = V_{\zeta,fm}$  demektir. Böylece  $OMİO = FMİO = 1$  olmalıdır.

Bir diğer kriter de giriş sinyalinde bulunan gürültü bileşeninin görülmek istenmeyen çıkışa ulaşmamasıdır. Bunun hesaplaması ise ortak mod bastırma oranı (OMBO - CMRR) ve fark mod bastırma oranı ile (FMBO - DMRR) ile yapılır:

$$OMBO = \frac{V_{\zeta, fm}}{V_{g, om}} \quad (2.18)$$

$$FMBO = \frac{V_{\zeta, om}}{V_{g, fm}} \quad (2.19)$$

Böylece ideal şartlarda istenen  $V_{\zeta, om}$  ve  $V_{\zeta, fm}$  değerlerinin sıfır olmasıdır. Bunun sonucu olarak  $OMBO=FMBO=0$  olmalıdır (Kostov 2009).

İletimle yayılım gürültü bileşenleri işlemsel yükselteçlerle, faz kaydırıcılarla, genişband transformatör tabanlı, direnç tabanlı sistemlerle ve benzeri yapılarla ayrılabilir. Bu bölümde bazı önemli görülen ayırıcılar tartışılacaktır.

Geniş bant transformatör kullanılarak yapılmış en eski sayılan ve C. Paul ve K. Hardin tarafından 1988’de tasarlanmış olan gürültü ayırıcı (Paul ve Hardin 1988) Şekil 2.10(a)’da gösterilmiştir. Bu ayırıcı anahtarlamalı yapısı ile iki giriş portunun toplamını veya farkını tek bir çıkış portundan görebilmekteyiz. Ancak devrenin giriş empedansının gerilime bağlı olması tasarım için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır.

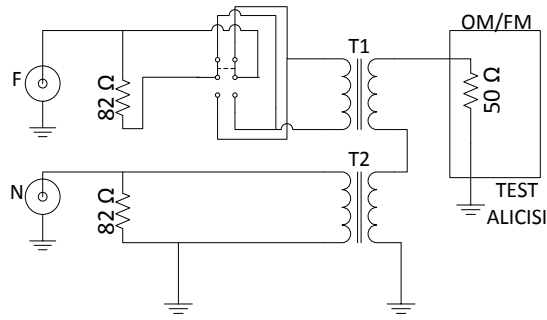
T. Guo, D. Chen ve F. Lee (1996) tarafından tasarlanan bir başka devre yapısı ise Şekil 2.10(b)’de gösterilmiştir. Bu devre yapısında da iki giriş portunun toplamı veya farkı faz farkı yardımıyla çıkış portuna aktarılmaktadır. Tasarımın sonuçları iletim ve bastırma oranlarının gayet başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak ilgili makalede  $0^\circ$  güç birleştirici (power combiner) eşdeğer devresi Eşitlik (2.6)’yı uygulamak yerine hatlar toplamı verilmiştir. Bu yüzden Eşitlik (2.15)’e benzer bir şekilde  $V_{om}$  6 dB daha aşağıda görülmüştür.

Bir başka devre yapısı ise A. Nagel tarafından 1999 yılında önerilmiştir. Şekil 2.10(c)’de gösterilmiş olan bu yapı giriş empedansı ile ilgili probleme karşı yapılmış ilk transformatör tabanlı devredir. Ancak OM ve FM dirençlerinin beklenildiği gibi istenen 25 ve 100  $\Omega$ ’luk değerleri sağlamasına rağmen T1 transformatörünün birinci – ikinci sarımları arasında oluşan kapasitif parazitlerden dolayı sonuçta beklenen değerlerde azalma meydana gelmektedir.

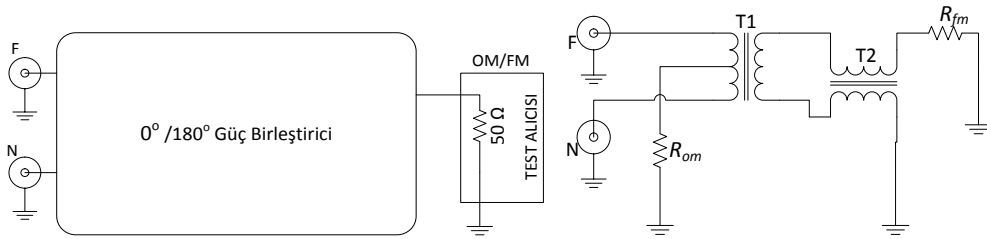
Transformatör tabanlı bir başka öneri ise 2001 ve 2002 yıllarında C. Caponet ve F. Profumo tarafından getirilmiştir. Şekil 2.10(d)’de gösterilmiş olan bu öneri beklenildiği gibi (2.7) ve (2.10)’a yer verilerek gerçekleştirilmiştir (Caponet, Profumo ve Ferraris, et al. 2001, Caponet ve Profumo 2002). Ancak önerilen devrenin testi güç ayırıcı yardımıyla bir port girişinin 50  $\Omega$  kaynak empedansı ile sonlandırıldığı düşünülerek diğer port girişin ölçülmesiyle yapılmıştır. Bu ölçüm, kaynak empedansının

pratikte  $50 \Omega$  değerinde olamayacağı ve sonlandırılan portun tasarlanan port empedansını etkileyebilme olasılığından dolayı doğru değildir (Wang, Lee ve Odendaal 2005).

2005 yılında A. Nagel'in devresinin geliştirilmiş haliyle (Wang, Lee ve Odendaal 2005)'de Şekil 2.10(e)'de görüldüğü gibi bir öneri geliştirmiştir. Burada T1'de ikinci sarım kullanılmayarak sarımlar arası parazit kapasitanslar engellenmiştir. Devrenin verilen sonuçlarına göre OMBO -50 dB'den aşağıda iken FMBO ise -60 dB'den aşağıda olmuştur. Ancak ilgili makalede  $V_{fm}$  Eşitlik (2.9) yerine Eşitlik (2.3)'ten hesaplandığı için Eşitlik (2.15)'te gösterilen 6 dB'lik düzeltme yapılması gerekmektedir.

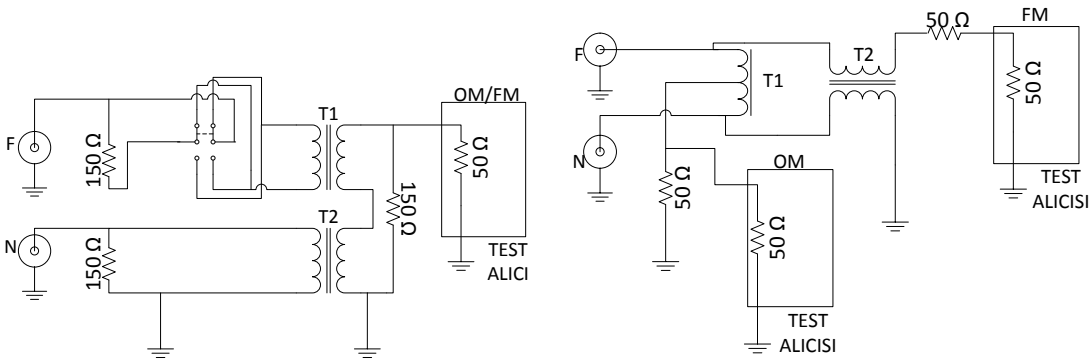


(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

Şekil 2.10. Gürültü ayırıcı tasarım örnekleri: (a) Paul-Hardin devresi, (b) güç birleştirici, (c) Nagel devresi, (d) Caponet devresi, (e) Shou Wang devresi

İletimle yayılım gürültü bileşenlerini ayırma yöntemlerinde Kostov'un (2009) yapmış olduğu araştırmada akım probundan sonra pasif devre olarak en iyi sonuç veren yöntemin (Wang, Lee ve Odendaal 2005)'deki transformatör tabanlı gürültü ayırıcısı olduğu gösterilmiştir. Bundan dolayı bu ayırıcı yapısı daha geniş incelenecek ve oluşacak gürültü bileşenlerinin ayrılması için tasarımı gerçekleştirilerek sonuçlarına üçüncü bölümde yer verilecektir.

## 2.2. Elektromanyetik Girişim Süzgeçleri

Elektromanyetik süzgeçler, istenmeyen sinyal frekansı ile istenen sinyal frekansını ayırarak istenmeyen kısmın bastırılmasını sağlayan cihazlardır. Bastırılmak istenen sinyalin frekans eşiğine bağlı olarak alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren ve band bastıran olmak üzere dört kategoride sınıflandırılabilirler. Yüksek frekanslarda oluşan EMG için tasarlanan süzgeçler ise genel olarak alçak geçiren seçilir.

EMG süzgeçlerini oluşturan indüktör ve kapasitör bileşenleri frekansa bağlı olarak düşük veya yüksek empedans değeri gösterir. Bu bileşenler, istenmeyen frekans düzeyinde yüksek seri empedans ve düşük paralel empedans değerleri oldukları için girişim sinyallerinin hatta ulaşmasını engeller.

Pasif EMG süzgeçlerini oluşturan devre elemanlarının – indüktörlerde eşdeğer paralel kapasitans, kapasitörlerde ise eşdeğer seri indüktans gibi - istenmeyen parazit parametreleri vardır. Bu parametreler mikrodalga frekanslarında toplu devre elemanlarının doğru bir şekilde çalışmasına izin vermediği için indüktör ve kapasitörden oluşan süzgeçler 300 MHz ve üzerindeki frekanslar için tasarlanmaz (Chen, van Wyk, et al. 2005, Dhar 1999 ).

Bu bölümde EMG süzgeç tipleri, ortak mod ve fark mod gürültü bastırma eşdeğer devreleri ve EMG süzgecini oluşturan devre elemanları açıklanacaktır.

### 2.2.1. Süzgeç tipleri

Gerçek hayatta iletim ile yayılan elektromanyetik girişimlerin bastırılması alçak geçiren süzgeçler yardımıyla yapılır. Bu süzgeçler Şekil 2.11'de gösterildiği gibi OM ve FM süzgeç olmak üzere iki yapıdan oluşur. OM süzgeçler Y tipi kapasitör ve OM şok indüktöründen oluşurken FM süzgeçler ise X tipi kapasitör ve FM indüktör bileşenlerinden meydana gelir. EMG süzgeçlerinin bileşenlerinde iki önemli nokta aranır:

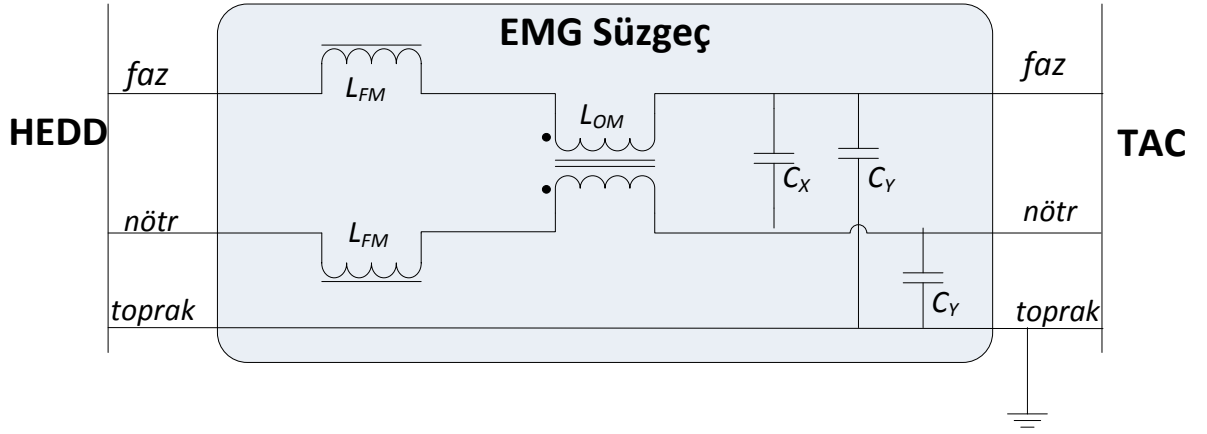
- Test düzeneğindeki elektriksel ekipmanların nominal gerilim ve akımı telafi edebilmeli,
- HF karakteristiği frekansa bağlı olarak değişmemelidir (Tihanyi 2004).

EMG süzgeci, her bir devre elemanı 20 dB/onkat oranında bastırma gücüne sahip olduğu için tek katlı olabilir. Ancak bu durumda bazı dezavantajlar oluşur. Örneğin süzgecin bulunduğu eşdeğer devredeki kaynak ile yük empedanslarının farklı olması veya 20 dB/onkat'lık bastırmanın yeterli olmadığı durumlarda tek kat süzgeçleri kullanılamaz. Bunun yerine yük – kaynak empedanslarına ve gerekli bastırma oranına bağlı olarak T,  $\pi$ , CL veya LC şeklinde çok katlı süzgeçler kullanılmalıdır (Hartal 2002, Tihanyi 2004).

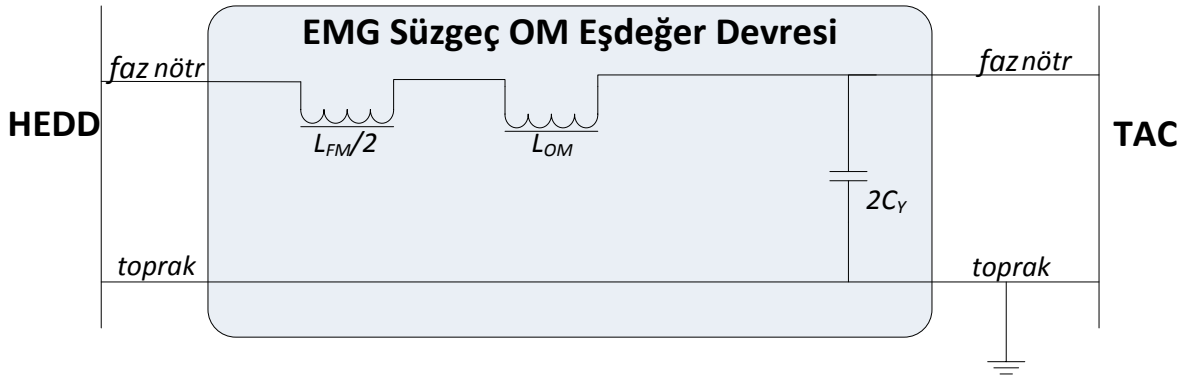
EMG süzgeci içinde devre bileşenlerinin yeri yük ve kaynak empedanslarına bağlı olarak belirlenir. Kapasitörler yüksek empedans gösteren tarafa paralel, indüktörler ise düşük empedans gösteren kısımlara seri bağlanarak giriş kaybını artırır. Bundan dolayı pratikte AGK'ların empedansları yüksek olduğu için EMG süzgeçleri giriş kısmında kapasitör, çıkış kısmında ise indüktör olarak tasarlanır.

### **2.2.2. Süzgeçlemede eşdeğer devre tipleri**

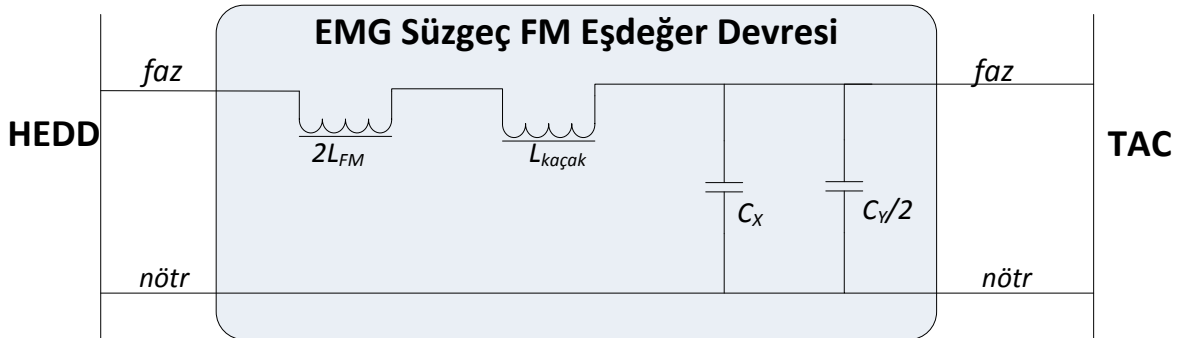
Elektromanyetik süzgeçleme işlemi, gürültüyü oluşturan iki gürültü bileşenini de hesaba katarak yapılır. Bu nedenle EMG süzgeç tasarımı yaparken süzgecin kabiliyetini OM ve FM gürültü bileşenlerinin Şekil 2.11 (b) ve (c)'de verilen eşdeğer devreleri üzerinden hesaplamak gerekir. Ayrıca bu kabiliyet giriş ve çıkış empedanslarına da bağlıdır. Bölüm 2.3'te gösterildiği gibi test düzeneğinde süzgecin çıkışı HEDD tarafından OM gürültü için 25  $\Omega$ , FM gürültü için ise 100  $\Omega$  empedans değeri ile sonlandırılır. Devre çıkışının bu şekilde basitçe tanımlanmasına rağmen TAC empedansının çok zor belirlenmesinden dolayı eşdeğer devre üzerinde kaynak empedansı değişken olarak ifade edilir.



(a)



(b)



(c)

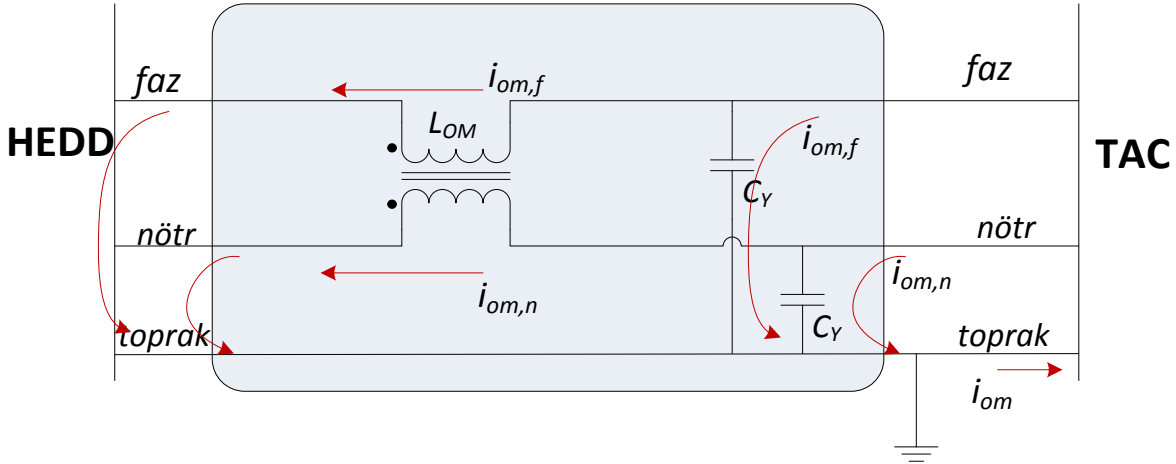
Şekil 2.11. İki yapılı pasif EMG süzgeci (a) elektriksel eşdeğer devresi, (b) OM eşdeğer devresi, (c) FM eşdeğer devresi

Şekil 3.1'deki eşdeğer devrelerden görüldüğü üzere Y tipi kapasitör OM gürültülerde baskın olsa da her iki gürültüde de zayıflama yapar. X tipi kapasitörler ise

yalnızca FM gürültüleri bastırabilir. FM indüktörleri iki gürültü bileşeninde de etkindir. Ancak FM gürültülere karşı daha baskın zayıflamaya sebep olur. OM şok bobinleri ortak mod gürültü bileşenini bastırmak için tasarlanır. Ancak Şekil 2.11 (c)'de görüldüğü gibi fark mod eşdeğer devresinde oluşturdukları kaçak indüktans FM gürültünün bastırılmasına katkı sağlar (Ozenbaugh 2001).

### 2.2.2.1. Ortak mod gürültü bastırma

Ortak mod gürültü bileşeni hatlarla toprak arasında oluşmaktadır. Bu yüzden toprağa kapasitörler ve bir çekirdek üzerine sarılmış birbiriyle etkileşim halinde bulunan iki indüktörden oluşan OM şok bobini kullanılır. Böylece Şekil 2.12'de gördüğümüz gibi yüksek frekanslarda kapasitörler açılmalı sıfır olan gerilimlerin toprakla arasındaki farkı düşürürken şok bobini de yüksek empedans değeri göstererek bu gürültünün yüke ulaşmasını engeller (Ozenbaugh 2001). Şekil 2.11 (b)'de görüldüğü gibi FM indüktörlerinin de bu gürültü bileşeni üzerinde etkisi olsa da burada asıl bastırma işlemini yapan OM şok bobinidir.

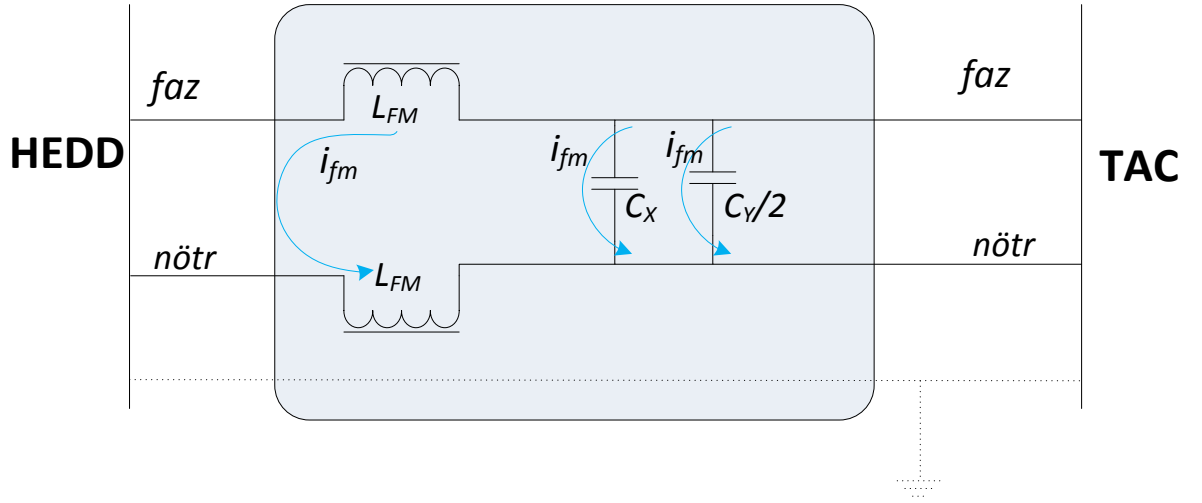


Şekil 2.12. Ortak mod gürültü süzgeç devresi

### 2.2.2.2. Fark mod gürültü bastırma

Fark mod gürültü bileşeni iki hat arasında ters bir şekilde ilerler. OM kapasitör ve şok bobininin bu bileşen üzerinde etkisi olsa da bu etki yeterli düzeyde değildir. Bu yüzden Şekil 2.11 (c)'de görüldüğü gibi FM gürültü bastırma işlemi iki hat arasına yerleştirilen kapasitör veya kapasitörle ve ters yönlü yerleştirilmiş indüktörlerle gerçekleştirilir. Burada yüksek frekansta FM kapasitörü hatlar arasındaki gerilim farkını dengelerken ters yönlü indüktörler ise Şekil 2.13'de gösterildiği gibi FM akım yönünde yüksek empedans göstererek giriş kaybı oluştururlar.





Şekil 2.13. Fark mod gürültü süzgeç devresi

### 2.2.3. Süzgeç bileşenleri

Pasif EMG süzgeçleri kapasitör, indüktör gibi pasif devre bileşenlerinden, diğer adıyla toplu devre elemanlarından (lumped components) meydana gelir. Her bir devre elemanının ayrı çalışma koşul ve biçimi vardır. Bu tezin konusu olan süzgeçler alçak geçiren olarak tasarlanacağından dolayı böyle bir tasarımda indüktörler HF düzeyinde yüksek empedans değeri gösterirken kapasitörler düşük empedans değeri göstererek gürültünün yüke ilerlemesini engeller.

Ayrı çalışma koşulları olsa da bütün süzgeç bileşenleri yüksek HF karakteristiğine sahip olmak zorundadır. Şekil 2.14 ve Şekil 2.16'da gösterildiği üzere pratikte her kapasitörde seri eşdeğer bir indüktör (equivalent serial inductor - ESL) ve her indüktörde de paralel eşdeğer bir kapasitör (equivalent parallel capacitor) bulunur. Bu eşdeğer birimler devre elemanları üzerinde parazit olarak tanımlanır. Belirtilmiş olan parazitlerin sonucunda her süzgeç bileşeni belli bir frekansta rezonansa girer. Bu frekans kendi rezonans frekansı (self-resonant frequency - SRF) olarak tanımlanır (Tihanyi 2004). SRF formülü indüktör için Eşitlik (2.20) ve kapasitör için Eşitlik (2.21)'de verilmiştir.

$$f_{SRF,L} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot EPC}} \text{ [Hz]} \quad (2.20)$$

$$f_{SRF,C} = \frac{1}{2\pi\sqrt{ESL \cdot C}} \text{ [Hz]} \quad (2.21)$$

SRF'nin üzerinde, parazit parametreleri ihmal edilemeyecek düzeye yükselir. Çünkü bu parametrelerden dolayı kapasitör bir indüktör gibi, indüktör ise bir kapasitör

gibi davranmaya başlar. Bundan dolayı süzgeçleme işlemi başarısız olur. Bu nokta önemli kılan bir diğer konu ise SRF'nin frekans genişliğidir. Birçok süzgeç bileşeninin SRF'si iletimle yayılım test aralığı olan 0.15-30 MHz frekans aralığında oluşur. Bu nedenle pasif devre bileşenleri için parazit parametrelerini azaltarak SRF'yi yüksek değerlerde tutmak yüksek HF karakteristiği için başlı başına bir önem taşımaktadır (Jiang, et al. 2008, Wang, Lee ve van Wyk 2006). Ancak bunun yanında süzgeç bileşenlerinde yüksek HF karakteristiği için SRF değerinin yukarılarda olması tek başına yeterli olmayabilir. Devre elemanlarının akıma, yıpranmaya ve sıcaklığa karşı dayanıklılığı da süzgeçler için önemli kıstaslar arasındadır.

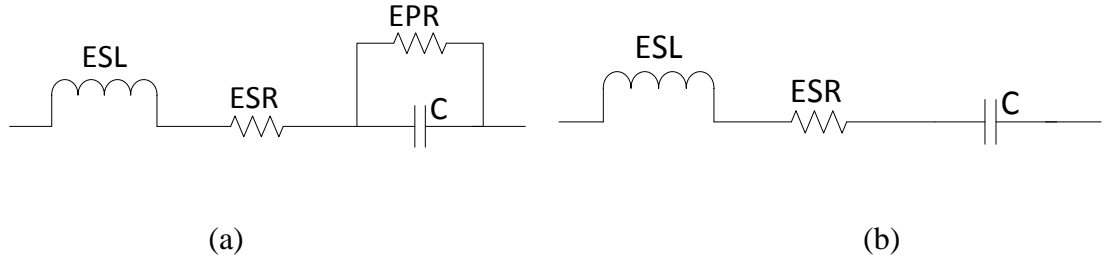
### 2.2.3.1. Kapasitörler

Bir kapasitör doğru akım şebeke akımları gibi alçak frekansta veya DA sinyallerde yüksek empedans gösterirken, iletimle yayılım testinin yapıldığı 0.15-30MHz aralığı gibi HF sinyal aralıklarında ise düşük empedans değerinde olur. Bu sebeple pasif EMG süzgeci gibi bir alçak geçiren süzgeçte kapasitörler daima gürültü kaynağına paralel bağlanır. Böylece yüksek frekanstaki gürültülerin yüke ulaşması kapasitörler tarafından önlenmiş olur.

Süzgeç kapasitörleri bağlandıkları noktalara göre X ve Y tipi olarak adlandırılırlar. Faz ile nötr hatlar arasına bağlanan kapasitörler X tipi kapasitör olarak adlandırılır. Bu tip kapasitörler Şekil 2.11 (c)'de eşdeğer devresinden de anlaşılabilceği gibi yalnızca FM gürültü bileşenlerin bastırılmasında etkindir. X tipi kapasitörler yüksek gerilim farkına maruz kalmayacağından dolayı kapasitans değerleri tasarımda herhangi bir sınırlamayla karşılaşmaksızın seçilebilir.

Bir süzgeç kapasitörü herhangi bir hat ile toprak arasına bağlanmış ise bu kapasitöre Y tipi kapasitör denir. Y tipi kapasitörler ise hat ile toprak arasında yüksek gerilim farkına maruz kalabileceğinden katı güvenlik sınırlarına tabidir ve çok yüksek gerilimlere dayanabilme kabiliyetine sahip olmak zorundadır. Bunun yanında Y tipi kapasitörler OM gürültü bileşenlerini bastırmak amacıyla tasarlansa da Şekil 2.11 (b)'de görüldüğü gibi FM gürültülerde de etkilidir.

Kapasitör eşdeğer devresi Şekil 2.14 (a)'da verilmiştir. Burada eşdeğer paralel direnç (EPR) çok büyük olduğu için ihmal edilebilir (Wang, Lee and Odendaal 2004). Böylece eşdeğer devre Şekil 2.14 (b)'de gösterildiği gibi olur. Burada ESL kapasitörü rezonansa sürükleyen ve SRF'nin üstündeyken kapasitörün bir indüktör gibi davranmasına sebep olan parazit indüktans parametresidir. ESR ise devre bileşeninin rezonansa ulaştığında gösterdiği empedans değerini belirtir (Tihanyi 2004).



Şekil 2.14. Kapasitör (a) eşdeğer devresi ve (b) EPR ihmal edilmiş hali (Wang, Lee and Odendaal 2004, Tihanyi 2004)

ESL parametresinin iptalini sağlayacak bazı yöntemler vardır. O yöntemlerden birisi de (Wang, Lee and Odendaal 2004) tarafından açıklanmıştır. Bu öneride kapasitörler çapraz olarak bağlanır ve her iki uca da iptal edilmek istenen değerdeki ESL ve ESR elemanları yerleştirilerek yöntem gerçekleştirilir. Sonuçlara bakıldığında yöntemin gayet başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir. Ancak sıcaklık, akım ve frekansa bağlı olarak parazit değerleri de değişeceğinden dolayı bu yöntemi pratik hayatta uygulamak zor olabilir.

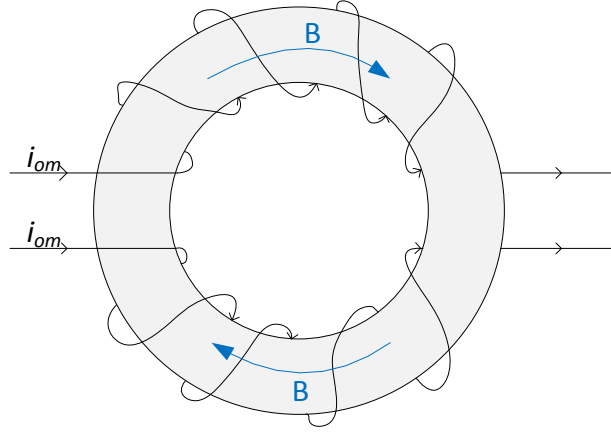
### 2.2.3.2. İndüktörler

İndüktörler kapasitörlerin tersine DC ve alçak frekanslı akımlarda düşük empedans değeri gösterirken EMG süzgeçlerinin kullanıldığı HF bölgesinde yüksek empedans değerindedirler. Bundan dolayı alçak geçiren EMG süzgeçleme işleminde indüktörler daima gürültü kaynağına seri bağlanırlar.

EMG bastırma indüktörleri FM indüktör ve OM şok bobin indüktörü olmak üzere ikiye ayrılır. FM indüktörleri FM gürültü için tasarlanmasına rağmen tüm gürültü bileşenlerine karşı sabit bir indüktans değerine sahiptir. Bundan dolayı Şekil 2.11 (b)'de görüldüğü gibi OM gürültülere karşı da bastırma gerçekleştirir. OM şok bobinleri ise birbirine bağlı bir yapıda (Z for Zorro (Ozenbaugh 2001)) olduğu için nüve içindeki manyetik alanın yönüne ve şiddetine bağlı olarak belirli bir empedans değerine ulaşır. Eşitlik (2.22)'de gösterildiği gibi belli bir nüvede sarım sayısı ve hattın akımıyla doğru orantılı olarak bir manyetik akı yoğunluğu meydana gelir. OM şok bobinlerinde sarım yönlerinin ters olmasından dolayı Şekil 2.15'te gösterildiği gibi aynı yönlü akım ve böylece aynı yönlü manyetik akı yoğunluğu oluşur. Oluşan manyetik akı yoğunluğu ise Eşitlik (2.23)'te görüldüğü gibi sarım sayısıyla doğru orantılı, akım ile ters orantılı olarak bir empedansın ortaya çıkmasına sebep olur (Cheng 2014). Şok bobinlerinde aynı değerdeki FM akımlarının oluşturacağı manyetik alanlar ise birbirleriyle zıt yönde olduğu için ideal şartlarda herhangi bir empedansa sebep olmamalıdır. Ancak her iki hattın FM akımları, faz ve nötr hat empedanslarının gerçekte birbirinden farklı olmasından dolayı aynı değeri gösteremeyecek ve böylece Şekil 2.11 (c)'de görüldüğü gibi küçük de olsa bir kaçak empedansa sebep olacaktır.

$$\oint B \cdot dl = \mu NI \quad (2.22)$$

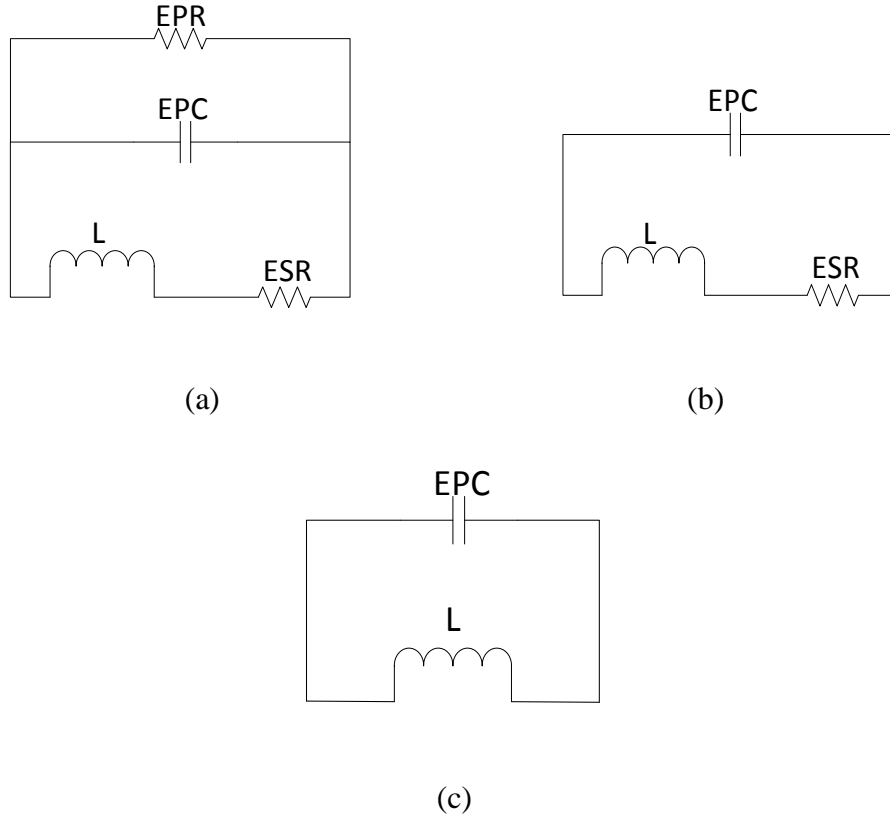
$$M = \frac{N}{I} \int B \cdot ds \quad (2.23)$$



Şekil 2.15. OM şok bobin indüktör sarımı

Süzgeç indüktörlerinin bastırma işleminde bazı dezavantajları bulunmaktadır. Büyük yapıları ve HF karakteristiklerinin sıcaklık ve akıma karşı çok hassas olması süzgeçlemede problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca şok bobinleri dışarıdan gelebilecek manyetik alanlara karşı çok alıngandır. FM indüktörleri ise yüksek akımda çalıştıkları için girişimde bulunabilmektedir. Bundan dolayı süzgeç içerisinde OM şok bobininin ekranlanması gerekebilmektedir (Cadirci, Saka ve Eristiren 2005). Ancak özellikle şok bobinlerinin süzgeçlemede kullanılması, Y tipi kapasitörlerin güvenlik sebeplerinden dolayı belirli değerlerde sınırlandırılmasından dolayı şarttır.

İndüktörler kapasitörlere nazaran çok daha düşük frekanslarda rezonansa girerler. Bu yüzden SRF ve iptal teknikleri indüktörlerde çok daha fazla önem taşımaktadır. Eşdeğer devresi Şekil 2.16'de gösterilmiş olan indüktörlerin bazı durumlarda ESR'si çok küçük veya EPR'si çok büyük kabul edildiği için ihmal edilebilmektedir.



Şekil 2.16. İndüktör (a) eşdeğer devresi (b) EPR ihmal edilerek (Tihanyi 2004) (c) ESR ve EPR ihmal edilerek (Tihanyi 2004, Wang, Lee ve van Wyk 2006, Wang, Lee ve van Wyk 2006)

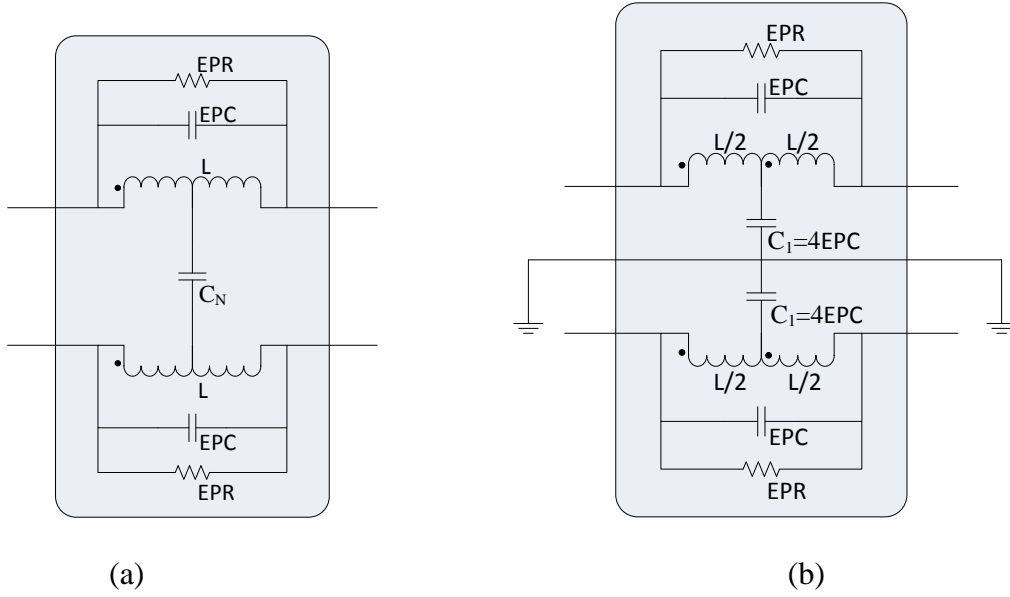
OM şok bobini birbirine bağlı iki sarımdan oluştuğu için EPC parazit parametresi bu devre bileşeninde sarımlar arasında ve sarım-çekirdek arasında oluşan parazit kapasitans toplamıdır. Şok bobinlerinin eşdeğer devre yapısı Şekil 2.17 (a)'da gösterilmiştir. Şok bobinleri ve bağlı indüktörlerdeki SRF ile parazit parametreleri arasındaki ilişki Eşitlik (2.24)'te gösterilmiştir. Kapasitörlerde olduğu gibi süzgeçlemede HF karakteristiğini artırabilmek için indüktörlerde de EPC'yi olabildiğince azaltmak gerekmektedir. Sarımlar arasında oluşan EPC'yi azaltmak için sarım mesafelerini artırmak veya sarım açısını 30°'den yukarıda tutmak EPC'yi azaltabilmektedir (Cadirci, Saka ve Eristiren 2005).

$$f_{SRF} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left| EPC - \frac{C_N}{2} \right|}} \text{ [Hz]} \quad (2.24)$$

EPC'yi azaltmanın bir başka yöntemi, Chen (2005) ve Wang (2006)'de verilmiştir. Bu yöntemde sarımların merkeziyle toprak arasına kapasitörler bağlamaktır. Yöntem düzeneği Şekil 2.17 (b)'de gösterilmiştir. Bobinin empedansını gösteren  $Z_e$  ise:

$$Z_e = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 L(EPC - \frac{C_1}{4})} [\Omega] \quad (2.25)$$

şeklinde verilmektedir. Eşitlik (2.25)'da, eğer  $C_1$ , EPC parametresinin dört katı değerinde bir kapasitör olursa  $Z_e=j\omega L$  olacak ve böylece EPC iptal edilerek indüktörün HF karakteristiği yükseltilmiş olacaktır (Wang, Lee ve van Wyk 2006).

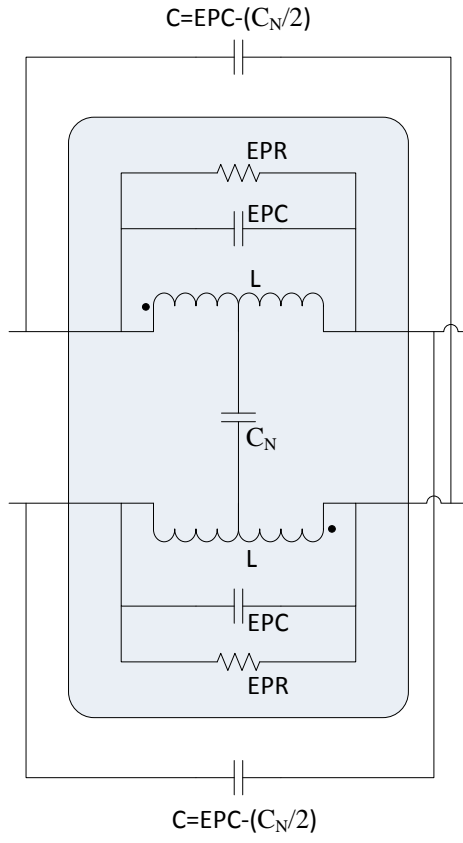


Şekil 2.17. Şok bobini (a) eşdeğer devresi, (b) OM için EPC iptal yöntemi

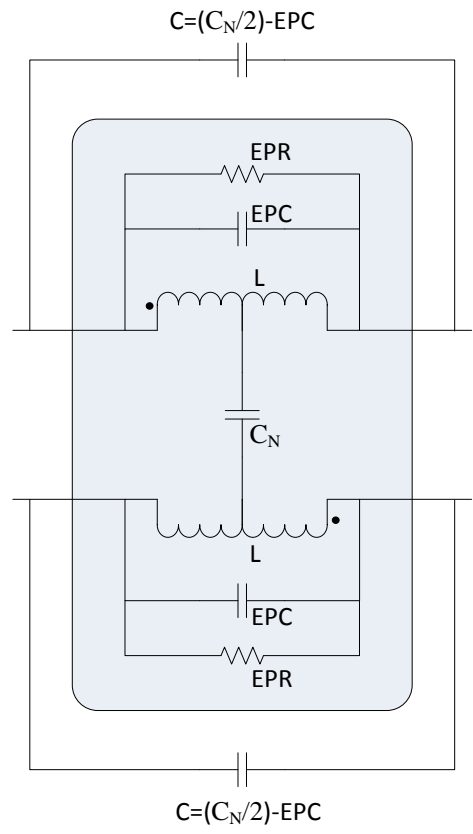
Bağlı FM indüktörleri için kullanılan ve Şekil 2.18'da gösterilen başka bir yöntemde ise sarımlar arasındaki kapasitans ile indüktördeki EPC değerlerine bağlı olarak iki çözüm vardır:

- 1)  $EPC > (C_N/2)$  ise  $EPC - (C_N/2)$  değerinde iki kapasitör indüktörlere çapraz şekilde bağlanır,
- 2)  $(C_N/2) > EPC$  ise  $(C_N/2) - EPC$  değerinde iki kapasitör indüktörlere paralel bir şekilde bağlanır.

Bu yöntem ile Eşitlik (2.25)'te görüleceği gibi parazit kapasitans parametresi azaltılarak indüktörün HF karakteristiği yükseltilebilmektedir (Wang, Lee ve van Wyk 2006).



(a)



(b)

Şekil 2.18. Bağlı FM İndüktörlerinde (a) çapraz bağlanarak (b) paralel bağlanarak EPC iptal işlemi

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde test altındaki güç kaynağı, gürültünün tespit edilebilmesi için CISPR 22 standardı çerçevesinde test edilmiştir. Testin sonucunda oluşan gürültü seviyesi belirlenmiş ve elde edilen değerler yorumlanmıştır. Daha sonra bulunan gürültülerin bileşenlerine ayrılabilmesi için Wang, Lee ve Odendaal'ın (2005) belirtmiş olduğu gürültü ayırıcısı tasarlanmış ve bu tasarımın ayırma kabiliyeti, yansıma katsayısı ve saçılma parametreleri Agilent N9926A Vektör Network analizörü ile incelenmiş, daha sonra ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayırma işleminden sonra bulunan OM ve FM gürültüler yorumlanarak bu değerleri bastırabilecek süzgecin yapısı, bileşen değerleri ve tasarımı hesaplanmış, son olarak da EMG süzgeç devresi benzetim ortamında hazırlanmıştır.

Ayrıca bu bölümde gürültü ayırıcının yüksek frekanslarda giriş-çıkış değerlerinin gözetlenebilmesi için kullanılacak olan saçılma parametresine (s-parametresi) gürültü bileşenlerinin ayrılması konu başlığı altında değinilmiştir.

#### 3.1. Anahtarlamalı Güç Kaynaklarında EMG Tespiti

Endüstride kullanımı vazgeçilmez olan güç kaynakları anahtarlamalı ve lineer olmak üzere ikiye ayrılır. Anahtarlamalı güç kaynakları, yüksek frekansta sürekli olarak anahtarlama işlemi yapan yarı iletkenler sayesinde enerji kontrolünü sağlayan bir elektronik güç kaynağıdır. Lineer güç kaynağı ise istenilen çıkış değerine göre bir transformatör ve bir regülatörden oluşur. AGK'ların lineer güç kaynaklarına göre birçok avantajı olduğu bilinmektedir. Öncelikle lineer güç kaynaklarının temel dezavantajı çok büyük ve ağır olmalarıdır. Ayrıca ısınma problemleri ve düşük güç aktarımı da lineer güç kaynağının eksilerinden sayılabilir. AGK'da bu kusurların üstesinden gelinmiştir. Ayrıca yüksek anahtarlama frekansı, AGK içerisindeki transformatörler ve enerji depolama bileşenlerinin boyutlarını oldukça düşürür. Böylece lineer güç kaynaklarına kıyasen boyut ve maliyette de oldukça azalma görülür. AGK'ların bir artışı da üzerindeki transformatöre sarım ekleyerek güç kaynağından birden fazla çıkış gerilimi alınabilmesidir. Örneğin; bilgisayar kasalarında 12V gerilimin yanı sıra 5V ve 3.3V gerilime de ihtiyaç duyulur. Bu gereksinim ise bir AGK örneği olan ATX güç kaynağı tarafından çözülür. Şüphesiz AGK'lar avantajlarının yanında bazı kusurlara da sahiptir. Gerilim ve akım anahtarlamalarından dolayı AGK içerisinde ışıma veya iletim yolu gürültüler meydana gelmektedir. Bu gürültüleri engelleyebilmek için daha dikkatli ve karmaşık tasarımlara ihtiyaç duyulur (Brown 1990).

Bir cihazın yapmış olduğu elektromanyetik girişimler o cihazın belli standartlar doğrultusunda hazırlanmış testlerden geçirilmesiyle tespit edilebilir. Küresel endüstride elektromanyetik uyumluluk konusunda uygulanan standartlar Uluslararası Elektroteknik Komitesi (IEC), Uluslar arası Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE),



Federal Haberleşme Komitesi (FCC) ve Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) gibi kuruluşlar tarafından hazırlanmaktadır. EMU standardı olarak Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'nün hazırlamış olduğu TS EN 55022 (Bilgi teknolojisi cihazları - Radyo bozulma özellikleri - Ölçme metotları ve sınırlar) standardı, CENELEC tarafından hazırlanmış olan EN 55022 ve IEC tarafından hazırlanmış olan CISPR 22 (Bilgi teknolojisi cihazları - Radyo bozulma özellikleri - Ölçme metotları ve sınırlar) standardı (CISPR 22 1997) ile aynı doğrultu ve limitlere sahiptir. CISPR 22, ölçüm şekli, limit değerleri gibi konuları bildiriyor olsa da, standart deney sırasında kullanılacak cihazlar, deney kurulumu ve atılacak adımlar için CISPR 16-2-1 (Conducted disturbance measurements) (CISPR 16-2-1 2005) ve benzeri açıklamalara atıfta bulunur.

### 3.1.1. CISPR 22 iletimle yayılım test ölçümleri (150 kHz – 30 MHz)

CISPR 22 iletimle yayılım testinin amacı 150 kHz ile 30 MHz aralığındaki frekans bandında test altındaki cihazın ana hatta yaptığı elektromanyetik girişimin saptanmasıdır. ATX güç kaynakları test prosedüründe bir AGK olarak B sınıfı cihaz statüsünde geçmektedir. Bu yüzden uygulanması gereken sınır değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir:

Çizelge 3.1: B sınıfı cihazın ana hatta yaptığı iletimle yayılım için sınır değerler

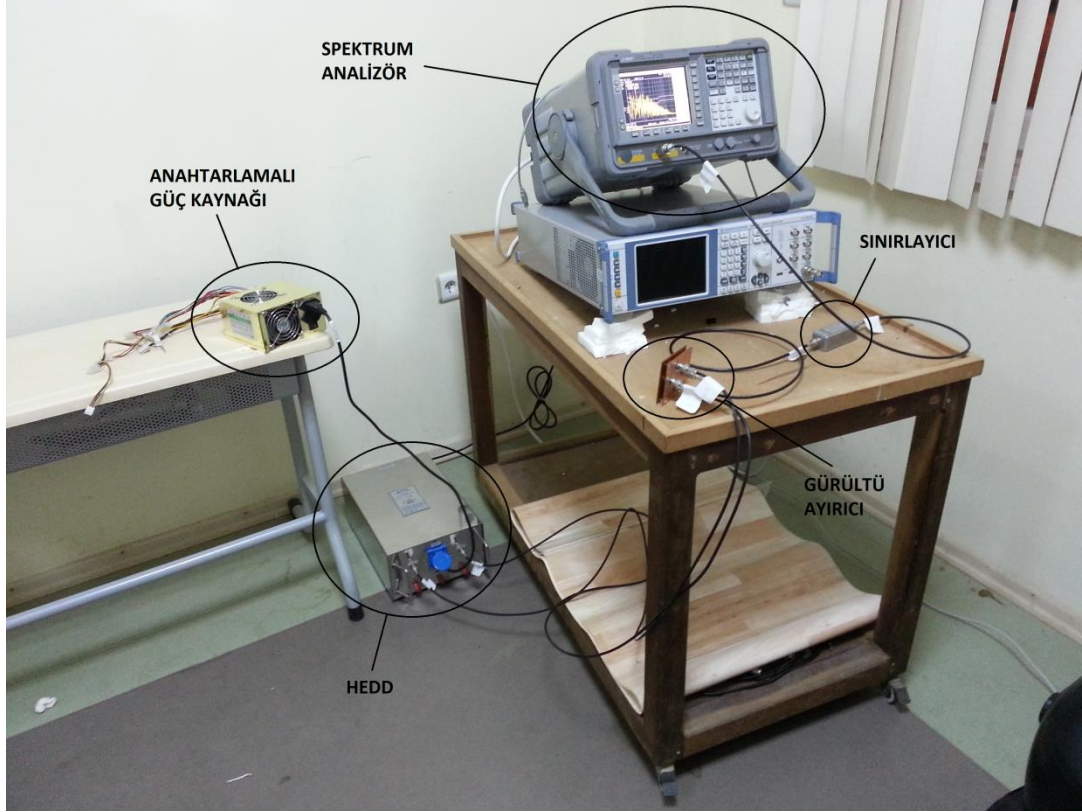
FREKANS ARALIĞI (MHz)	LİMİTLER (dB $\mu$ V)	
	QP	AV
0,15 – 0,5	66 – 56	56 – 46
0,5 – 5	56	46
5 – 30	60	50

Test sırasında kullanılan araç ve gereçler;

- Spektrum Analizör (Test Alıcı),
- Hat Empedansı Dengeleme Devresi (HEDD),
- Geçici Sınırlayıcı (10 dB),
- 50  $\Omega$  sonlandırıcı direnç,
- Yalıtkan test masası,
- Koaksiyel kablo

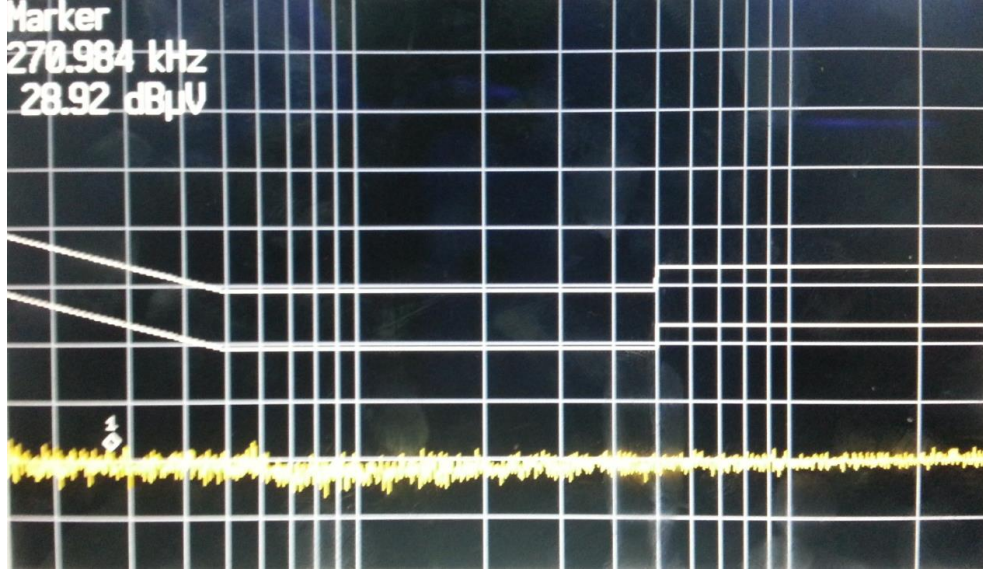
şeklinde sıralanır. Test kurulumu için Şekil 2.1'de verilen örnek ölçüm düzeneği hazırlanmıştır.

Cihazların çalışmalarının dengelenebilmesi için 30 dakika beklenmiştir. Ardından ortamdaki gürültünün standartta belirlenen limitten en az 6 dB aşağıda olduğu görülerek TAC, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi deney düzeneğine dahil edilmiştir. Testin her hat için ayrı ayrı yapılabilmesi amacıyla ölçüm alınacak hat, HEDD’den 10 dB sınırlayıcıyla birlikte spektrum analizöre bağlanmış ve diğer hat ise HEDD’de 50  $\Omega$  sonlandırıcı ile sonlandırılmıştır.



### 3.1.2. Birinci hattın ölçümü

Ölçüme başlamadan önce deney kurulumunda ortam ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm sonucunda Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ortam gürültüsünün 28 dB $\mu$ V olduğu gözlemlenerek verilen sınır değerlerinin en az 6 dB altında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Ortam ölçümü

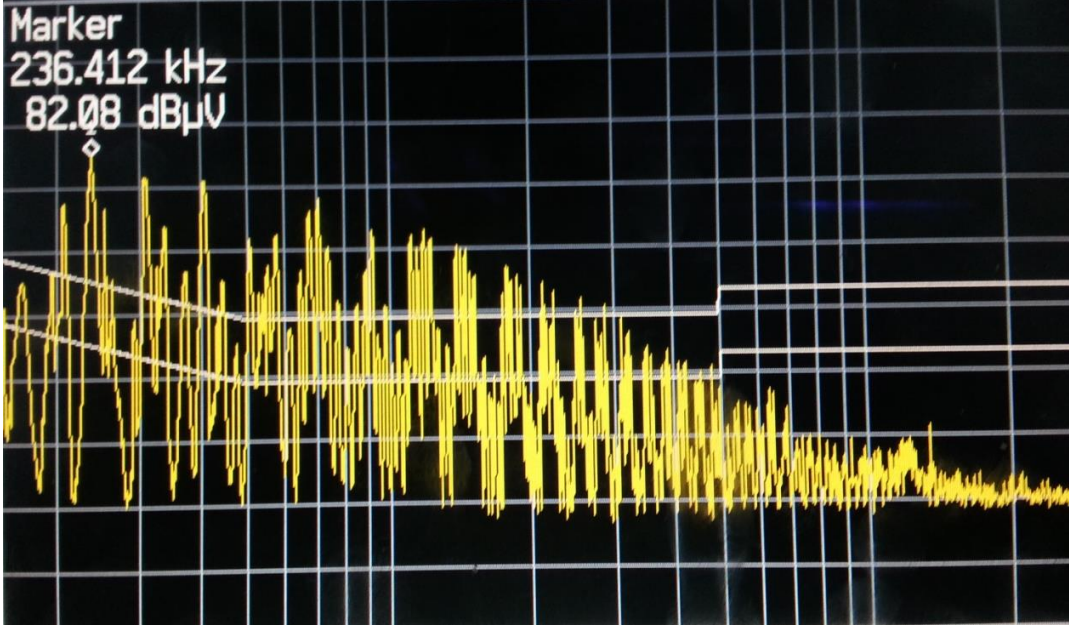
Daha sonra birinci hattın ölçümü için ikinci hat Şekil 3.3’de görüldüğü gibi 50  $\Omega$  ile sonlandırılarak birinci hat 10 dB sınırlayıcı ile birlikte spektrum analizöre bağlanmıştır.



Şekil 3.3. Birinci hat ölçümü için HEDD bağlantıları

Bağlantılar gerçekleştirildikten sonra oluşan gürültü tespit edilmiştir. ATX güç kaynağının birinci hat üzerinde iletimle yapmış olduğu EMG Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Ölçüm sonucu ile TAC’ın birinci hat üzerinden ortalama 80 dB $\mu$ V girişim değerlerinde

gürültü oluşturarak hem tepe gibi (QP) hem de ortalama (AV) limitlerini aştığı tespit edilmiştir.

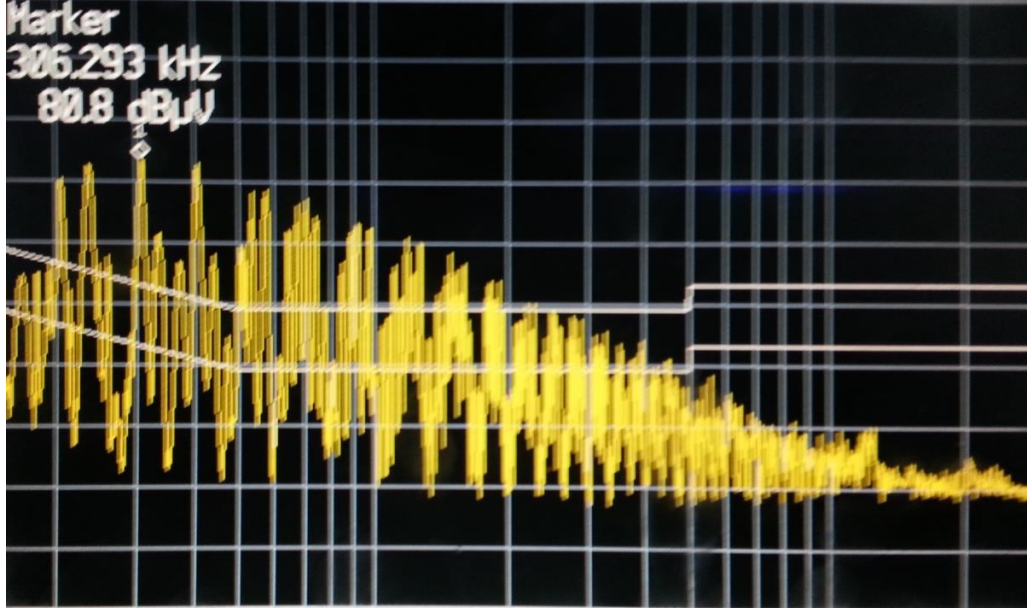


Şekil 3.4. Birinci hat ölçüm sonucu

### 3.1.3. İkinci hattın ölçümü

İkinci hat ölçümü için bir önceki ölçümün tersi yapılarak, HEDD birinci hat üzerinden 50  $\Omega$  ile sonlandırılıp ikinci hat üzerinden de spektrum analizöre bağlanmıştır. Bağlantı sonucunda oluşan girişim Şekil 3.5'te görüldüğü gibi saptanmıştır. Bir AGK örneği olan test altındaki ATX güç kaynağının ikinci hat üzerinden iletimle yapmış olduğu yayınının da 80 dB $\mu$ V değerlerinde olduğu görülmüş, böylece limitleri aştığı tespit edilmiştir.





Şekil 3.5. İkinci hat ölçüm sonucu

#### 3.1.4. Hat ölçüm sonuçları

Yapılan ölçüm sonuçlarında TAC'ın hem birinci hem de ikinci hatta yapmış olduğu EMG'nin sınır değerlerinin en az 20 dB $\mu$ V üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple test altında bulunan ATX güç kaynağı CISPR 22 iletimle yayılım standart gereksinimlerini karşılayamadığı tespit edilmiştir.

Belirlenmiş olan girişimlerle ATX güç kaynağının aynı hat üzerinde elektromanyetik hassasiyeti yüksek olan bir cihazı rahatsız edebileceği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle oluşan girişimlerin uygun bir şekilde bastırılması gerekir. Ayrıca gürültünün belli frekans harmoniklerinde azalarak devam ettiği görülmüştür. Böylece oluşan gürültü bir pasif EMG süzgeci yardımıyla bastırılabilir. Ancak EMG süzgeç tasarımından önce gürültünün hangi oranda OM ve FM bileşenlerinden oluştuğunu tespit etmek gerekmektedir. Bu yüzden gürültünün bileşenlerine ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1.5. Gürültü bileşenlerinin ayrılması

Elektronik sistemler üzerinde oluşan elektromanyetik gürültü bölüm 2.1.3'te de anlatıldığı gibi ortak mod (OM) ve fark mod (FM) olmak üzere iki bileşenden oluşur. Bu iki bileşenin oluşum noktaları ve sistemdeki akış yönleri birbirinden farklıdır.

Bir elektromanyetik gürültü kaynağından üretilen elektromanyetik girişimin analiz edilebilmesi ve önlenbilmesinde tasarlanacak elektromanyetik girişim

süzgecinin tam olarak başarıya ulaşabilmesi için oluşan EMG'nin bileşenlerine başarılı bir şekilde ayrılabilmesi gerekmektedir. Bu işlemin birkaç yolu vardır. Bu yollardan bir tanesi de gürültüyü pasif bileşenlerden oluşan bir devre yardımıyla ayırmaktır.

Bu bölümümüzde, elektromanyetik girişim süzgeci tasarlayabilmek için Wang, Lee ve Odendaal'ın (2005) geliştirmiş olduğu yöntemi kullanarak yapılan gürültü ayırıcı devresi açıklanmıştır. Gürültü ayırıcının elektromanyetik girişimi ayırma kabiliyetinin anlaşılabilmesi için saçılma parametreleri kullanılmaktadır. Bu nedenle açıklamada öncelikle saçılma parametreleri tartışılmıştır. Daha sonra devrenin çalışma becerisi, benzetim ortamında ve network analizör üzerinde s-parametreleri yardımıyla gösterilmiştir. Son olarak gürültü ayırıcı devresi yardımıyla elde ettiğimiz gürültü bileşenleri değerlendirilmiştir.

### 3.1.5.1. Saçılma parametresi

N portlu bir aygıtın analizini yapabilmek için birçok parametre kullanılır. Empedans parametresi (Z-parametresi), iletim parametresi (Y-parametresi), ABCD parametresi, hibrit parametre (H-parametresi) bunların başında sayılabilir. Sayılan bu parametrelerin matris anlatımlarındaki bağımlı ve bağımsız değişkenlerinin birimleri amper veya volt olduğu için düşük frekanslarda doğru değerlere ulaşılabilirken RF mikrodalga bandına çıkıldığında bu parametrelerle, kısa devre ve açık devre kabiliyetinin zorlaşması, yansıma ve saçılma belirsizlikleri gibi sebeplerden dolayı ölçüm yapılması oldukça güçleşecektir. Ancak s-parametrelerinde gelen ve giden gerilim dalgaları birimsiz olduğu için yüksek frekanslarda açık devre ve kısa devrelerin endüktif ve kapasitif etkilerine rağmen giriş ve çıkışlar arasındaki parametreler daha net hesaplanabilmektedir. Ayrıca s-parametreleri istenilen ölçüm aralıklarında tam olarak kalibre edilebilir. Bu nedenle ölçüm sırasında oluşan parazitler ölçümün dışında tutulur (Agilent AN 154 2006, HP 2005).

S-parametreleri Şekil 3.6'da gösterildiği gibi genellikle iki portlu cihazlarda kullanılmasına rağmen Eşitlik (3.1)'de matris eşitliği tanımlandığı üzere n portlu cihazlarda kullanılabilir.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

S-parametrelerinin bir başka avantajı ise bir portun girişiyle ilgili ölçümler yapılırken diğer portların uygun empedansla sonlandırılabilmesidir. Örneğin; birinci porttan  $a_1(l_1)$  giriş gerilim dalgasıyla ilgili s-parametrelerini ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{n1}$  v.b)

ölçebilmek için diğer portların tamamı uygun bir şekilde sonlandırılır ( $a_2(l_2) = 0$ ,  $a_3(l_3) = 0$ ,  $a_n(l_n) = 0$  v.b). Sonlandırılan portların empedans değerleri hattın karakteristik empedansına eşit olur. Çünkü yüke gelen dalga bu sayede tamamıyla soğurulacak ve geriye hiçbir yansıma kaybı olmayacaktır.

Şekil 3.6'de gösterilen iki portlu bir cihazın ölçümleri için hattın çıkış empedansı olan  $Z_o$ 'yu  $Z_{o2}$  ile eşlemeye gerek yoktur. Aslında böyle bir eşlemeyi yapmak da oldukça güçtür. Fakat  $Z_{o2}$  ile hattın sonuna bağlanacak bir yükün  $Z_2$  empedansını eşlemek  $a_2(l_2) = 0$  yapmak için yeterli olacaktır. Aynı yöntem giriş portu içinde uygulanır. Ayrıca iletim hatlarının karakteristik empedansları ( $Z_{o1}$ ,  $Z_{o2}$  gibi) 50  $\Omega$  standart değeriyle özdeşdir (Gonzalez 1996).



Şekil 3.6. S-parametresi ölçümünde iletim hattındaki karakteristik empedansların gösterimi (Gonzalez 1996)

Gürültü ayırıcıların çalışma becerilerini görebilmek için bazı oran ve katsayıları bilmek gerekmektedir. Bunun için yansıma katsayısı ( $\Gamma$ ), ortak mod bastırma oranı (OMBO-CMRR) ve fark mod bastırma oranı (FMBO-DMRR) gibi verileri bulmak için (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5) eşitlikleri aracılığıyla s-parametresi hesaplamaları kullanılır [19]. Gerçekleştirilen tasarımda bu hesaplamalar, hem benzetim ortamında hem de gerçek ölçüm sonuçlarında elde edilerek grafik üzerindeki gösterimiyle tartışılmıştır.

$$\Gamma_1 \approx S_{11} \quad (3.2)$$

$$\Gamma_2 \approx S_{22} \quad (3.3)$$

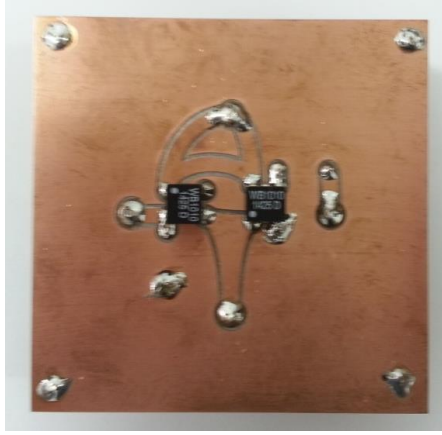
$$OMBO = \frac{V_{\text{ÇIKIŞ}}}{V_{OM}} \approx \frac{S_{31}}{1+S_{11}} + \frac{S_{31}}{1+S_{22}} \quad (3.4)$$

$$FMBO = \frac{V_{\text{ÇIKIŞ}}}{V_{FM}} \approx \frac{S_{31}}{1+S_{11}} - \frac{S_{31}}{1+S_{22}} \quad (3.5)$$

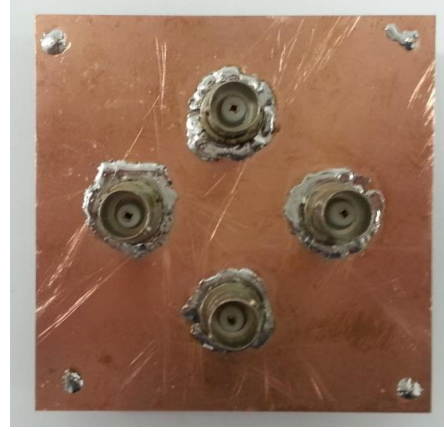




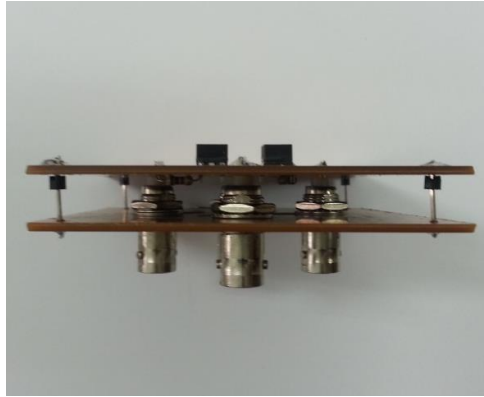
için hazır hale getirildi. Gürültü ayırıcı devresinin testlerde kullanılan tasarımı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



(a)



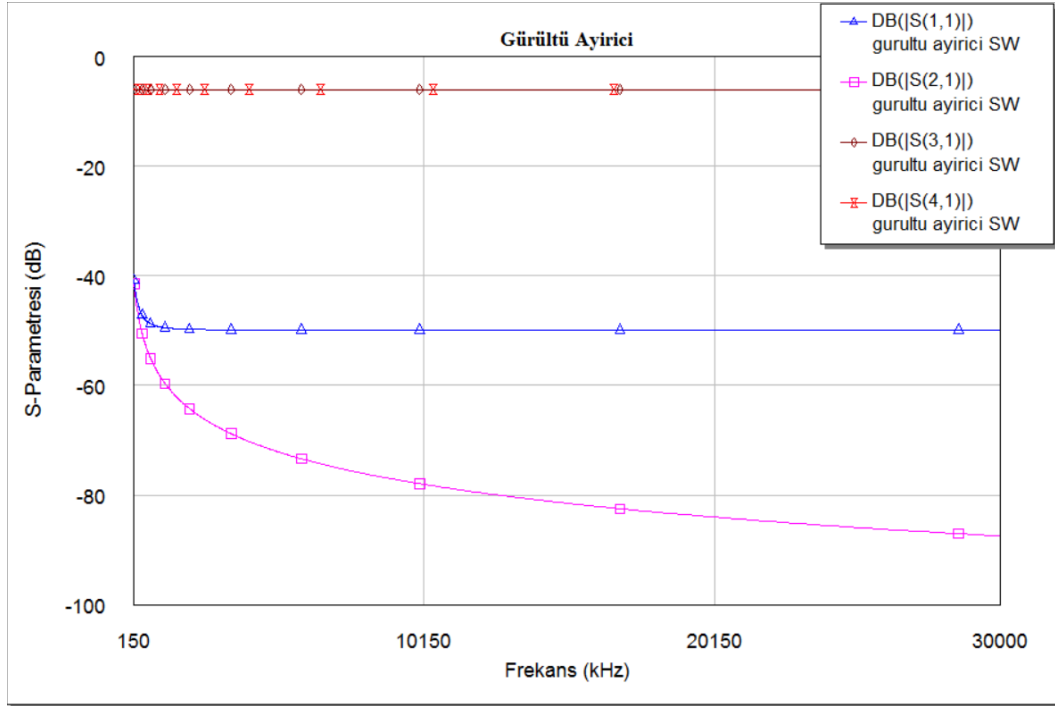
(b)



(c)

Şekil 3.8. Gürültü ayırıcı devresinin (a) önden, (b) arkadan ve (c) yandan görünüşü

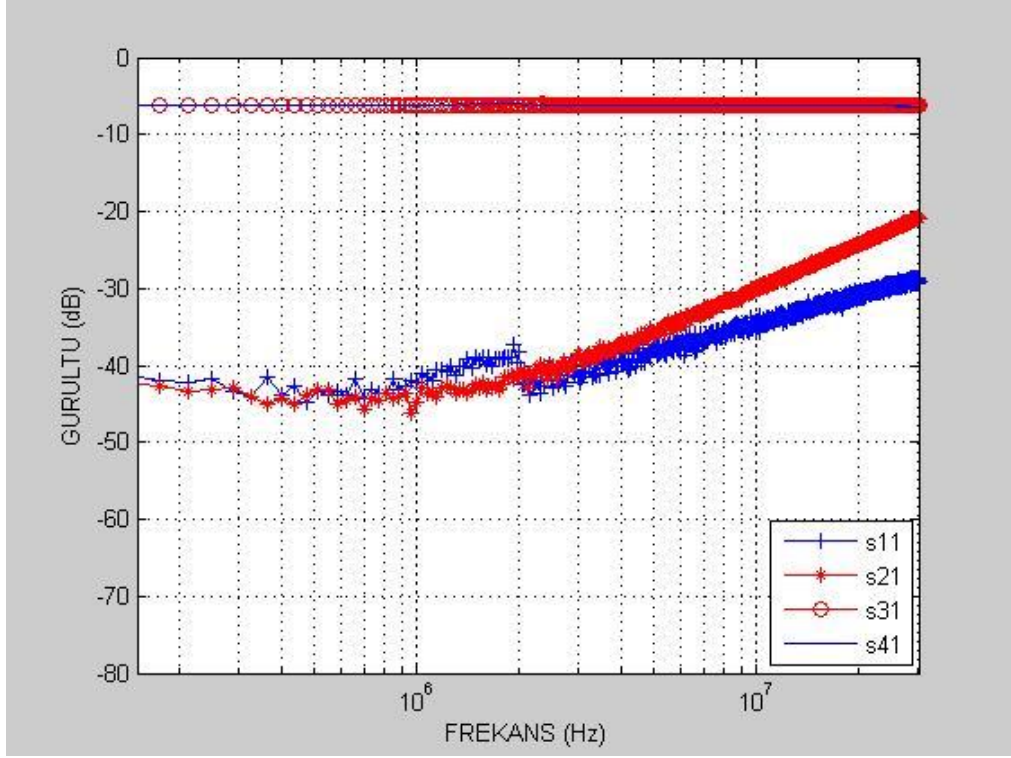
Devrenin bilgisayar tabanlı modellemesinde, devre bileşeni olarak kullanılan rf transformatörün değerleri Coilcraft firmasının WB1010-PCL modelinin ek-1’de verilen veri sayfasına göre girilmiştir. Girilen değerlerin sonunda devre çalıştırılarak gürültü ayırıcının s-parametreleri incelenmiştir. Gürültü ayırıcının AWR Microwave Office programındaki modellemesinin s-parametreleri Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Oluşan grafikte  $S_{31}$  ve  $S_{41}$  parametrelerinin -6 dB’de sabit kaldığı görülürken  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  parametrelerinin ise -50 dB ve altında olduğu tespit edilmiştir.



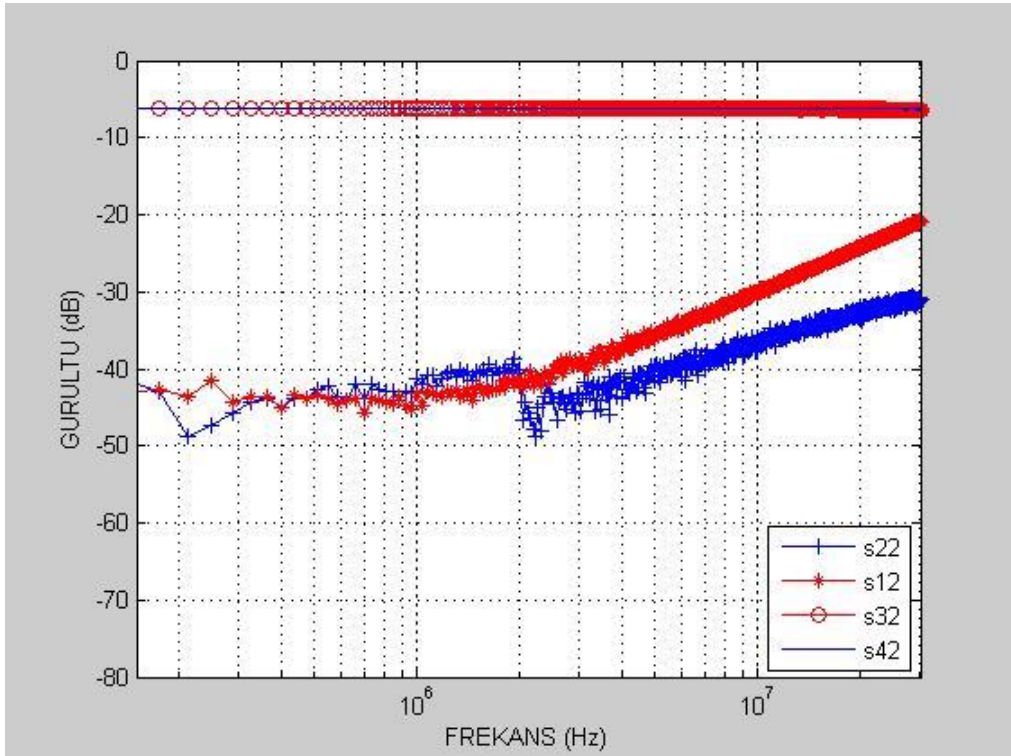
Şekil 3.9. Gürültü ayırıcı modelinin s-parametre sonuçları

Yapılan benzetimin ardından gürültü ayırıcı devresi tasarlandı. Bu tasarımda kullanılan yöntemden farklı olarak toprak yüzeyi daha geniş, devre bileşenleri birbirine daha yakın tutuldu. Ayrıca yüksek frekanslarda enerji dalga şeklinde ilerlediği için iletim yollarında yansımalar ve hatta saçılmalar meydana gelecek, böylece istenmeyen empedanslar oluşmaya başlayacaktır. Bundan dolayı bu devrede iletim yolları köşeli değil oval tasarlanarak yansıma katsayısı ( $\Gamma$ ) ve duran dalga oranını olabildiğince düşürmek hedeflenmiştir.

Tasarımı yapılmış olan gürültü ayırıcı devresinin Agilent N9926A Vektör Network Analizörü yardımıyla s-parametreleri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 3.10'da paylaşılmıştır.



(a)



(b)

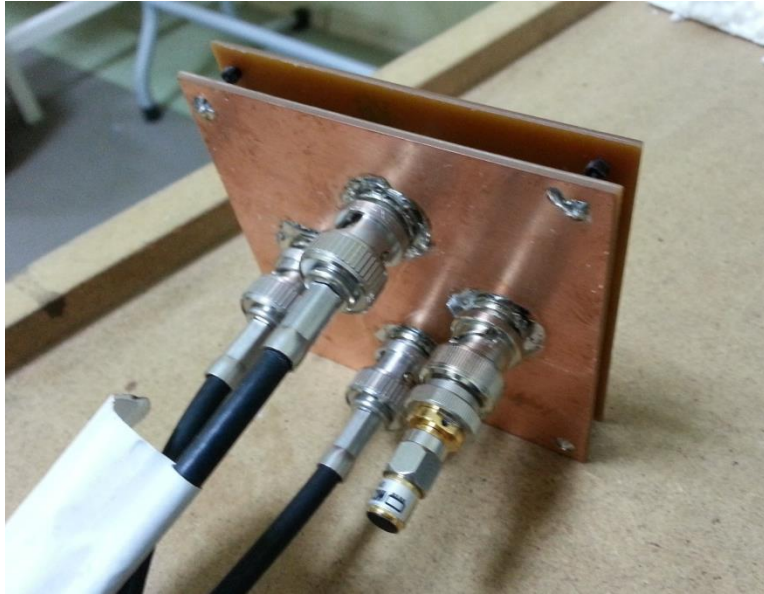
Şekil 3.10. Gürültü ayırıcı devresinin (a) birinci port girişli ve (b) ikinci port girişli s-parametre sonuçları

Yapılan ölçümlerin sonunda oluşturulan devrenin  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ ,  $S_{32}$  ve  $S_{42}$  parametrelerinin -6 dB’de sabit kaldığı görülürken yansıma katsayılarının oldukça düşük değerleri izlediği tespit edilmiştir. Bir modülün yansıma katsayısının -10 dB’in altında olması o modülün yeterli olduğunu gösterir. Yapılmış olan gürültü ayırıcı bu doğrultuda gayet başarılıdır. Hatta özellikle limiti aşan gürültülerin olduğu bant aralığında (150 kHz - 4 MHz) katsayılar -50 dB’i görmüştür. Böylece tasarlanmış olan gürültü ayırıcı ile gürültü bileşenleri doğru bir şekilde tespit edilebilecektir.

Tezin test sırasında gerçekleştirilen gürültü ayırma işlemleri yapılan bu gürültü ayırıcı devresiyle gerçekleştirilmiştir.

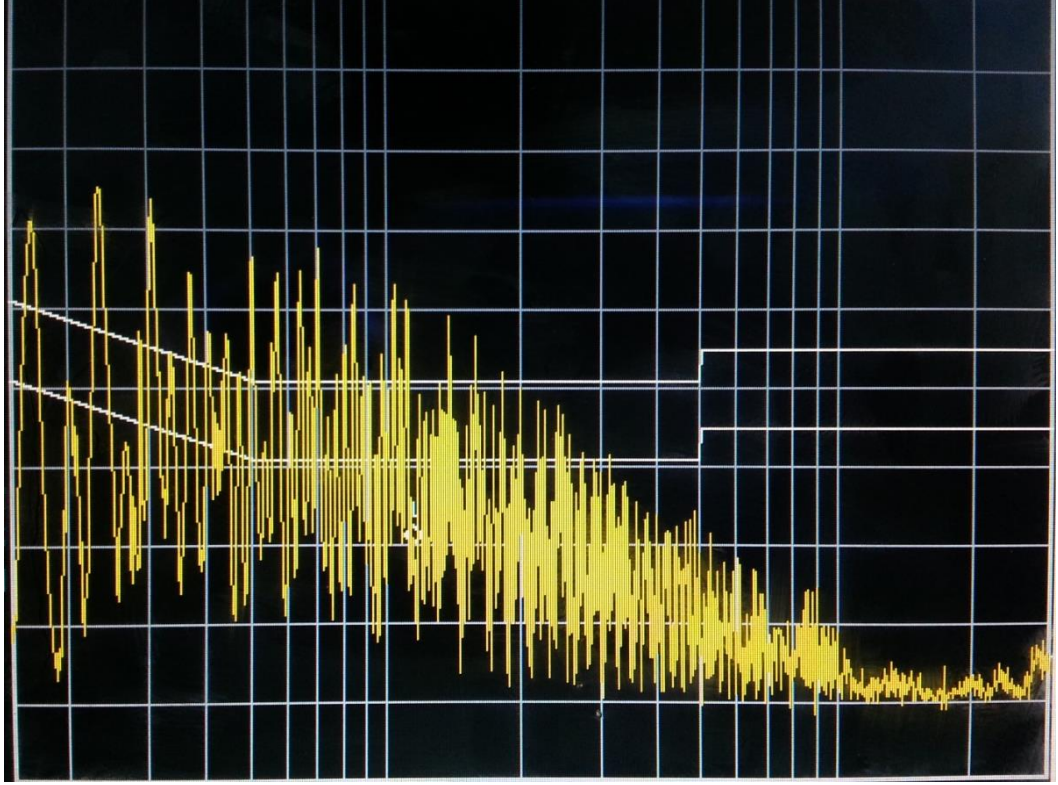
### 3.1.5.3. Ortak mod gürültü ölçüm sonuçları

Tasarlanmış olan gürültü ayırıcı HEDD çıkışına bağlanarak test kurulumuna entegre edilmiştir. Daha sonra Şekil 3.11’de görüldüğü gibi gürültü ayırıcının FM çıkışı 50  $\Omega$  yük ile sonlandırılmış ve OM çıkışı spektrum analizöre bağlanmıştır. Böylece TAC’ın yapmış olduğu OM gürültü saptanmıştır.



Şekil 3.11. Test düzeneğinde gürültü ayırıcının bağlantı şekli

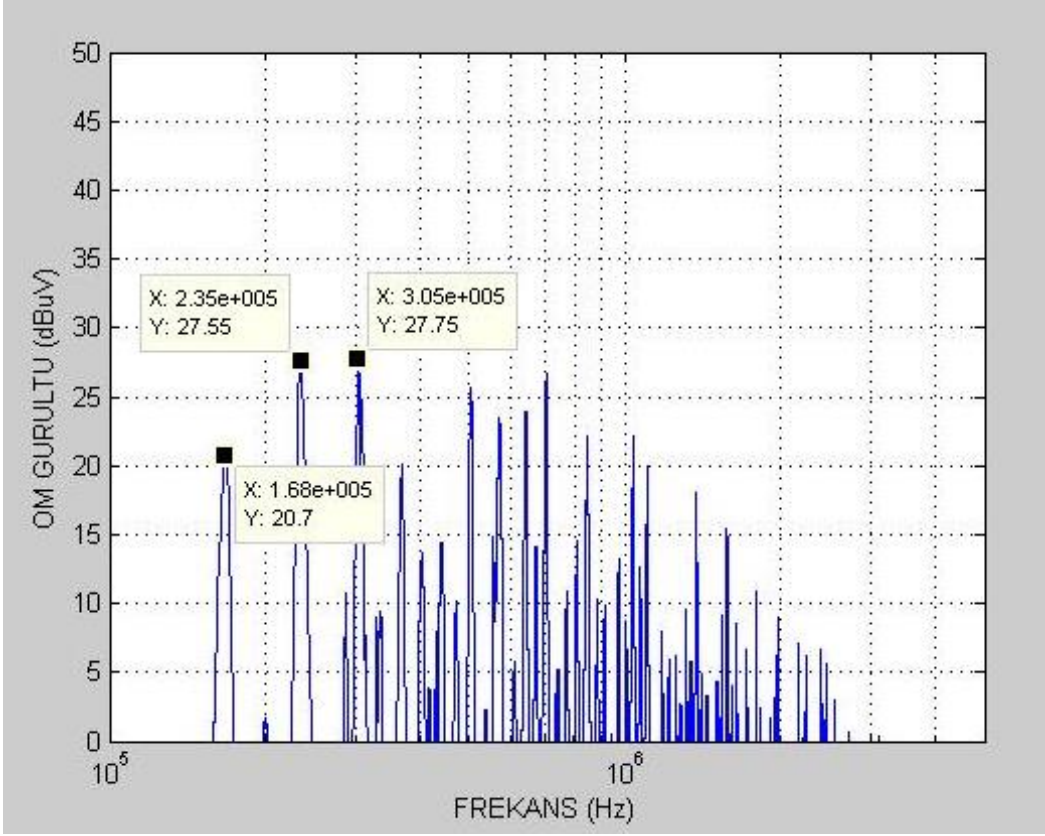
Test altındaki ATX güç kaynağının iletimle yayılım testinde saptanan OM elektromanyetik gürültüsü Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Gürültü bileşeni, verilen sınır değeri 20 ila 30 dB aralığında aşmaktadır.



Şekil 3.12. OM gürültü ölçüm sonucu

OM gürültü bileşenini bastıracak EMG süzgecinin tasarlanabilmesi için oluşan girişimin tam olarak analiz edilmesi gerekir. Bu yüzden limit değerlerini aşan girişimler MATLAB üzerinde benzetilerek bastırılması gereken oran Şekil 3.13'te logaritmik frekans tabanında verilmiştir. Verilen grafikte oluşan ilk tepe noktası 168 kHz'te 20.7 dB $\mu$ V, ikinci tepe noktası 235 kHz'te 27.55 dB $\mu$ V ve üçüncü tepe noktası da 305 kHz'te 27.75 dB $\mu$ V'tur. Bu değerler Bölüm 3.2'te bölümde EMG süzgecinin OM kısmının tasarlanmasında kullanılmıştır.

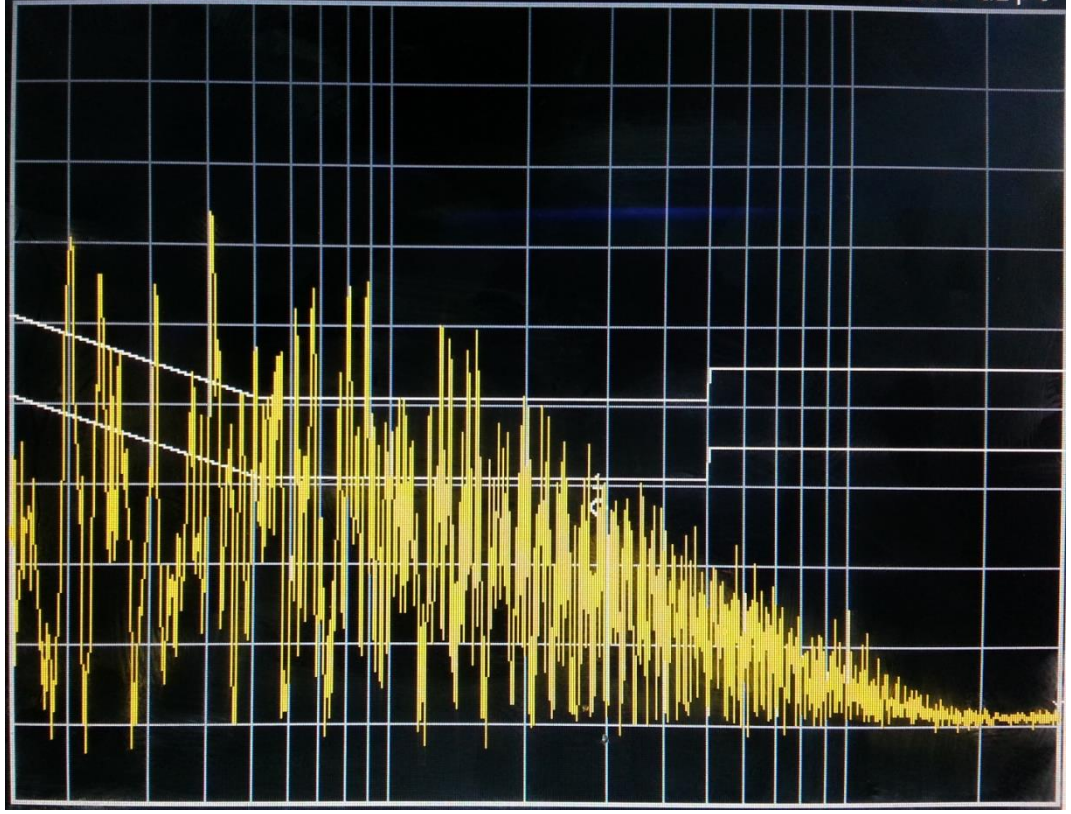




Şekil 3.13. Bastırılması gereken OM gürültü

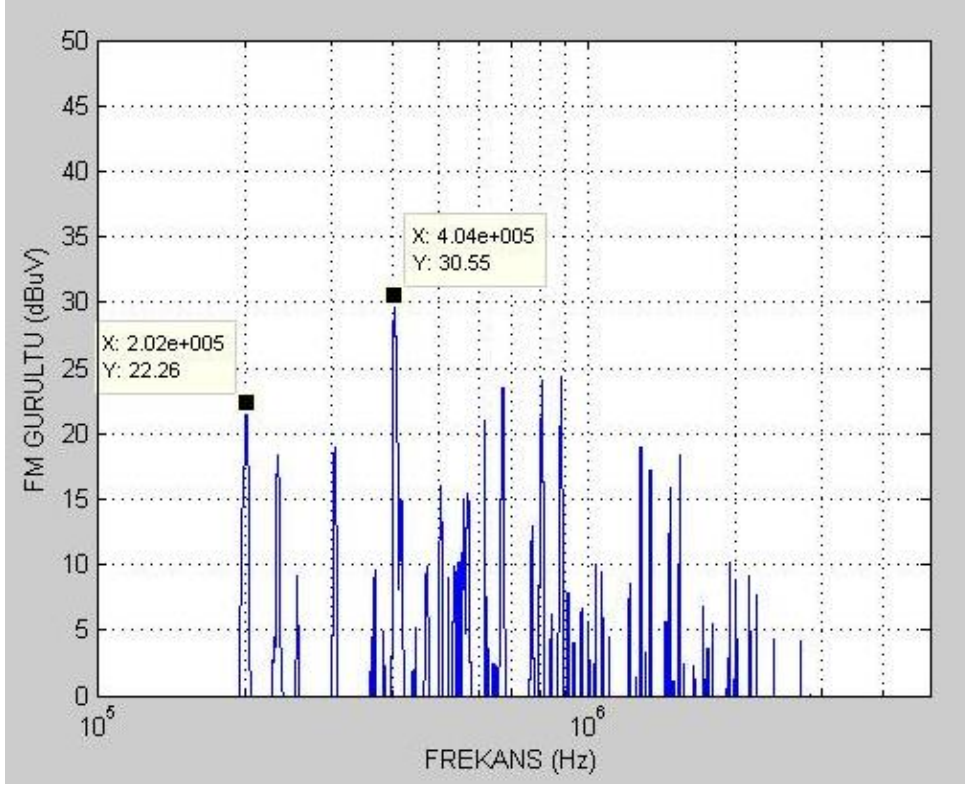
#### 3.1.5.4. Fark mod gürültü ölçüm sonuçları

Testin bir diğer adımı olan FM gürültü ölçümü için ise bir önceki ölçümden farklı olarak gürültü ayırıcının OM çıkışı 50  $\Omega$  yükle sonlandırılırken FM çıkışı spektrum analizöre bağlanmıştır. Böylece Şekil 3.14'de gösterildiği gibi TAC'ın iletimle yayılım testinde yapmış olduğu FM gürültü ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.14. FM gürültü ölçüm sonucu

EMG süzgeç tasarımında FM kısmının başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için FM gürültü bileşeninin de limiti aştığı değerleri bilmek gerekmektedir. Bu nedenle oluşan girişimin standart sınırlarından farkı alınarak bastırılması gereken değerler tespit edilmiştir. Şekil 3.15'te gösterilen bu değerler yaklaşık 3 MHz'te son bulmaktadır. EMG süzgeç tasarımında önemsenecek noktalar ise 202 kHz'te 22.26 dB $\mu$ V ve 404 kHz'te 30.55 dB $\mu$ V değerleridir.



Şekil 3.15. Bastırılması gereken FM gürültü

### 3.1.6. Sonuçların değerlendirilmesi

EMG süzgeç tasarımı için gerekli olan OM ve FM gürültü bileşenleri tespit edilmiştir. Verilen sınır değerlerini iki gürültü bileşeni de harmonikler halinde aştığı için süzgeç tasarımında iki bileşen de bastırma hesaplamaları içerisinde yer almıştır. Tasarlanmış olan süzgecin kesim frekansı Şekil 3.13 ile Şekil 3.15'te belirlenmiş olan noktalar temel alınarak hesaplanmıştır.

## 3.2. Elektromanyetik Girişim Süzgecinin Belirlenmesi ve Tasarlanması

### 3.2.1. Elektromanyetik girişim süzgeci tasarımı

Bu bölümde gürültü ayırıcıyla bileşenleri tespit edilen ATX güç kaynağının yapmış olduğu iletimle yayılımın belirli bant aralığında uygun oranlarda bastırılabilmesi için EMG süzgeç tasarlanmıştır. Bunun için öncelikle OM ve FM gürültü sonuçlarını kullanarak hangi frekans aralıklarında ve ne kadar bir bastırma oranı gerektiği belirlenmiştir. Daha sonra yapılan süzgecin tipi ve kullanılan devre elemanlarının değerleri saptanmıştır. Son olarak da belirlenen değerlerle birlikte EMG süzgeç tasarımı benzetim üzerinde gerçekleştirilmiştir.



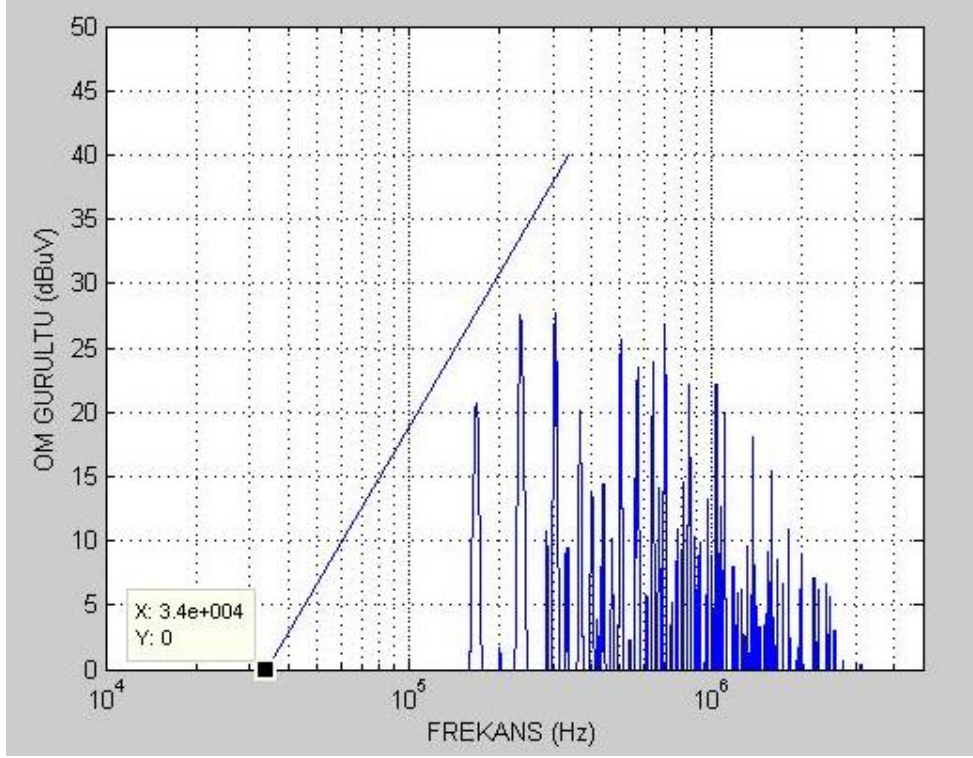
### 3.2.1.1. Gerekli OM ve FM gürültü bastırmalarının belirlenmesi

Elektromanyetik gürültüleri bastırabilecek süzgecin adım adım tasarlanması gerekmektedir. İlk olarak iki katlı bir süzgecin 40 dB/onkat bastırma oranıyla belirlenmiş olan gürültüleri tamamen limitin altına çekebilmesi için uygun kesim frekansı belirlenmelidir. Bunun için ise her frekansta bastırılması gereken oran Eşitlik (3.6)'da gösterildiği gibi hesaplanmış olan gürültünün 6 dB fazlası olmalıdır (Lu, Chen ve Huang 2007).

$$(V_{bastır})_{dB} = (V_{oluşan})_{dB} - (V_{sınır})_{dB} + 6dB \quad (3.6)$$

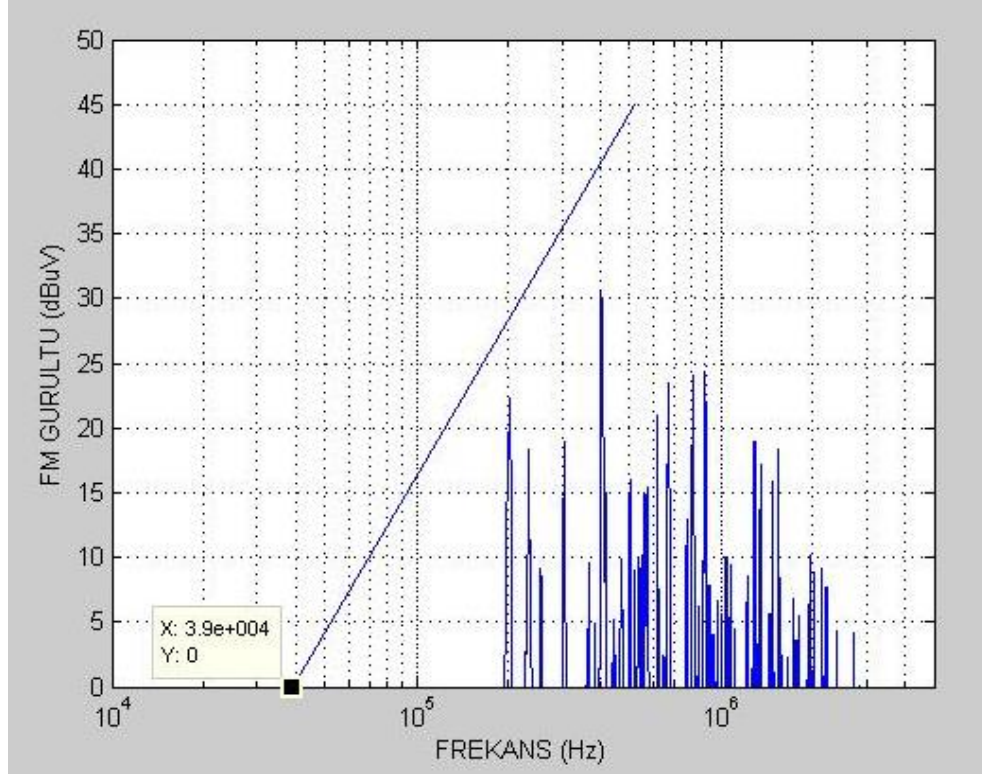
Tasarlanmış olan süzgecin araya girme kaybının oluşan gürültüleri tam olarak içine alabilmesi için bastırmanın başlayacağı kesim frekansının doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu işlem geometrik yollarla veya pratik olarak yapılabilir. Test altındaki ATX güç kaynağının yapmış olduğu OM ve FM gürültülerde tasarlanan süzgecin kesim frekanslarının başarılı bir şekilde bulunabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı değerler vardır. Bunlar OM gürültü bileşeninde 168, 235 ve 305 kHz; FM gürültü bileşeninde ise 202 ile 404 kHz'te oluşan gürültülerdir.

OM gürültü bileşeninin 168, 235 ve 305 kHz'te sınırı sırasıyla 20.7, 27.55 ve 27.75 dB $\mu$ V aştığı kaydedilmiştir. 6 dB tolerans değeriyle birlikte yapmış olduğumuz süzgecin 168 kHz'te en az 26.7 veya 235 kHz'te en az 33.55 dB $\mu$ V değerinde bir bastırma işlemi yapması gerekmektedir. MATLAB üzerinde yapılan geometrik hesaplamalar ile bu değerleri kapsayabilecek 40 dB/onkat oranına sahip bir EMG süzgecinin Şekil 3.16'da gösterildiği gibi kesim frekansının 34 kHz olması gerektiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.16. OM kesim frekansı

FM gürültü bileşeninin bastırılması için yine diğer gürültü bileşenine benzer işlemlerin kendi değerlerine göre gerçekleşmesi gerekir. Bu nedenle böyle bir süzgeç tasarımında ihtiyaç duyulan bastırma 202 kHz’te en az 28.26 dB $\mu$ V, 404 kHz’te ise en az 36.55 dB $\mu$ V olmalıdır. Duyulan bu ihtiyaçlar doğrultusunda tasarlanmış olan EMG süzgecinin FM kesim frekansı MATLAB üzerinden yapılan geometrik hesaplamalarla Şekil 3.17’de gösterildiği gibi 39 kHz hesaplanmıştır.



Şekil 3.17. FM kesim frekansı

### 3.2.1.2. Süzgeç tipinin belirlenmesi

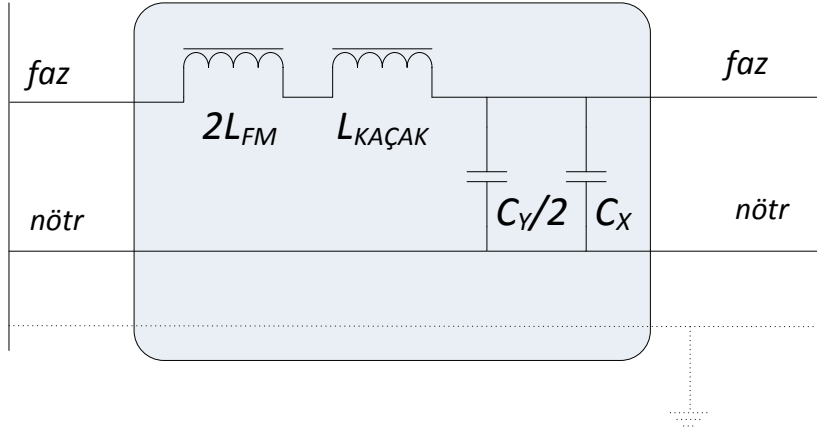
EMG süzgecinin tipi, her bir gürültü bileşeni için iki devre bileşeni seçildiğinden dolayı Şekil 2.11’de verildiği gibi L tipinde olmalıdır. Böylece tasarlamamız gereken süzgeç yüksek frekansları bastırma özelliğinde olması gerektiği için yüksek frekanslarda yüksek empedans değerleri gösteren indüktörler devreye seri, yine yüksek frekanslarda düşük empedans değeri gösteren kapasitörler ise devreye paralel bağlanarak alçak geçiren tepkisi veren süzgeç gerçekleştirilmiş olur.

Ancak Bölüm 2.2.3’te anlatıldığı üzere her devre bileşenin parazit değerleri vardır. Örneğin; bir indüktör parazit parametresi EPC, kapasitör parazit parametresi ise ESL ile düşünülecek olursa alçak geçiren bir süzgeç, bant bastıran süzgeç gibi çalışacaktır. Böyle bir yapıdaki süzgecin merkez frekansı ve ikinci kesim frekansının hesaplanması gereklidir (Kotny, Duquesne ve Idir 2011). Fakat bu tezde ölçülen gürültünün 4 MHz’ten sonraki değerleri sınırın üzerine çıkamadığı ve bu yüzden bastırılmaya ihtiyaç duyulmayacağı için EMG süzgeç tasarımında bu konu ihmal edilmiştir.

### 3.2.1.3. Süzgeç elemanlarının belirlenmesi

Tezin bu aşamasında kesim frekansları belirlenmiş olan EMG süzgecinin bileşenleri hesaplanmıştır.

EMG süzgecinin FM bileşenini bastırması için tasarlanmış olan eşdeğer devre Şekil 3.18’de verilmiştir. Böyle bir yapıda FM kesim frekansını sağlayabilecek indüktör ve kapasitör değerleri Eşitlik (3.7) ile hesaplanır. Bu hesaplamada şok bobininden kaynaklanabilecek kaçak indüktans ihmal edilmiştir.



Şekil 3.18. Süzgeç FM eşdeğer devresi

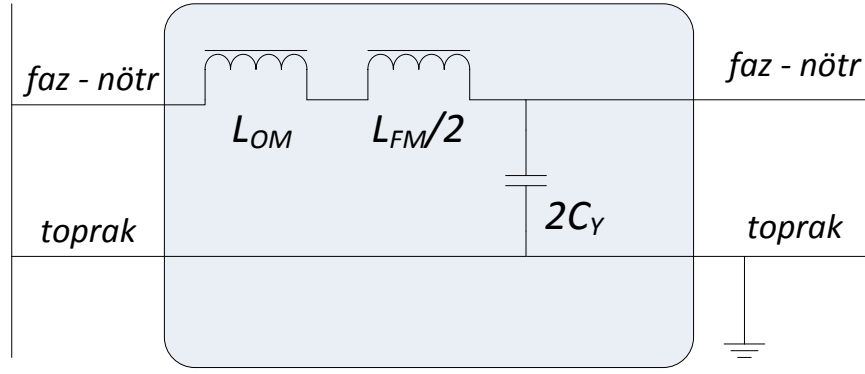
$$f_{kesim,FM} = \frac{1}{2\pi \sqrt{2L_{FM} \cdot (C_X + \frac{C_Y}{2})}} \text{ [Hz]} \quad (3.7)$$

Hesaplanmış olan FM kesim frekansı ile kullanılması gereken indüktör ve kapasitörlerin daha rahat temin edilebilmesi için  $C_X$  ve  $C_Y$  değerleri 4.7nF seçilmiştir. Böylece EMG süzgecinin  $L_{FM}$  değeri;

$$L_{FM} = \frac{1}{2 \cdot (2\pi \cdot 39 \times 10^3)^2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{3}{2}} \text{ [H]}$$

ile 1200  $\mu$ H olarak hesaplanmıştır.

OM bileşenini bastırması için hesaplanması gereken değerler ise Şekil 3.19’da verilmiş olan eşdeğer devresiyle uyumlu olarak hesaplanmıştır. Böyle bir yapıda OM kesim frekansını sağlayabilecek indüktör ve kapasitör değerleri Eşitlik (3.8) ile hesaplanır.



Şekil 3.19. Süzgeç OM eşdeğer devresi

$$f_{kesim,OM} = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_{OM} + \frac{L_{FM}}{2}) \cdot 2C_Y}} \text{ [Hz]} \quad (3.8)$$

Bir önceki bölümde OM kesim frekansı 80 kHz olarak belirlenmişti. Kullanılan  $C_Y$  kapasitörünün değerini yine 10 nF olarak düşürsek;

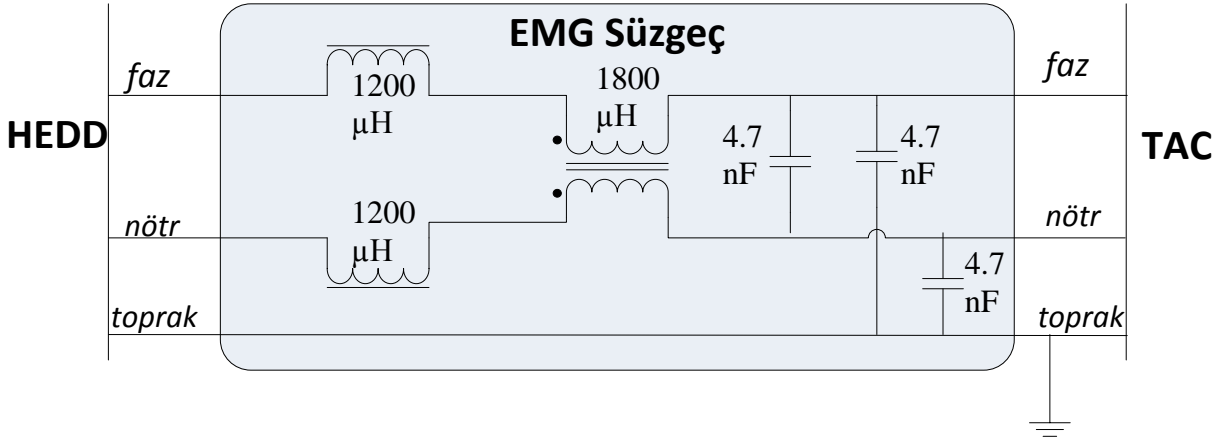
$$L_{OM} = \left( \frac{1}{2\pi \cdot 34 \times 10^3} \right)^2 \cdot 9,4 \cdot 10^{-9} - \frac{1,2 \times 10^{-3}}{2} \text{ [H]}$$

ile  $L_{OM}$  değeri 1700  $\mu\text{H}$  olarak hesaplanmıştır. Ancak pratikte üretimi daha kolay olan 1800  $\mu\text{H}$  değerindeki indüktörün devrede kullanımı hedeflenmiştir. Bundan dolayı OM kesim frekansı 34 kHz'ten 33.5 kHz'e düşmüştür.

#### 3.2.1.4. Süzgeç tasarımının gerçekleştirilmesi

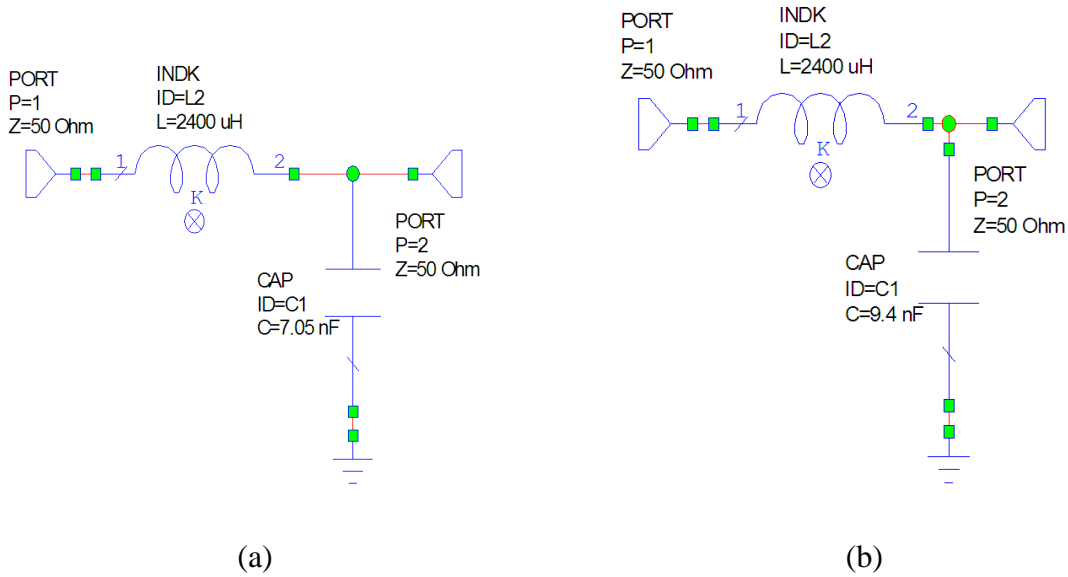
EMG süzgecinin bastırması gereken aralık ve süzgeci oluşturan devre elemanlarının değerlerinin hesaplanmasının ardından devre yapısı oluşturulmuştur. Tasarımda tespit edilen her bir gürültü bileşeni için ayrı katmanlar kurulmuş ve bu katmanların birbirlerini nasıl etkiledikleri gösterilmiştir. Süzgecin girişine bağlanan TAC yüksek empedans değerleri gösterebilecek iken, süzgecin çıkışına bağlanan HEDD düşük empedansta devreyi tamamlamaktadır. Bu nedenle EMG süzgeci devre kurulumunda empedansların dengelenebilmesi için kapasitörler süzgecin girişine, indüktörler ise süzgecin çıkışına yerleştirilir .

Süzgeç devresinin yapısı Şekil 3.20'te gösterilmiştir. Tasarlanan devrenin benzetimi AWR Microwave Office programı üzerinde gerçekleştirilmiş ve devrenin çalışması incelenmiştir.



Şekil 3.20. EMG süzgecinin devre yapısı

Gerçekleştirilmiş olan EMG süzgeç tasarımı FM akımlarına karşı Şekil 3.18, OM akımlarına karşı ise Şekil 3.19'da gösterilmiş olan devrenin yapısına benzer bir tepki verir. Bu nedenle tasarımın FM ve OM benzetimleri Şekil 3.21'deki gibi bu devre yapılarına benzer şekilde yapılmıştır.



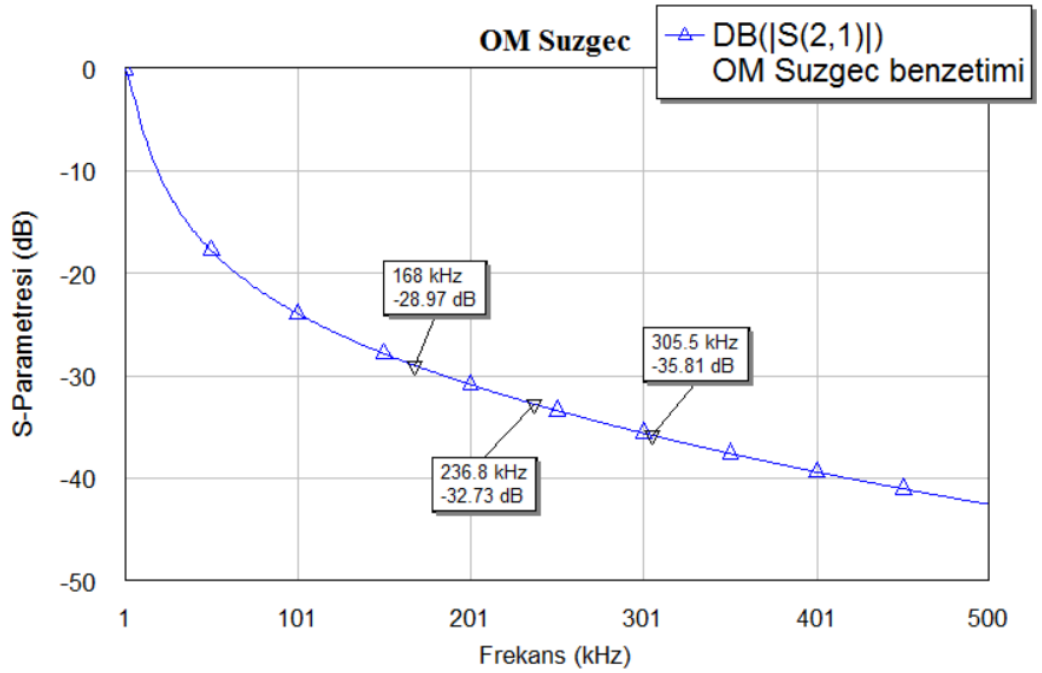
Şekil 3.21. EMG süzgecinin (a) FM benzetimi ve (b) OM benzetimi

#### 4. BULGULAR

TAC'ın oluşturmuş olduğu gürültüyü bastırabilmek için tasarlanan EMG süzgecinin tasarım sonrasında analiz edilmesi süzgecin bastırma kabiliyetini anlayabilmek için şarttır. Bu nedenle tasarlanmış olan süzgeç AWR Microwave Office programı ile modellenmiş ve giriş kaybı analiz edilmiştir.

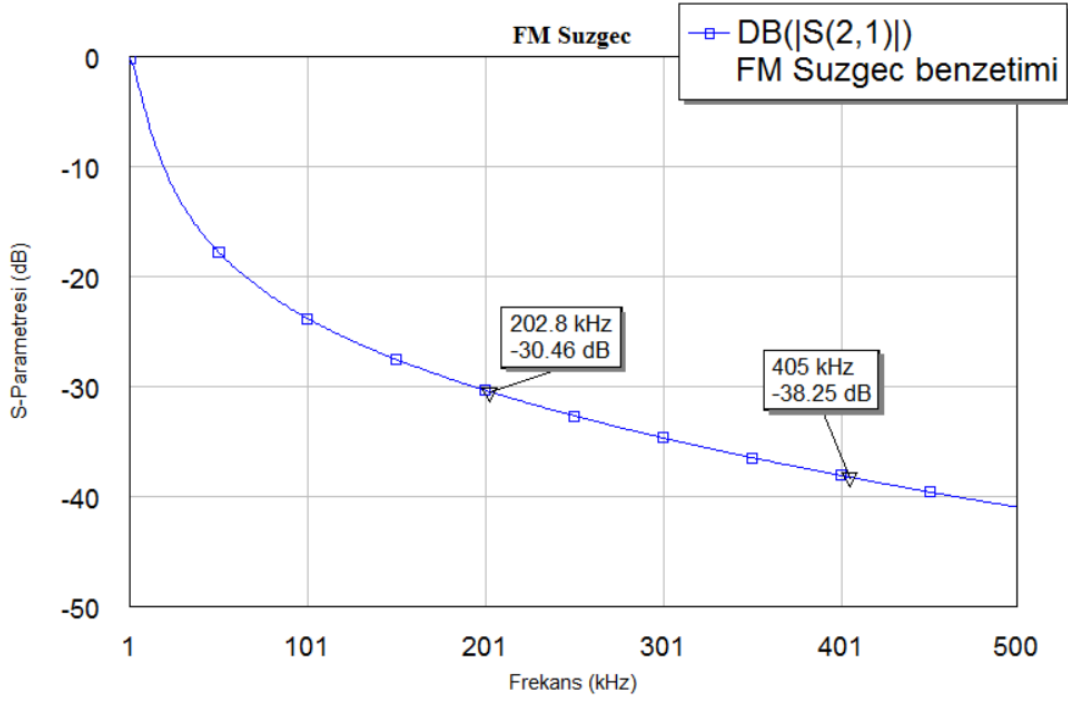
##### 4.1. Süzgeçlenmiş Anahtarlama Güç Kaynağının İzlenmesi

Test altında olan ATX güç kaynağının yapmış olduğu OM ve FM gürültüleri bastırmak amacıyla tasarlanmış olan EMG süzgecinin izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanmış olan EMG süzgecinin OM bastırma kısmının vermiş olduğu frekans tepkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Benzetim ortamında gösterilmiş olan bu değerlerde süzgecin oluşan gürültüyü bastırabileceği tespit edilmiştir. Özellikle bölüm 3.1.5.3'te verilmiş olan 168, 235 ve 305 kHz'teki gürültülerin 28,56, 32,54 ve 35,46 dB değerlerindeki giriş kayıplarıyla rahatlıkla bastırılabilirliği anlaşılmıştır.



Şekil 4.1. EMG süzgeci OM frekans tepkisi

FM bastırma işlemi de aynı benzetim ortamında denenerek s-parametresi üzerinden izlenmiş ve sonuç Şekil 4.2'de verilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre EMG süzgecinin bu katmanının da bölüm 3.1.5.4'te verilmiş olan 202 ve 404 kHz'teki noktaları 29,99 ve 37,82 dB değerindeki giriş kayıplarıyla bastırabileceği görülmüştür.



Şekil 4.2. EMG süzgeci FM frekans tepkisi

Sonuç olarak süzgecin hesaplanmış olan bileşen değerleri ideal şartlarda istenilene verebiliyor olsa bile devre içinde ve dışındaki bazı parazit parametrelerden dolayı kesim frekansları ve istenilen bastırma oranları elde edilemeyebilir. Bundan dolayı bastırmak istenilen değerler 6 dB $\mu$ V daha artırılarak gerçek hayattaki sapmalar telafi edilmiştir. Yapılan hesaplamalar ile tasarımın kabiliyeti benzetim ortamında ispatlanmıştır.



## 5. TARTIŞMA

Dünyanın birçok yerinde kullanılan, bir AGK örneği olan ve bilgisayarlarda da kullanılan güç kaynaklarının şebeke aracılığıyla diğer etkileşimde oldukları ve elektromanyetik bağışıklığı düşük olan cihazları ne derecede etkileyebilecekleri bu tezde tartışılmıştır. Elektromanyetik alınganlığı yüksek olan bir cihazın ATX güç kaynaklarıyla aynı bağlantıda olduğunda bunun cihaz için tehlikeli olabileceği ölçülen değerlerle gösterilmiştir.

İletim yoluyla oluşan gürültülerin bazı engellenme metotları vardır. Bunlardan biri de EMG süzgeçleridir. Süzgeç tasarımında en önemli nokta olan gürültü bileşenlerinin ayrılabilmesi için kullanılan gürültü ayırıcı, ilgili makaleden farklı olarak daha oval yollarla çizilerek gerilim duran dalga oranını (VSWR) daha düşük değerlere çekmek hedeflenmiştir. Oluşan farklar ise karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise EMG süzgeci tasarımında açıklanmış olan matematiksel ifadeler ile pratik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Araştırma konusu olan güç kaynaklarının iletimle yaydığı gürültü noktasında ileride incelenebilecek konular AGK'larının kendi içlerinde gürültüyü azaltma işlemleri veya gürültü ayırıcılarda  $S_{11}$  değerlerinin daha düşük seviyelere çekilebilmesi için yapılabilecek gelişmeler olabilir. Devre tasarımları sırasında parazit parametreleri daima probleme sebep olan noktalardır. İndüktörlerde paralel kapasitans, kapasitörlerde ise seri indüktans değerleri ihmal edilemez düzeyde büyük değerler olmaktadır. Bu yüzden ileride çalışılabilecek noktalardan biri de bu parazit parametrelerin iptalinde geliştirilecek yöntemler olabilir. Ayrıca pasif devre bileşenleriyle gerçekleştirilmiş olan gürültü ayırma işlemleri yazılım tabanlı bir işlemle yapılabilir. Böylece pratikte mücadele edilen eşdeğer parazit parametre kayıpları bu yolla sıfıra indirilmiş ve sonuçlar daha net bir şekilde sunulmuş olur.

Hazırlanmış olan bu tezde sivil hayatta kullanılmakta olan ve yüksek iletimle yayılım girişimlerine sebep olabilecek cihazlardan bazılarının elektromanyetik girişimin zayıflatılmasındaki metotlardan biri olan EMG süzgeçleri ile daha güvenli bir şekilde çalışabileceği gösterilmiştir.

## 6. SONUÇ

Anahtarlamalı güç kaynağı örneklerinden biri olan ATX güç kaynağı iletimle yayılım standartları noktasında uyumlu çalışmayan cihazlardan bir tanesidir. Bundan dolayı bu tezde araştırılan ATX güç kaynağının gürültülerinin analiz edilmesi ve bastırılması amaç edilmiştir.

Başta AGK'nın oluşturduğu gürültülerin CISPR 22 testinde hangi seviyede olduğu görülmüştür. Daha sonra oluşan gürültülerin bileşenlerine ayrılabilmesi için gürültü ayırıcı devreler araştırılarak uygun bir ayırıcı tasarlanmıştır.

Gürültü ayırıcı sayesinde bileşenlerine ayrılan gürültünün bastırılma aşamasında tasarlanacak EMG süzgecini iki bölümde incelenerek OM ve FM bölümleri gürültülere göre oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen süzgeç benzetim ortamında denenerek bastırma becerisinin yeterli olup olmadığı açıklanmıştır.

Böylece bir anahtarlamalı güç kaynağının şebekeye daha güvenilir bir biçimde bağlanabilmesi için süzgeçleme işleminin yapılması konusunda çözümler sunulmuş, bu alanda yapılacak araştırmalara ışık tutacak veriler elde edilmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

AGILENT AN 154. 2006. S-Parameter Design Application Note.

ARI, N. ve ÖZEN, Ş. 2000. Elektromanyetik Uyumluluk. Palme Yayıncılık, Ankara.

BOCKELMAN, D.E. and EISENSTADT, W.R. 1995. Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on* 0018-9480 , no. 5035123 (1): 1530 - 1539.

BROWN, M. 1990. Practical Switching Power Supply Design. Academic Press, California.

CADIRCI, I., SAKA, B. and ERISTIREN, Y. 2005. Practical EMI-filter-design procedure for high-power high-frequency SMPS according to MIL-STD 461. *Electric Power Applications, IEE Proceedings - 152* , no. 4 (1): 775 - 782.

CAPONET, M.C., PROFUMO, F., FERRARIS, L., BERTOZ, A. and MARZELLA, D. 2001. Common and differential mode noise separation: comparison of two different approaches. *Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual* 3 (1): 1383 - 1388.

CAPONET, M.C. and PROFUMO, F. 2002. Devices for the separation of the common and differential mode noise design and realization. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE* 1, no. 8 (1): 100 - 105.

CHANG, X., CHEN, W. and YANG, X. 2014. Performance improvement of CM/DM noise separator with impedance matching approach. *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2014 Twenty-Ninth Annual IEEE*, 3392 - 3396.

CHEN, R., van WYK, J.D., WANG S. and ODENDAAL, W.G. 2004. Application of structural winding capacitance cancellation for integrated EMI filters by embedding conductive layers. *Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004 IEEE* 4 , no. 9 (1): 2679 - 2686.

CHEN, R., van WYK, J.D., WANG S. and ODENDAAL, W.G. 2005. Improving the Characteristics of integrated EMI filters by embedded conductive Layers. *Power Electronics, IEEE Transactions* 20 , no. 3 (1): 611 - 619.

CHENG, D.K. 2014. Fundamentals of Engineering Electromagnetics. PEARSON, USA.

- CISPR 16-2-1. 2005. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements.
- CISPR 22. ANSI C63.022-1996 identical to CISPR 22 (1993) and Amendment 1 (1995) (1997).
- DHAR, V.K. 1999. Performance evaluation of power line filter. A case study. *Electromagnetic Interference and Compatibility '99. Proceedings of the International Conference on.*
- EN 55022. 2010. Information technology equipment– Radio disturbance characteristics– Limits and methods of measurement.
- GONZALEZ, G. 1996. Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design. Prentice-Hall Inc, USA.
- GUO, T., CHEN, D.Y. and LEE, F.C. 1995. Diagnosis of power supply conducted EMI using a noise separator. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1995. APEC '95. Conference Proceedings 1995., Tenth Annual 1*, no. 1 (1): 259 - 266.
- GUO, T., CHEN, D.Y. and LEE, F.C. 1996. Separation of the common-mode- and differential-mode-conducted EMI noise. *Power Electronics, IEEE Transactions 11* , no. 3 (1): 480 - 488.
- HARTAL, O. 2002. EMC By Design. Singapore.
- HP. 2005. Test & Measurement Application Note 95-1.
- JIANG, Y., WANG, S., LEE, F.C. and van WYK, J.D. 2008. Equivalent parallel capacitance cancellation for noise reduction application. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE*, 745 - 750.
- KOSTOV, K. 2009. Design and Characterization of Single-Phase Power Filters. Ph. Thesis, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 80 p.
- KOTNY, J.L., DUQUESNE, T. and IDIR, N. 2011. EMI Filter design using high frequency models of the passive components. *Signal Propagation on Interconnects (SPI), 2011 15th IEEE Workshop on 978-1-4577-0466-6* , no. 12071528 (1): 143 - 146.

- LU, Y., CHEN, Z. and HUANG, H. 2007. The System for the Reduction of Conducted Electromagnetic Interference Emission from Switching Power Supply. *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2007. IIHMSP 2007. Third International Conference on 2*, no. 10.1109/IIH-MSP.2007.301 (1): 397 - 402.
- MONTROSE, M.I. and NAKAUCHI, E.M. 2004. Testing For EMC Compliance Approaches and Techniques. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, Canada.
- OZENBAUGH, R.L. 2001. Emi Filter Design Second Edition. Markel Dekker, Inc., New York.
- PAUL, C.R. 2006. Introduction to Electromagnetic Compatibility, Second Edition. A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION, New Jersey.
- PAUL, C.R. and HARDIN, K.B. 1988. Diagnosis and reduction of conducted noise emissions. *Electromagnetic Compatibility, 1988. Symposium Record., IEEE 1988 International Symposium.,*
- R&S EZ-17. 2005. *Current Probe Electromagnetic emission and susceptibility measurements in the range 20 Hz to 100 (200) MHz..*
- SERRAO, V. LIDOZZI, A. SOLERO, L. and Di NAPOLI, A. 2008. Common and differential mode EMI filters for power electronics. *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2008. SPEEDAM 2008. International Symposium, : 918 - 923.*
- TIHANYI, L. 2004. EMC in Power Electronics. IEEE Press, Florida.
- WANG, S. LEE, F.C. and ODENDAAL, W.G. 2004. Using a network method to reduce the parasitic parameters of capacitors. *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual 1*, no. 7 (1): 304 - 308.
- WANG, S. LEE, F.C. and van WYK, J.D. 2006. Inductor winding capacitance cancellation using mutual capacitance concept for noise reduction application. *Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on 48* , no. 2 (1): 311 - 318.
- WANG, S. LEE, F.C. and van WYK, J.D. 2006. Design of Inductor Winding Capacitance Cancellation for EMI Suppression. *Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE, 2006: 1 - 7.*
- WANG, S. LEE, F.C. and ODENDAAL, W.G. 2006. Characterization, evaluation, and design of noise Separator for conducted EMI noise diagnosis. *Power Electronics, IEEE Transactions 20* , no. 4 (1): 974 - 982.

WILLIAMS, T. 1996. EMC for Product Designers. Reed Educational and Professional Publishing Ltd., Newnes.

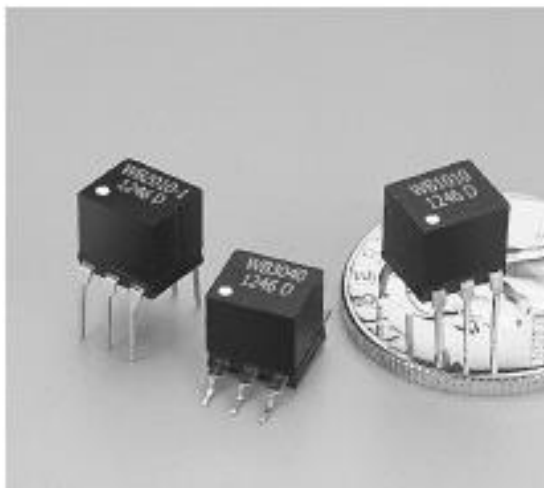
## 8. EKLER

### 8.1. Ek 1: Wideband RF Transformers

Document 116-1



# Wideband RF Transformers



- Surface mount and through hole versions
- 500 V interwinding isolation, 1/4 Watt RF input power
- 250 mA max current rating.
- For a smaller package size, see our TTWB Series

**Core material:** Ferrite

**Terminations:** RoHS compliant matte tin over nickel over phosphor bronze. Other terminations available at additional cost.

**Weight:** 0.37 – 0.39 g

**Ambient temperature:** –40°C to +85°C

**Storage temperature:** Component: –40°C to +85°C.

Tape and reel packaging: –40°C to +80°C

**Resistance to soldering heat:** Max three 40 second reflows at +260°C, parts cooled to room temperature between cycles

**Moisture Sensitivity Level (MSL):** 1 (unlimited floor life at <30°C / 85% relative humidity)

**Failures In Time (FIT) / Mean Time Between Failures (MTBF):**

60 per billion hours / 16,666,667 hours, calculated per Telcordia SR-332

**Packaging (SM version):** 500 per 13" reel

Plastic tape: 24 mm wide, 0.42 mm thick, 20 mm pocket spacing, 6.6 mm pocket depth; (TH version): 54 per tube

**PCB washing:** Tested with pure water or alcohol only. For other solvents, see Doc787\_PCB\_Washing.pdf.

Schematic	Part number		Impedance ratio <sup>2</sup> pri : sec	I <sub>DC</sub> max (mA)	Frequency (MHz)	Pri (pins 1-3)		Sec (pins 6-4)	
	Through-hole	Surface mount <sup>1</sup>				L min <sup>3</sup> (µH)	DCR max (Ohms)	L min <sup>3</sup> (µH)	DCR max (Ohms)
	WB1010-PCL	WB1010-SML	1 : 1	250	0.005–100	780	0.320	780	0.320
	WB1010-1-PCL	WB1010-1-SML	1 : 1	250	0.04–175	95	0.200	95	0.200
	WB1015-PCL	WB1015-SML	1.5 : 1	250	0.1–150	80	0.145	51	0.130
	WB1040-PCL	WB1040-SML	4 : 1	250	0.2–300	95	0.160	25	0.115
	WB2010-PCL	WB2010-SML	1 : 1	250	0.005–100	780	0.320	780	0.320
	WB2010-1-PCL	WB2010-1-SML	1 : 1	250	0.04–175	95	0.200	95	0.200
	WB2040-PCL	WB2040-SML	4 : 1	250	0.2–300	95	0.160	25	0.115
	WB3010-PCL	WB3010-SML	1 : 1	250	0.005–100	780	0.320	780	0.320
	WB3010-1-PCL	WB3010-1-SML	1 : 1	250	0.04–175	95	0.200	95	0.200
	WB3015-PCL	WB3015-SML	1.5 : 1	250	0.1–150	80	0.145	51	0.130
	WB3040-PCL	WB3040-SML	4 : 1	250	0.2–300	95	0.160	25	0.115

1. When ordering, please specify a packaging code:

WB3040-SML<sup>1</sup>  
↓

**Packaging:** D = 13" machine ready reel. EIA-481 embossed plastic tape (500 parts per full reel).

B = Less than full reel. In tape, but not machine ready. To have a leader and trailer added (\$25 charge), use code letter D instead.

2. Impedance ratio is for the full primary winding to the full secondary winding.

3. Inductance tested at 100 kHz, 0.1 Vrms, 0 A dc.

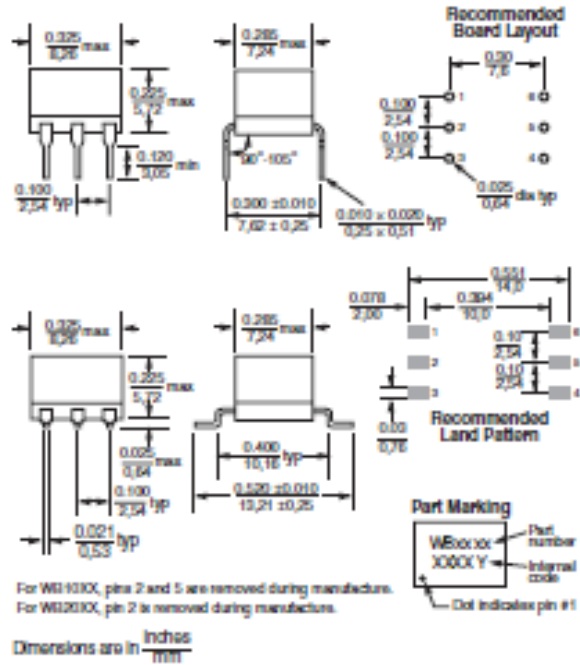
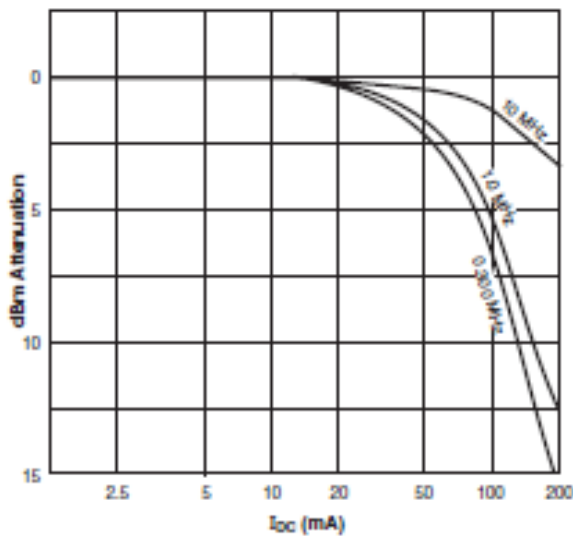
4. Electrical specifications at 25°C. Measurements are referenced to 50 Ohms.

Refer to Doc 362 "Soldering Surface Mount Components" before soldering.

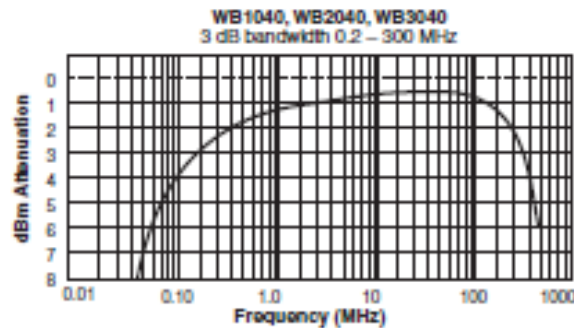
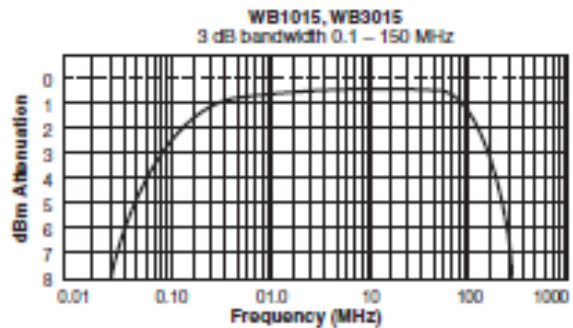
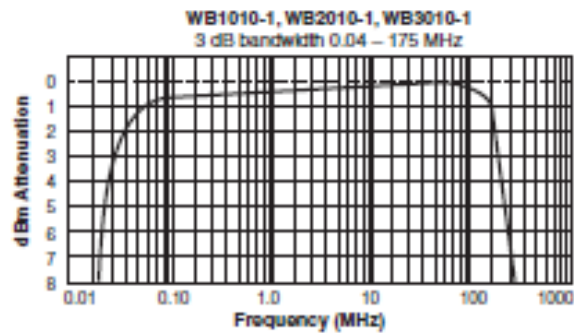
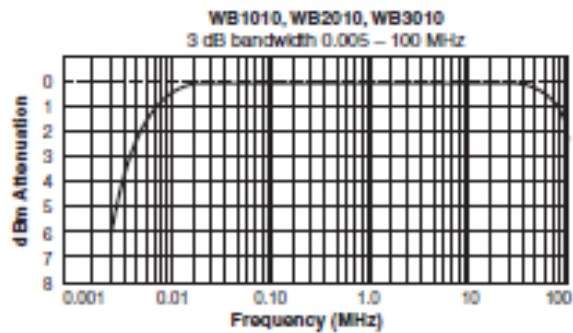


# Wideband RF Transformers

## Typical Attenuation vs Current



## Typical Frequency Response



Attenuation measured on a network analyzer (r<sub>o</sub>: 50 Ohms)



US +1-847-639-6400 sales@coilcraft.com  
UK +44-1236-730695 sales@coilcraft-europe.com  
Taiwan +886-2-2264 3646 sales@coilcraft.com.tw  
China +86-21-6218 8074 sales@coilcraft.com.cn  
Singapore +65-6484 8412 sales@coilcraft.com.sg

Document 116-2 Revised 04/23/13  
© Coilcraft Inc. 2013  
This product may not be used in medical or high risk applications without prior Coilcraft approval. Specification subject to change without notice. Please check web site for latest information.



## ÖZGEÇMİŞ

Samet YALÇIN 1987 yılında Isparta'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Isparta'da tamamladı. 2005 yılında kazandığı Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. 2010-2011 yılları arasında Argenç Ltd. Şti.'de çalıştı. Daha sonra 2012-2014 yılları arasında ÇSGB İş Teftiş Kurul Başkanlığında Müfettiş Yardımcısı olarak çalıştı. 2014'te ise Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen burada görev yapmaktadır.