

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

**ASKERİ CİHAZLARDA BAĞLANTI YOLLU
ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM
BASTIRMA ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Musa ŞAGAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Elektronik Mühendisliği

KASIM 2023

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

**ASKERİ CİHAZLARDA BAĞLANTI YOLLU
ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM
BASTIRMA ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Musa ŞAGAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Elektronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

KASIM 2023

Musa ŞAGAR tarafından hazırlanan “Askeri Cihazlarda Bağlantı Yollu Elektromanyetik Girişim Bastırma Çalışması” adlı tez çalışması 24.11.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU** (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. M. Hilmi NİŞANCI**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Askeri Cihazlarda Bağlantı Yollu Elektromanyetik Girişim Bastırma Çalışması” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(01/11/2023).

.....

Musa ŞAGAR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları konusunda ve diğer bütün konularda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Halime HIZARCI'ya teşekkür ederim.

İş deneyimli yüksek lisansa katkı sağladığı için çalışmanı olduğum PAVO Grup şirketine teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın sürdürülebilirliği açısından desteklerini esirgemeyen Hasan YÜKSELTEN'e, sabır ve destekleri için anneme, ablama, eşime, oğlum Mehmed Sadık ve kızım Elif Zümra'ya teşekkür ederim.

Musa ŞAGAR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	x
ŞEKİL LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Kapsamı.....	3
1.2. Tezin Amacı	4
1.3. Literatür Araştırması	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
2.1. CE102 İletkenlik Yoluyla Yayınım.....	13
2.2. Test Düzenegi	13
2.3. Test Prosedürü	16
2.4. Gürültü Azaltma Yöntemleri	16
2.4.1. Filtreleme	16
2.4.2. Topraklama.....	17
2.4.3. Ekranlama.....	17
2.4.4. Kablo seçimi ve yerleşimi	17
2.4.5. Uygun devre tasarımı	17
2.4.6. Elektromanyetik uyumlu bileşenler	18
3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	19
3.1. 28 V DA-DA Dönüştürücü İçin EMI İncelemesi.....	19
3.1.1. Yapılan diğer iyileştirmeler.....	28
3.2. Ses Haberleşme Sistemi Cihazı İçin EMI İncelemesi	30
3.2.1. 220 V AA modda yapılan Ar-Ge çalışması ve elde edilen sonuçlar.....	32
3.2.2. 28 V DA modda yapılan Ar-Ge çalışması ve elde edilen sonuçlar.....	45
3.2.3. Cihaz toplandıktan sonra AA ve DA modda alınan ölçümler.....	55
4. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ	81



KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ACFC	: Aktif Kenetlemeli İleri Dönüştürücü
CE	: İletilen Emisyon
CISPR	: Elektromanyetik Girişim Özel Komitesi
CMC	: Ortak Mod Bobini
DA	: Doğru Akım
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	: Elektromanyetik Girişim
FCC	: Federal İletişim Kurulu
FM	: Fark Mod
GBA	: Geniş Bant Aralığı
LISN	: Hat Empedansı Dengeleme Devresi
MIL-STD	: Askeri Standart
OM	: Ortak Mod
PCB	: Baskı Devre Kartı
PDM	: Darbe Yoğunluğu Modülasyonu
PMSM	: Sabit Mıknatıslı Senkron Motor
RE	: Yayılan Emisyon
Si	: Silikon
SiC	: Silisyum Karbür
SMPS	: Anahtarlama Güç Kaynakları
SVM	: Destek Vektör Makinesi
TAC	: Test Altındaki Cihaz



SİMGELER

C	: Kapasitans [F]
dBμV	: Desibel Mikrovolt
F	: Farad
m	: Mili
V	: Gerilim
W	: Güç
μ	: Mikro



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tüm uygulamalar için CE102 limiti (TAC güç kabloları, AA ve DA) (Mil-Std-461 G Interface Requirements Control Interference, 2015).	3
Şekil 2.1. CE102 iletkenlik yoluyla yayınım test düzeneği (Department of Defence, 2015).....	14
Şekil 2.2. CE102 test düzeneği (Department of Defence, 2015).	15
Şekil 3.1. Faz hattı ilk ölçüm sonucu.	19
Şekil 3.2. Nötr hattı ilk ölçüm sonucu.	20
Şekil 3.3. ESD-R-57S nüvenin empedans-frekans grafiği.	21
Şekil 3.4. Bobin, nüve ve ferit eklenmiş gürültü ölçüm sonucu.	21
Şekil 3.5. LISN tarafına kapasitör ve bobin eklenmesi sonrası alınan ölçüm sonucu.	22
Şekil 3.6. Güç girişi topraklandıktan sonra alınan ölçüm sonucu.	23
Şekil 3.7. Giriş konnektörüne takılan Quell marka EMI filtre ve yüksek frekansta gürültü zayıflatma etkisi.	24
Şekil 3.8. Quell marka EMI filtre eklendikten sonra alınan ölçüm sonucu.	24
Şekil 3.9. Güç girişine kapasitör ve kabloları ferit eklenmesi.	25
Şekil 3.10. 3.3 µF kapasitör eklendikten sonra faz hattı gürültü ölçüm sonucu.	25
Şekil 3.11. 3.3 µF kapasitör eklendikten sonra nötr hat ölçüm sonucu.	26
Şekil 3.12. Line hattından alınan son ölçüm sonucu.	27
Şekil 3.13. Nötr hattından alınan son ölçüm sonucu.	27
Şekil 3.14. Girişe takılan metalik kapak.	28
Şekil 3.15. Regüle kart girişi ortak mod bobini ve 24V regüle hatta takılan nüve. ...	29
Şekil 3.16. Akredite laboratuvar test düzeneği.	30
Şekil 3.17. 28 V DA ilk ölçüm sonucu.	31
Şekil 3.18. 220 V AA ilk ölçüm sonucu.	31
Şekil 3.19. Standart doğrultusunda kurulan CE test düzeneği.	32
Şekil 3.20. 220 V AA ilk ölçüm sonucu.	33
Şekil 3.21. 1500 W orijinal güç kaynağı ve güç kartı devrede yokken alınan ölçüm sonucu.	34
Şekil 3.22. 1500 W yeni güç kaynağı ve girişe AA filtre eklenerek alınan ölçüm. ...	34
Şekil 3.23. 1000 W güç kaynağı devredeyken alınan gürültü ölçüm sonucu.	35
Şekil 3.24. 1000 W güç kaynağı+2 server aktifken alınan ölçüm sonucu.	35
Şekil 3.25. Güç kaynağı çıkış gerilimi 23.8V iken cihazdan yük çekildiğinde alınan ölçüm sonucu.	36
Şekil 3.26. 1000 W Güç kaynağında LISN tarafı filtreliyen cihazdan yük kaldırıldığında alınan ölçüm sonucu.	36
Şekil 3.27. 1000 W Güç kaynağında LISN tarafı filtresiz iken ve cihazdan yük kaldırıldığında alınan ölçüm sonucu.	37
Şekil 3.28. 1000 W Güç kaynağı ile TDK filtre arasına filtre bağlantısı.	38
Şekil 3.29. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 µF, 3.3 µF kapasitör ve 15 mH CMC bağladıktan sonra alınan ölçüm sonucu.	38

Şekil 3.30. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 68 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	39
Şekil 3.31. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 220 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	39
Şekil 3.32. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 150 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	40
Şekil 3.33. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 470 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	40
Şekil 3.34. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.	41
Şekil 3.35. TDK RSHN-2006 ve TDK RSHN 2010 devre şeması ve gürültü azaltma-frekans özellikleri.	41
Şekil 3.36. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.	42
Şekil 3.37. TDK filtreden sonra sırası ile 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	42
Şekil 3.38. 220 V AA girişe eklenen bileşenler.....	43
Şekil 3.39. 3.3 μ F kapasitör, 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	43
Şekil 3.40. 0.68 μ F kapasitör, 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	44
Şekil 3.41. Nötr hattı 3.3 μ F kapasitör, 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	44
Şekil 3.42. 3.3 μ F kapasitör, 2x100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.....	45
Şekil 3.43. 28 V DA çalışması cihaz görseli.	46
Şekil 3.44. 28 V DA + hattan alınan ölçüm (iki server aktif).....	46
Şekil 3.45. 28 V DA + hattan alınan ölçüm (tek server aktif).	47
Şekil 3.46. Kablolar ekranlanmış, tek ve çift taraf olarak ayrı ayrı sonlandırılmış ölçüm sonuçları.	48
Şekil 3.47. Kablo topraklaması sökülüp TDK'nın DA filtresi dışarı alınmış durumdaki ölçüm sonucu.	49
Şekil 3.48. TDK RDEN 4850 DA filtre yerine 4.3 mH CMC takılmış ölçüm sonucu.	49
Şekil 3.49. TDK RDEN 4850 DA filtre devreye eklenmiş ve CMC olarak CM8663Z161B-10 kullanılmış durumdaki ölçüm sonucu.	50
Şekil 3.50. TDK DA filtreden sonra 1.5 μ F kapasitör eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.	50
Şekil 3.51. Laird marka CMC devreden çıkarılıp kısa devre yapılmış durumdaki ölçüm sonucu.	51
Şekil 3.52. Laird marka CMC devreden çıkarılıp 4.3 mH CMC eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.	51
Şekil 3.53. Yapılan iyileştirmeler neticesinde limit değerinin altındaki ölçüm sonucu.	52
Şekil 3.54. Girişe 1 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.....	52
Şekil 3.55. Girişe 3.3 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.....	53
Şekil 3.56. Girişe 3.3 μ F kapasitör ve 1 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.....	53
Şekil 3.57. Girişe 2.2 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.....	54
Şekil 3.58. Girişe 4.7 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.....	54
Şekil 3.59. 28 V DA filtre eklenen bileşenler ve yerleri.....	55

Şekil 3.60. Kapalı kutu cihaz görseli.	55
Şekil 3.61. DA modda kutu kapalıyken alınan ölçüm sonucu.	56
Şekil 3.62. DA modda 4.7 μ F kapasitör yerine 6.8 μ F kapasitör eklenmiş ölçüm sonucu.....	56
Şekil 3.63. DA modda 4.7 μ F ve 6.8 μ F değerinde kapasitörler paralel olarak eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.	57
Şekil 3.64. DA modda 4.7 μ F ve 6.8 μ F değerinde kapasitörler paralel olarak eklendiği durumda ve tam yükteyken alınmış ölçüm sonucu.	57
Şekil 3.65. AA modda tam yük durumunda elde edilen ölçüm sonucu.....	58
Şekil 3.66. Akredite laboratuvar test düzeneği.	58
Şekil 3.67. AA modda faz ve nötr hattı ölçüm sonuçları.	59
Şekil 3.68. DA modda + ve – hattan alınan ölçüm sonuçları.....	60





ASKERİ CİHAZLARDA BAĞLANTI YOLLU ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM BASTIRMA ÇALIŞMASI

ÖZET

Bu tez çalışmasında, MIL-STD-461 G standartı doğrultusunda askeri cihazlar üzerinden elektromanyetik girişim (EMI) ve elektromanyetik uyumluluk (EMC) konuları üzerine bir inceleme yapılmıştır. EMI, bir cihazın çalışırken ortamda bulunan diğer cihazların çalışmasını etkileyebilecek elektromanyetik sinyallerin neden olduğu sorunlardır. EMC ise farklı cihaz veya sistemlerin aynı ortamda birlikte ve EMI olmadan çalışabilme yeteneklerini ifade eder. Askeri standartta emisyon testleri iletilen emisyon (CE) ve yayılan emisyon (RE) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında CE testlerinden CE102 testi incelenmiştir. CE102, özellikle farklı sistemlerde EMC testi gerekliliklerini özetleyen askeri bir standart olan MIL-STD-461'in bir alt bölümüdür. CE102, tipik olarak 10 kHz ila 10 MHz frekans aralığında, güç hatlarına ve kablolarla bağlanan iletilen emisyonların değerlendirilmesine odaklanır.

Bu çalışmada askeri standartta belirtilen test bileşenleri ve test düzeneği standarta uygun şekilde kurulmuş ve ölçümler alınmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı iki askeri cihazın yaymış olduğu elektromanyetik gürültülerin, frekans değeri ve gürültünün büyüklüğüne bağlı olarak gürültü seviyelerini azaltma yöntemleri incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında uygulamayla elde edilen test sonuçları paylaşılmış ve sonuçlar hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Gürültü seviyelerine uygun müdahalede bulunmak için öncelikle gürültünün hangi türden (Ortak mod (OM) veya Fark modu (FM)) yayıldığını tespit etmek gerekmektedir. Gürültünün türüne göre farklı EMI filtreler tasarlanıp kullanılabilir. Bu çalışmada gürültü seviyesini bastırmak için farklı tip ve boyutlarda kapasitör, bobin, ortak mod bobini, nüve ve filtreler kullanılmıştır. Bu eklemelerin yanı sıra diğer gürültü bastırma yöntemleri (topraklama, Faraday kafesi, kabloların ekranlanması) de uygulanarak iki farklı askeri proje üzerindeki etkileri paylaşılmıştır. Uygulamada kullanılan iki askeri cihazın çalışma mantığı ve çalışma gerilimleri farklıdır. Cihazların çalışma gerilimlerinin farklı olması sebebiyle standartta verilen sınır değerlerde esneme yapılarak ölçümler alınmıştır. CE102 testinin limitleri, cihazın tipine, kullanım amacına ve uyulması gereken askeri veya endüstriyel standartlara göre değişmektedir. Bu testlerde kullanılan limitler, cihazın yaydığı gürültünün tespit edilen sınırlar içinde kalmasını sağlamak amacıyla belirlenir. Bu tez çalışmasında farklı limit değerlerine sahip cihazların, ilk ölçümlerdeki sınır seviyesinin üzerindeki değerleri, kabul edilen sınır seviyelerine indirilmiştir. Gürültü seviyesini düşürmek için yapılan her bir değişikliğin cihazlara olumlu veya olumsuz etkileri ayrı ayrı ölçülerek çalışmaya eklenmiştir. Bu çalışmanın hedefi, farklı standartlarda emisyon testleri yapacak araştırmacılara yardımcı olmaktır.



ELECTROMAGNETIC NOISE SUPPRESSION STUDY WITH CONNECTION PATH IN MILITARY DEVICES

SUMMARY

Parallel to technological developments, devices and systems that emit electromagnetic energy are increasing rapidly, and electromagnetic interference (EMI) problems arise. The importance of studies on the solution of these problems has been understood. Solving EMI problems is a critical step in improving the reliability and performance of devices, protecting communication and meeting legal requirements. In this thesis, a research study was conducted on EMI and electromagnetic compatibility (EMC) issues over military devices in accordance with MIL-STD-461 G standard. EMI is the problems caused by electromagnetic signals that can affect the operation of other devices in the environment while a device is operating. EMC refers to the ability of different devices or systems to operate together in the same environment and without EMI. In military standards, emissions tests are divided into two parts, conducted emission (CE) and radiated emission (RE). CE testing is a type of EMC test performed on electronic devices to measure the level of unwanted electromagnetic interference they generate and emit through their power and signal cables. CE102, specifically, is a subsection of MIL-STD-461, a military standard that outlines requirements for EMC testing in different systems. In this thesis study, the CE102 test was examined. CE102 focuses on the assessment of conducted emissions that are coupled onto power lines and cables, typically in the frequency range of 10 kHz to 10 MHz. This testing ensures that electronic equipment does not generate excessive electromagnetic interference that could disrupt the operation of other nearby device or systems. The purpose of CE102 testing is to ensure that devices meet EMC standards and operate reliably without causing interference to other equipment. During a CE test, the device under test (DUT) is connected to a test setup that includes power and signal cables. The DUT is subjected to various operating conditions while its emissions are measured using specialized test equipment. The emissions are typically measured across a range of frequencies, with specific limits defined by EMC standards. The test components and test setup specified in the military standard were set up in accordance with the standard and measurements were taken.

In the studies, the methods of reducing the noise levels of electromagnetic noise emitted by two different military devices, depending on the frequency value and the size of the noise, were examined. In this thesis, the test results obtained with the application in the laboratory environment were shared and the results were evaluated. There are different methods to reduce the noise level. These are shielding, grounding, filtering, isolation, cabling and wiring, EMC compliant design. In this study, different types and sizes of capacitance, coil, common mode choke, core and filters are used to reduce the noise level. In addition to these studies, other noise reducing methods (such as grounding, Faraday cage, shielding of cables) were applied and their effects on two different military projects were shared. The operating voltages of

the devices are 28 V DC and 220 V AC. Operating voltages are the most important factor to determine the limit values of the devices. Therefore, while selecting the limit value, the operating voltage of the device was checked and the limit value was selected from the standard. Basic curve limit is selected for 28 V DC. For 220 V, basic curve + 9 dB is selected. The pass or fail criterion depends on for the DUT specified limit. Once the limit value is determined, it is necessary to determine which type of noise (Common mode (CM) or Differential mode (DM)) is emitted in order to intervene appropriately in the noise levels. CM refers to the situation where unwanted noise or interference is present on both signal lines with respect to a common reference point, typically ground. In other words, the noise is superimposed on both signal lines in the same direction. DM refers to the desired signal that is present between two signal lines while the unwanted noise or interference is present in the opposite direction on those lines. In other words, it's the difference between the signals on the two lines. Different EMI filters can be designed and used according to the type of noise. When using filters, ready-made filters can be used or special filters can be designed to suit the noise level. EMI filters work by attenuating or blocking unwanted electromagnetic signal within a specific frequency range while allowing desired signals to pass through. They are commonly used in applications such as power supplies, electronic equipment, communication systems, and other devices that require reliable operation and compliance with EMC standards. EMI filters can be designed for various applications, such as conducted EMI filtering or radiated EMI filtering. These filters typically consist of passive components such as capacitors, inductors, and resistors arranged in specific configurations to achieve the desired level of noise suppression. The design and placement of EMI filters are critical in achieving the desired level of electromagnetic compatibility and interference suppression for electrical and electronic systems. Proper placement can help minimize interference both from within the system (conducted and radiated emissions) and from external sources. Different systems have different EMI characteristics and filter placement must be tailored to the specific application. This is particularly important in sensitive applications where interference could disrupt the proper operation of equipment, communications systems, or safety-critical systems. A customized approach helps filters address specific interference issues the system will encounter.

The operating structure and operating voltage values of the two military devices used in this study are different. Since the operating voltages of the devices are different, measurements were taken by stretching the limit value given in the standard. The limit of the CE102 test is determined according to the type of device, the area of use and the military or industrial standards that must be complied with. These standards provide guidance on emission limits for different frequency ranges and scenarios, ensuring that military components can operate effectively without causing or succumbing to electromagnetic interference. It's important to consult the specific EMC standards applicable to the country or military organization for accurate information on emission limits for military components. The limits used in these tests are determined to ensure that the noise emitted by the device stays within certain limits. The steps specified in the standard must be taken into account in order to measure the noise level accurately, to ensure proper operation of the test apparatus, and to intervene appropriately in the noise level. The standard states that an attenuator should be used to avoid affecting the measurement receiver. The 20 dB attenuator and the pulse limiter is necessary for protecting the EMI receiver, it is also providing a better impedance between the signal output of the LISN and the input of

the EMI receiver. This amount of attenuation is added back to the noise amplitude in the data recorder by the measurement program. The accuracy of the test setup must be ensured before measurements are taken. Applies a signal level to the LISN's power output that is at least 6 dB below the 10 kHz, 100 kHz, 2 MHz, and 10 MHz limit. An oscilloscope is used to calibrate the signal level at 10 kHz and 100 kHz. At 2 MHz and 10 MHz, a calibrated output level is applied directly from the 50 Ω signal generator. Normal scan is performed for each frequency with the EMI Receiver and verified that the applied level is within ± 3 dB. If there is a deviation of more than ± 3 dB in the measured signal levels, the test is not continued and the error in the system must be resolved. When the TAC power supply is cut off and all other auxiliary devices are turned on, the measured ambient electromagnetic level must be 6 dB below the safety margin of the relevant limit values. If a sinusoidal emission signal is considered to be at the full limit value, the ambient level will be 6 dB below the limit value and the measured value will be approximately 3 dB above the limit value. In this case, it remains within the measurement system tolerance. The margin of safety was taken into account when making measurements. Once all the above-mentioned conditions are met, appropriate measurements can be taken.

In this thesis, it was mentioned that a test device in accordance with MIL-STD-461 G should be established. Afterwards, by following the steps specified in the standard, bandwidth, scanning time, measurement receiver and detector selection and ensuring standard conditions are explained. The sources of noise in the measurements taken and the interventions to be made are explained. The results of the devices with different limit values above the limit level in the first measurements were reduced to the accepted limit levels. Different types and sizes of capacitors, CMC and filters were used in the measurements. The positive or negative effects of each change made to reduce the noise level were evaluated and added to the study by measuring separately. The circuit diagram of the components that yielded the best results was given and added to the internal structure of the device. This study aims to help researchers that will work on emission tests at different standards.



1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere paralel olarak elektromanyetik enerji yayan cihaz ve sistemlerin sayısı da hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak ortaya çıkan elektromanyetik girişim (EMI) problemlerin artması ile çözüme ilişkin yapılan çalışmalar da oldukça artmıştır. Bu çalışmalar neticesinde; elektronik cihazlardaki elektromanyetik (EM) gürültülerin insan sağlığını en az etkileyecek seviyelere kadar zayıflatılması ve belirli standart limit değerlerin altında kalması gerektiği anlaşılmıştır. Cihazların kullanım uygunluğu çalışma ortamına göre sivil-endüstriyel, askeri ve otomotiv standartlarına göre değerlendirilir.

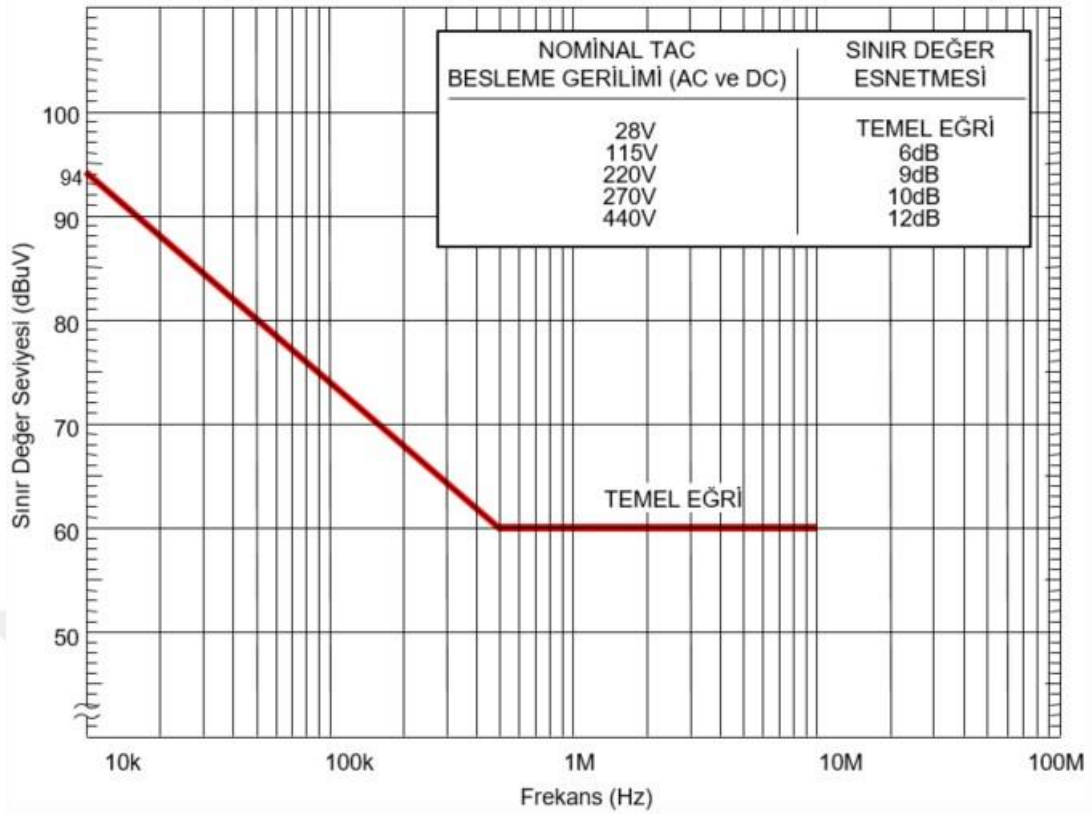
Bir cihaz veya sistem enerjilendirildiği takdirde ortama EM gürültü yayar. Çevrede bulunan diğer cihaz veya sistemlerin alınan tedbirler ile gürültüden etkilenmeden çalışmasına elektromanyetik uyumluluk (EMC:Electromagnetic Compatibility) denir. Bu gürültüler cihazın iç yapısındaki elektronik kartlardan, bu kartların cihaz içi yerleşiminden, kabloların ekranlanmasından, topraklama gibi etkilerden kaynaklanır. Bu sebeple cihazın henüz üretim aşamasındayken EM alınganlığının düşük olmasının yanı sıra EM bağışıklığının da yüksek olması istenir. Elektronik cihazların ve özellikle sayısal sistemlerin hem sivil, hem de askeri alanlarda giderek çoğalması, çalışma frekanslarının yükselmesi, gibi sebeplerden dolayı EMC/EMI konularının önemi artmıştır. Aynı şehir şebekesinden beslenen elektronik cihazların bir arada bulunduğu bir ortamda, cihazların EMI gürültüleri birbirlerini iletkenlik veya ışıma yoluyla etkilemektedir. Buna örnek olarak bir matkap çalışırken matkaptan yayılan iletkenlik ve ışıma yollu EM gürültünün aynı ortamda bulunan bir televizyonun karıncalanmasına neden olması gösterilebilir (Sevgi, 2000).

Çoğu cihaz ve sistem, istemli veya istemsiz olarak elektromanyetik enerji yayabilir. EMC ve EMI için test ve değerlendirme; iletkenlik yoluyla emisyon (CE), ışıma yoluyla emisyon (RE), iletkenlik yoluyla alınganlık (CS) ve ışıma yoluyla alınganlık (RS) ile ilgili testleri içerir. Işıma yoluyla emisyon, bir cihazın çalışması durumunda bulunduğu alana radyo frekansı ile yaydığı bir elektromanyetik enerjidir. İletilenlik yoluyla emisyon, bir cihazın bağlı olduğu enerji hattına iletim yoluyla yaydığı

elektromanyetik enerjidir. Işıma ve iletim yollu emisyonlar, standartta belirtilen test düzenekleri doğrultusunda ölçülür. Testler hem dar bant hem de geniş bant emisyonlarını kapsar. Dar bant testleri, sürekli dalga (CW) modu emisyonlar ve parazitlerle ilgilidir. Geniş bant testleri, elektrostatik boşalma veya elektrik dalgalanmaları gibi geçici durumları veya uygulamada yaşanan diğer benzer geçici durumları içerir (Cinar ve ark, 2019).

CE; test altındaki cihaz (TAC) tarafından üretilen ve elektrik hatları yoluyla diğer bileşenlere, sistemlere veya elektrik şebekesine yayılan gürültü akımlarıdır. Güç kablusuyla elektrik hattına bağlanan bir cihazın, bağlı olduğu tüm güç dağıtım ağındaki diğer ekipmanları etkileyebileceğinden dolayı emisyon seviyeleri düzenlenir. Bu sayede diğer elektronik cihazlar, bir gürültüden veya çok daha az sıklıkla doğrudan bir elektrik bağlantısından yayılan elektromanyetik girişimden daha az etkilenmiş olurlar. CE'lerin çalışıldığı ve düzenlendiği frekans aralığı tipik olarak yayılan emisyonların frekans aralığından daha düşüktür.

MIL-STD-461 G standardı doğrultusunda CE102 testinin güç hatlarına ve diğer kaynaklardan güç alabilecek nötr hat (dönüşler) dahil olmak üzere tüm güç kabloları için frekans aralığı 10 kHz ile 10 MHz arasındır. Genel elektronik ekipman (askeri alanda veya yetkililer tarafından belirtilen diğer alanlarda kullanılan) için güç hatlarında bağlantı yollu emisyon gereklilikleri, Şekil 1.1'de verilen standart eşik değerlerini aşmamalıdır (Nguyen-Tat ve ark, 2021).



Şekil 1.1. Tüm uygulamalar için CE102 limiti (TAC güç kabloları, AA ve DA) (Mil-Std-461 G Interface Requirements Control Interference, 2015).

Cihazdan alınan bağlantı yollu ölçümlerde, elektromanyetik gürültü seviyelerinin, çalışma gerilimine bağlı olarak standartta belirtilen limitleri aşmaması gerekir. Elektromanyetik gürültü seviyesini düşürmek için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Cihazın iç yapısındaki bileşenlerin birbirinden etkilenmemesi amacıyla aralarına yalıtkan malzeme kullanmak
- Cihazın topraklamasının iyi yapılması
- Kabloların ekranlama işleminin sağlam olması ve düzgün topraklama yapılması
- Giriş-çıkış hatlarında EMI filtre kullanımı
- Uygun yerlere kapasitör, bobin nüve, vb. kullanımı

1.1. Tezin Kapsamı

Tez kapsamında askeri cihazların CE testlerinden başarılı bir şekilde geçmesi için yapılması gereken çalışma ve ölçümler, bu alanda yapılan literatür çalışmalarına katkı sağlayacak ölçüm sonuçları ve değerlendirmeler sunulmuştur. Her askeri proje

için yapılması gereken testler vardır. Bu testlerin en önemlilerinden biri olan CE testlerden daha hızlı ve etkili bir şekilde geçilebilmesi için bu tez çalışmasında gürültü seviyesini indirme yöntemleri kullanılmış ve etkileri ölçüm sonuçlarıyla desteklenmiştir. Bu tez çalışmasının hedefi CE testleri üzerine çalışma yapacak firmalara tasarım, üretim ve Ar-Ge çalışmalarında destek olmaktır. Bu hedefe ulaşırken; ölçülen gürültü seviyesi farklı bileşenlerle bastırılmış, farklı boyut ve büyüklükteki bileşenlerin karakteristikleri gösterilmiş ve sonuca en hızlı şekilde nasıl ulaşılabileceği hakkında bilgiler verilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Gündelik yaşamın bir parçası olan teknolojinin olmazsa olmazı kaliteli üretim ve yeniliklerdir. Teknolojik gelişmeler devletleri soğuk savaş olarak adlandırılan bir nevi gövde gösterisine itmiş durumdadır. Bu da devletlerin teknolojiye olan ihtiyacını artırmış ve çeşitli alanlarda çalışmalar, tasarımlar ve üretim yapmaya mecbur kılmıştır. Askeri alanda üretilen cihazlar, otomotiv sektöründen yapılan yenilikler, sivil standartlarda yapıp insanların istifadesine sunulan ürün tiplerinin her biri için ayrı ayrı tasarım ve üretim çalışmaları gerekmektedir. Bunların her biri ayrı ayrı zaman, maliyet ve insan gücü demektir. Yapılan bu tez çalışmasında; askeri cihazların elektromanyetik gürültü seviyesinin kabul gören limitlere indirilmesi, yapılan çalışmalardan elde edilen verileri kullanarak farklı cihazların ve parçaların CE testlerinden daha hızlı ve başarılı şekilde geçmesini sağlayacak önerilere odaklanılmıştır. Üretim ve test yapan bütün firmalar yaptıkları ürünlerin testlerde başarılı olması için çabalarken yanlış yöntem ve bileşen seçimi ile zaman kaybederek, parasal anlamda ve üretim anlamında yıkıma uğramakta ve bir sürü emek harcanarak yapılan projeler nihayete erdirilememektedir. Bu tez çalışmasındaki amaç iki ayrı askeri cihazın yaydığı EM gürültülere göre en uygun çözüm yollarını karşılaştırarak; filtre olarak, topraklama olarak, cihazdan gelen gürültünün şekline göre seçilecek kapasitöre, bobine, nüveye ve bunların boyutu hakkında bilgiler vermek, yapılan CE testleriyle elde edilen farklı tür ve boyuttaki bileşenlerin gürültü seviyesine etkisini gösteren ölçüm sonuçlarını sunmaktır.

1.3. Literatür Araştırması

Bu alanda literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde bir cihaz üzerinden alınan ölçümler veya filtre performanslarının incelenmesi vb. gibi çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışmalara katkı olması amacıyla bu tez çalışmasında farklı gerilimlerde çalışan cihazlardaki gürültü seviyeleri için farklı tip ve boyutta bileşenler kullanılarak gürültü seviyesindeki değişimlerin teorik ve uygulamadaki karşılığı incelenmiş ve nihai ölçüm sonuçları verilmiştir.

MIL-STD-461 kapsamında yapılan bir çalışmada Kataria ve ark. (2021) test laboratuvarında yaptığı CE102, CE106 ve RE102 testleri anlatılmıştır. Bu testler MIL-STD-461 standardı içindeki yayılım testlerinden bazılarıdır. Standartta uygun olarak test düzeneği kurulup, cihaza enerji verilmeden önce ölçüm alınmış ve daha sonra aynı ölçüm cihazına enerji verilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Yapılan bu çalışmada standart doğrultusunda testlerin nasıl yapılacağı, hangi ölçüm cihazlarının kullanılacağı örnek ölçümlerle anlatılmıştır. TAC'den elde edilen test sonuçları gösterilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada gürültü seviyelerinin nasıl bastırılacağı konusuna değinilmemiştir.

Öztürk (2012), EMC'nin ne olduğu anlatılmış ve kaynak saldırgan olarak tanımlanmıştır. Etkilenen cihaz kurban olarak tanımlandıktan sonra, saldırganın saldırılarından kurbanın korunması veya saldırının etkisini en aza indirmek için alınması gereken önlemler incelenmiştir. Bu çalışmada EMC uygulamalarına, PCB seviyesinde tasarım, filtre tasarımı, toprak hattına bağlama, kabloların ekranlanması, ekranlama etkisi ve Faraday kafesi gibi saldırı etkisinden korunma yöntemlerine değinilmiştir ancak yöntemlerin etkisi ölçüm sonuçlarıyla desteklenmemiştir.

Golubovich ve Chermoshentsev (2021) yaptıkları çalışmada, elektronik cihazların sadece %40'nın elektromanyetik uyumluluk testlerini ilk anda geçtiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, elektronik ekipmanlardaki geçici süreçler, önemli bir elektromanyetik uyumluluk sorunu olduğundan tasarım aşamasında elektromanyetik uyumluluk gereksinimlerini karşılamak üzere sanal olarak tasarlanmış ekipmana ilişkin yeni yöntemler ve araçlar geliştirilmiştir. Elektromanyetik uyumluluğu sağlamak için pratik devre yöntemlerine dayanan genel öneriler verilmiştir. Yöntemlerin etkisi ölçüm sonuçlarıyla desteklenmemiştir.

Zhao ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, MIL-STD-461 CE102 testi için anahtarlama frekansının yüksek güçlü üç fazlı bir inverter / doğrultucu sisteminde DA tarafı için OM EMI gürültüsü ve gerekli DA OM filtresi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Silisyum karbür (SiC) anahtarlama elemanının neden tercih edildiği ve bununla birlikte daha yüksek anahtarlama hızlarında ve daha yüksek frekanslarda çalışan SiC anahtarlama elemanının EMI sorunlarına değinilmiştir. Aynı zamanda anahtarlama frekansının EMI filtre hacmi ve dönüştürücü sistemin toplam güç yoğunluğu üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve tasarlanan filtrenin optimizasyonu ve özel tasarımı sağlanmaya çalışılmıştır. OM gürültü seviyesini düşürmek için tasarlanan optimum OM filtresinde yapılan eklemeler ile ayrı ayrı ölçüm alınmayıp son haliyle tek ölçüm alınarak gürültü seviyesine etkisi gösterilmiştir.

EMI gürültüyü azaltmak için yapılan diğer bir çalışmada Lemmon ve ark. (2020), artan EMI gürültüyü analiz etmeye yönelik OM eşdeğer modellerinin türetilmesi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Ayrıca, birçok pratik güç elektroniği uygulamasını örnekleyen bir prototip dönüştürücüye uygulanan bu yaklaşımın adım adım gösterimi de yapılmıştır. Geliştirilen modelin deneysel doğrulaması için MIL-STD-461 CE-102 tarafından belirtilen kurulumu benzer, özel olarak tasarlanmış bir EMI karakterizasyon test ortamında bu dönüştürücü çalıştırılmıştır. Model, CE-102 test frekans aralığı olan 10 kHz ve 30 MHz arasındaki frekans aralığında incelenmiştir. Bu makalede sistemlerdeki parametrik hassasiyetleri değerlendirmek için yararlı olan güç elektroniği uygulamalarının OM eşdeğer modellerini geliştirmek için bir yaklaşımın ana hatları çizilmiştir. Bu prosedür, özellikle geniş bant aralığı (GBA) tabanlı güç elektroniğinin EMI karakterizasyonu için tasarlanmış özel bir donanım içindeki tek fazlı bir inverter olan örnek bir sistem için ayrıntılı bir OM eş değeri modellerini türetmek için kullanılabilir. Bu çalışmada CE-102 testi yapar gibi test düzeneği üzerinden ölçümler alınmış ancak belirli bir limit değeri ve gürültü bastırma sonuçları verilmemiştir.

Sozer ve Torrey (2010), MIL-STD-461 standartını karşılamak için yaptıkları çalışmada, çıkış gücü bir DA-DA dönüştürücü tarafından işlenen 2kW bir DA jeneratöre yönelik sistematik bir yaklaşım sunulmuştur. İzlenen yaklaşımda, bireysel gürültü kaynakları ayrı ayrı incelenmiş, alternatif filtre topolojilerinden bahsedilmiş ve gürültü seviyeleri her bir kaynak için mümkün oldukça bastırılmaya çalışılmıştır. Her bir bileşen için gürültü seviyesindeki değişim ve gürültü seviyesine etkisi

hakkında bilgiler verilmemiştir. Sistem olarak tek ölçüm alınmış ve kullanılan filtre ile sınır seviyenin altında olan ölçüm sonucu paylaşılmıştır.

Diğer bir çalışmada ise Rahimi ve Kanzi (2020), değişken hızlı sürücü sistemlerinin bağlantı yollu EMI modellemesi ve simülasyonunda kullanılmak üzere yüksek frekanslı bir sabit mıknatıslı senkron motor (PMSM) modeli önermişlerdir. PMSM için MIL-STD-461 ve federal iletişim kurulu (FCC)/ elektromanyetik girişim özel komitesi (CISPR) standartlarına dayalı olarak 10 kHz ila 30 MHz frekans aralığında bağlantı yollu emisyonlar için çalışma yapılmıştır. 8 kW'lık PMSM'nin empedans özellikleri OM ve FM için ayrı ayrı ölçülüp, ölçüm verilerinde MATLAB Simulink kullanılarak OM ve FM empedansları hesaplanmıştır. Bu empedans hesaplamaları teorik olarak yapılmış olup, gerçek bir test sisteminde etkisi gösterilmemiştir.

Meng ve ark. (2019), CISPR 16-1-1 ve MIL-STD-461 standartı doğrultusunda RE olarak zaman-alanlı EMI ölçülmüştür. Ölçümlerde manyetik anten, osiloskop düşük geçiren filtre ve bilgisayar tabanlı program kullanılmıştır. Farklı dirençlerde dönüştürücü faktörleri ve zayıflatma grafik değerleri verilmiştir. Deneysel sonuçlar, tasarlanan zaman-alanlı test sisteminin oldukça doğru ve uygulanmasının kolay olduğunu göstermektedir. Sistem, askeri, endüstriyel, bilimsel ve tıbbi ekipmanların EMC spesifikasyonlarının ve sistemlerin düşük frekanslı emisyonlarının, yayılan harmoniklerinin ve alt harmoniklerinin karakterizasyonunun ölçülmesine izin vermektedir. Yapılan çalışmada, hem CE etkisi verilmemiş hemde farklı boyut ve değerlerdeki bileşenlerin etkisine değinilmemiştir.

Talvistu (2019), MIL-STD-461 G kapsamında elektrik hatlarında gerçekleştirilen CE ve RE testlerinin sürecini ve yöntemlerini açıklamışlardır. Çalışmada standarttaki testler anlatılmış ve bazı testler için detaylı bilgi verilmiştir. CE102 ve RE101 testleri için kalibrasyon ölçüm sonuçları ve sistem aktifken test ölçüm sonuçları verilmiştir. Çalışmada emisyon testleri için gürültü bastırma yöntemlerine değinilmemiştir.

Cadirci ve ark. (2005), MIL-STD-461 standartı doğrultusunda anahtarlamalı güç kaynakları (SMPS) üzerinden pratik bir filtre tasarım prosedürü sunmuştur. EM gürültü OM ve FM olarak ayrıldıktan sonra MATLAB programı tarafından simüle edilen basitleştirilmiş yüksek frekanslı eş değer devre modelleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, tasarlanan EMI filtre ile alınan sonuçlarda yüksek frekanslar

için yetersiz kaldığı gösterilmiştir. Çalışmada filtre tasarımı dışında emisyon testleri için gürültü bastırma yöntemlerine değinilmemiştir.

MIL-STD-461 kapsamında gemi uygulamalarındaki DA güç sistemlerinin emisyon testleri üzerine bir inceleme yapılmıştır (Doerry ve Jr, 2022). CE101, CE102 ve RE101 testlerinin gemi uygulamaları hakkında genel bilgi verilmiştir. 440 V üzeri uygulamalar için gürültü seviyesini bastırmaya yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur. Yapılan çalışmada gürültü bastırılması konusunda bilgi verilmiş ancak uygulama yapılmamıştır.

Li ve ark. (2022), sistem düzeyinde denetleyici olarak bir Typhoon HIL 402 kullanarak sigma-delta darbe yoğunluğu modülasyonu (PDM) uygulayan yeni bir GaN dört bacaklı inverter sunmuşlardır. Hem Typhoon HIL 402 ortamında simüle edilen hem de dirençli yükler için deneysel olarak elde edilen sonuçlar, MIL-STD-1399 dengeli gerilimler ve MIL-STD-461 G CE101 ve CE102 limitleri gereksinimlerinin bir OM şok bobini kullanılmadan karşılandığını göstermektedir. Typhoon HIL 402 ortamındaki motor sürücü simülasyonu, sigma-delta PDM'nin tam yükte, yarım yükte ve yüksüz durumda iyi performans sergilediğini ve böylece OM gerilimini ortadan kaldırdığını göstermiştir. Yeni kontrol yönteminin etkinliğini göstermek için hem simülasyon hem de deneysel test sonuçları sunulmuştur. Gerilim değerlerine göre genişletilmiş limit değerlerinde alınan ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Ancak verilen sonuçlarda frekans bazlı gürültü seviyesi azaltımı, farklı boyut ve değerlerde bileşen kullanımı hakkında çalışma yapılmamıştır.

Çevik (2021) tez çalışmasında, EMI/EMC test standartlarından bahsetmiş, otomotiv sektöründe kullanılacak anahtarlamalı bir dönüştürücüye sahip LEDli aydınlatma ürünü için yapılan emisyon testleri üzerinde durmuştur. LEDli aydınlatma ürünü üzerinde müşteri ve CISPR 16-1 standardına uyumlu limitler doğrultusunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Girişimlere sebep olan olaylara ek olarak EMC'nin önemi anlatılmıştır. Emisyonları azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar üzerinde durularak, yapılan ölçümler arasındaki farklar belirtilmiştir. RE ve CE test sonuçlarında, farklı tip ve boyutta bileşenler ile ölçümler tekrarlanmamıştır. Yapılan çalışmada MIL-STD-461 kapsamında test düzeneği kurulup ölçüm sonuçları verilmemiştir.

Yazdani ve Farzanehfard (2019) makale çalışmasında, anahtarlamalı güç kaynaklarının, gerilim ve akımların hızlı geçişinden dolayı elektronik cihazlardaki

EMI'in ana nedeni olduğuna değinmişlerdir. Orta ve yüksek güç uygulamaları için kullanılan tam köprü anahtarlamalı dönüştürücüler üzerine yapılan bir EMC incelemesi çalışmasında, sert anahtarlamalı tam köprü, faz kaydırmalı tam köprü ve seri rezonanslı tam köprü dönüştürücüler için EMI'nın modelleme sonuçları sunulmuştur. CST studio yazılımı kullanılarak PCB ve bileşen parazitlerini içeren doğru bir model elde edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, yumuşak anahtarlama koşullarının uygulanmasının EMI gürültü seviyesinde önemli bir düşüşe yol açabileceğini göstermiştir. Tam köprü dönüştürücülerinde durulan çalışmada farklı tür ve boyuttaki bileşenlerin ölçüm sonuçlarına etkileri verilmemiştir.

Azgin ve ark. (2022) makale çalışmasında, MIL-STD-461 G standardında belirtilen CE102 testinden geçmesi için maksimum güç tüketimi 50 W olan ve 28 V DA ile beslenen askeri havacılık sektöründe kullanılması öngörülen bir cihaz için pasif bir EMI filtre tasarlanmıştır. Hem OM hem FM olarak ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Güç girişi için tasarlanan EMI filtrenin, LTspice simülasyon programı üzerinden alınan sonuçlarda gürültü seviyesini düşürdüğü gösterilmiştir. Tasarlanan EMI filtrenin laboratuvar ortamında ölçüm sonuçları verilmemiştir.

Omollo ve ark. (2022), yüksek frekansta LEDlerden kaynaklanan EMC riskini değerlendirmek için risk tabanlı bir yaklaşımın kullanımı açıklanmış ve gürültü seviyesinde bozulma olmadan entegrasyona yönelik önlemler tanımlanmıştır. Laboratuvar ortamında emisyon ve girişim testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır. Standart değerlerinden, genel gürültü nedenleri ve gürültü bastırma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ancak çalışmada belirtilen gürültü bastırma yöntemleri için ayrı ayrı ölçüm alınmamış ve çalışma ölçüm sonuçlarıyla desteklenmemiştir.

Park ve ark. (2019), MIL-STD standartları göz önünde bulundurularak yüksek güvenilirlik ve yüksek sıcaklıkta çalışma özelliklerine sahip 30W DA-DA dönüştürücü tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Önerilen dönüştürücü, güdümlü silahlar ve uçaklar için tasarlanmış ve yüksek verimlilik için aktif kenetlemeli ileri dönüştürücü (ACFC) topolojisi ile tasarlanmıştır. Yüksek güvenilirlik, çevresel etki testi, sıcaklık karakteristikleri ve sıcaklık dağılımı ile doğru cihaz seçimi için analizler yapmıştır. Nihai tasarlanan ACFC'nin, askeri ortamlarda maruz kalacağı şartlarda test edilip MIL-STD gereksinimlerini karşılayarak yüksek güvenilirlikli DA-DA dönüştürücünün ticarileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

Çalışmada bileşenlerin karakteristikleri, performansları paylaşılmış ancak emisyon testleri için gürültü seviyeleri ve etkilerinden bahsedilmemiştir.

Perdikakis ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, havacılık uygulamalarında kullanılan DO-160 standart doğrultusunda üç fazlı bir inverter ve elektrik makinesinin bağlantı yolu ile EMI modelleri ele alınmıştır. Havacılık uygulamaları, yüksek güç yoğunluğuna ve yüksek güvenilirliğe sahip güç elektroniği gerektirir. Güç yoğunluğunu artırmak için birçok strateji mevcuttur ve araştırmacılar bu amaca ulaşmak için yeni güç dönüştürücü topolojileri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Makalede, aktif bir doğrultucu sistemi için bir simülasyon modeli sunulmuştur. Simülasyon modelinde donanımın performansını tahmin etmek için çift darbe test verileri, LCR ölçümleri ve spektral teori kullanılmıştır. DO-160'a göre yapılan testlerde bir silikon (Si) ve SiC aktif doğrultucu karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar; filtreleme olmadan, Si ve SiC donanım tabanlı topolojinin DO-160 gerekliliklerini karşılayamadığını göstermektedir. Yapılan çalışmada gürültü bastırma yöntemlerine değinilmemiş ve bu konuda çalışma yapılmamıştır.

McGrew ve ark. (2022) makale çalışmasında, üç fazlı bir inverter içindeki DA bağlantı kapasitörünün sağlığını sınıflandırmak için EMI zaman-frekans analizini kullanan bir durum izleme sistemi sunmuşlardır. Yaklaşım, inverterin DA barasına yerleştirilen entegre bir EMI filtre ve ölçüm kartı önermektedir. Bu kart iletilen EMI'yi etkili bir şekilde filtreleyerek sürücünün MIL-STD-461 G ile uyumlu çalışmasını sağlar. Ayrıca durum izleme uygulamaları için EMI ölçümlerinin toplanmasını sağlamaktadır. EMI etkileri, sürekli bir dalga dönüşümü kullanılarak anahtarlama sırasında 15–43 MHz frekans aralığında analiz edilir. Elde edilen veriler yapay zekanın makine öğrenmesi sınıflandırması tekniğinde kullanılabilir. Elde edilen sonuçlarla sistemdeki anahtarlama olayları incelenmiş, ortalaması alınmış ve deneysel koşullarda mükemmelle yakın ortalama doğruluk sağlanmıştır. Yapılan çalışmada gürültü seviyesini düşürmek için en ideal filtre tasarımı hedeflenmiş ancak diğer gürültü bastırma yöntemlerin etkileri ve sonuçları incelenmemiştir.

Hamamci ve ark. (2020), MIL-STD-461 F standardı doğrultusunda EMI filtre tasarım makale çalışmasında, fiziksel gereksinimler değerlendirilerek Faraday kafesi ve ekranlama ile bir EMI filtre elde edilmiştir. Tasarım aşamasında devrenin köşe frekans değerindeki sabit olmayan davranışları için damping kapasitörü yöntemi kullanılmış ve komponent seçiminde komponentlerin frekans tepkileri baz alınarak

fiziksel şartlarda MIL-STD-461 F standartlarını karşılamak devre tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarıma ait laboratuvar sonuçları verilmemiştir.

Önal (2010) tez çalışmasında, MIL-STD-461 E standardı CE102 gereksinimini sağlayan, DA-DA çeviricilerin sebep olduğu EMI problemleri incelenmiş, EMI filtre tasarımı gerçekleştirilmiş aynı zamanda askeri bir araçta kullanılmakta olan güç kartının gürültü ölçümleri alınmış ve değerlendirilmiştir. Farklı bileşen ve yöntemlerin gürültü seviyesine etkileri ve laboratuvar sonuçları verilmemiştir.

Diğer bir tez çalışmasında Kazancı (2010), EMI/EMC hakkında bilgiler verilmiş, farklı standart ve testlere değinilmiş, gürültü bastırma yöntemleri anlatılmış ve sivil standartlarda örnek bir kaç EMI/EMC testleri yapılmıştır. Çalışmada CE olarak gürültü bastırma yöntemleri incelenmediği gibi bileşen bazlı etkiler de ölçülmemiştir.

EMI filtre tasarımı üzerine yapılan diğer bir tez çalışmasında Yiğit (2022), DA-DA anahtarlama güç kaynakları için OM ve FM EMI filtrelerinin LTspice programı yardımıyla optimize edilmesi ve sonuçların laboratuvar ortamında karşılaştırması yapılmıştır. Ölçümler MIL-STD-461 G standardı doğrultusunda CE102 testi prosedürüne uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler, program ile laboratuvar ortamında alınan sonuçlar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir. Yapılan tez çalışmasında gürültü seviyesini düşürmek için optimal bir EMI filtre tasarımı hedeflenmiş ancak farklı bileşen ve yöntemlerin gürültü seviyesine etkileri ve laboratuvar sonuçları verilmemiştir.

Aksoy (2014) tez çalışmasında, askeri cihazların güç kartlarında kullanılan DA-DA çeviricilerden kaynaklanan gürültülerinin MIL-STD-461 E standardı doğrultusunda CE102 test frekans aralığında OM ve FM olarak ayrı ayrı filtrelenmesine, sistemin korunmasına yönelik uygun tasarım çalışması yapılmasına ve ölçüm sonuçlarına yer vermiştir. Teorik olarak EMI filtre tasarımı için Filpro benzetim programı ve LTspice programından yararlanılmıştır. EMI filtre yanında farklı bileşenlerin gürültü seviyesine etkileri laboratuvar sonuçlarıyla desteklenmemiştir.

Yukarıda verilen özetle, literatürde CE testleri üzerine yapılan bazı çalışmalarda, gürültü bastırma yöntemleri, alınan ölçüm sonuçları incelenmiştir. Bazı çalışmalar teoride kalmış, bazılarında ölçüm sonuçları ya hiç ya da yeterince verilmemiştir. Bu tez çalışmasında, her bir bileşen için farklı ölçümler alınmış ve gürültü seviyesine etkisi ölçüm sonuçlarıyla desteklenmiş ve yorumlanmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan tez çalışmasında, MIL-STD-461 G standardı doğrultusunda CE102 iletkenlik yoluyla yayınım test düzenekleri kurulmuş, laboratuvar ortamında standartın belirttiği şekilde ölçümler alınmıştır.

2.1. CE102 İletkenlik Yoluyla Yayınım

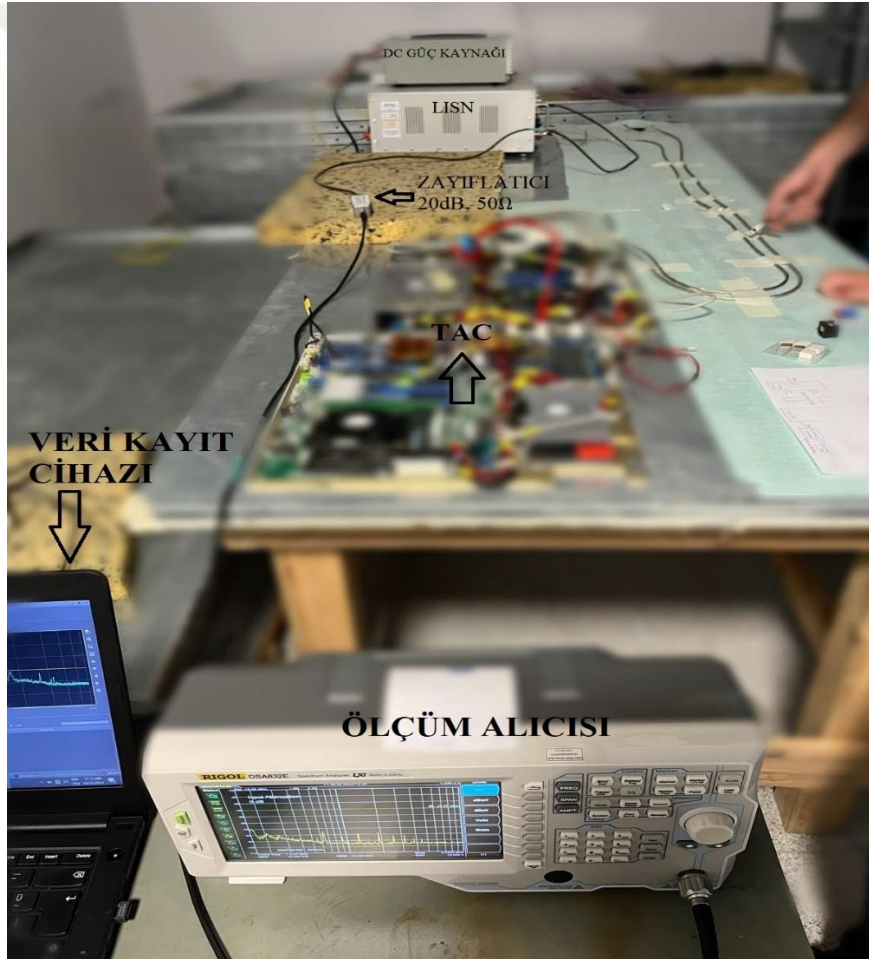
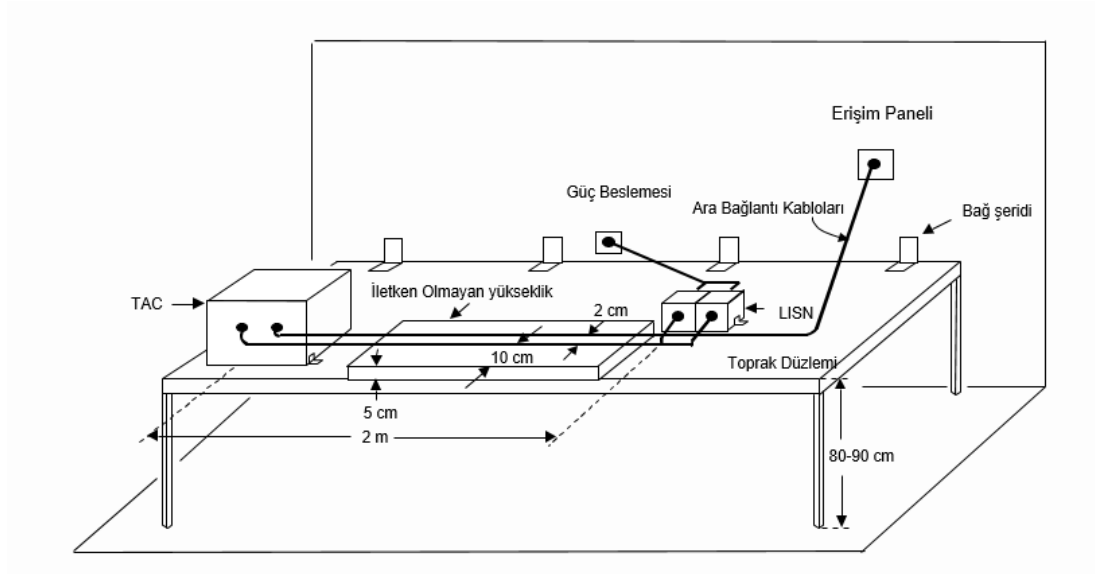
CE102 testinin amacı, TAC'ın güç giriş hatlarındaki bağlantı yollu yayınının 10 kHz-10 MHz frekans aralığında ölçülmesidir. Bu test, cihazın tüm güç hatlarına uygulanmalıdır (Department of Defence, 2015). Güç kabloları üzerindeki bağlantı yoluyla oluşan yayınım, Şekil 1.1'de verilen sınır değerini geçmemelidir. Ayrıca Şekil 1.1'de farklı çalışma gerilimleri için CE102 sınır seviyesi değerleri gösterilmiştir. Standart doğrultusunda test esnasında kullanılacak test bileşenleri aşağıda belirtilmiştir:

- Ölçüm Alıcısı
- İşaret Üretici
- Veri Kayıt Cihazı
- Zayıflatıcı, 20 dB, 50 Ω
- Osiloskop
- Hat Empedansı Dengeleme Devresi (LISN)

Kullanılan cihazlar ait bilgiler ve laboratuvar test düzeneğine ait görseller Test Düzeneği bölümde verilmiştir.

2.2. Test Düzeneği

Ölçüm testlerine başlamadan önce Şekil 2.1'de gösterilen genel test düzeneği ve çevre şartları sağlanmalıdır.



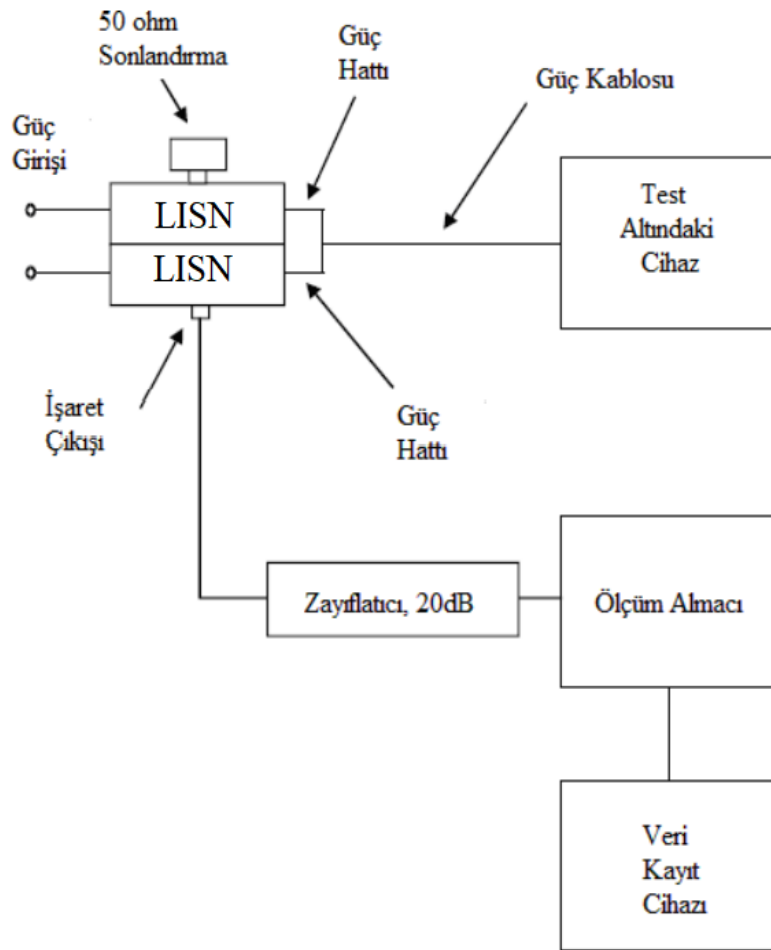
Şekil 2.1. CE102 iletkenlik yoluyla yayılım test düzeneği (Department of Defence, 2015).

Test altındaki cihazın CE102 gereksinim uyumluluğunu belirlemek için Şekil 2.1’de görülmekte olan test düzeneği kurulmalıdır.

LISN, güç hattına sabit bir empedans sağlayarak cihazın enerjilendirilmesine ve ölçüm alıcısının TAC'dan yayılan gürültü seviyelerinin ölçülmesine yardımcı olur (Corporation ve Port, 2010).

Çalışmalarda ölçüm alıcısı olarak Rigol DSA832E spektrum analizörü kullanılmıştır. Ölçümleri kayıt etmek için “S1210 EMI Pre-compliance” yazılımı kullanılmış ve bilgisayara kayıt edilmiştir.

Ölçüm alıcısı, LISN'in işaret çıkışına bağlanmış 20 dB'lik zayıflatıcıya bağlanmalıdır. Test düzeneğinde kullanılan 20 dB değerindeki zayıflatıcının amacı yüksek genlikli gürültülerin ölçüm alıcısına zarar vermesini engellemektir. Bu zayıflatma miktarı, ölçüm programıyla veri kayıt cihazındaki gürültü genliğine tekrar eklenmektedir.



Şekil 2.2. CE102 test düzeneği (Department of Defence, 2015).

2.3. Test Prosedürü

CE102 iletkenlik yoluyla yayınım testi, standartta belirtilen ve aşağıda verilen adımlar izlenerek yapılmalıdır:

- Cihaz enerjilendirilip ve stabil duruma gelinceye kadar beklenmelidir.
- Test edilmek istenilen güç hattı seçilmelidir.
- Ölçüm alıcısına standartta belirtilen frekans değer aralığında ölçüm yaptırılmalı, ölçüm yapılırken MIL-STD-461 G standardında verilen bant genişliği ve minimum ölçüm zamanı kullanılmalıdır.
- Ölçüm alıcısının dedektör kısmı standartta belirtildiği gibi askeri cihazlarda Peak olarak seçilmesi gerekmektedir.
- TAC enerji beslemesi kesilmiş ve diğer tüm yardımcı cihazlar açıkken ölçülen ortam elektromanyetik seviyesi ilgili sınır değerlerin güvenlik payının 6 dB aşağısında olmalıdır. Sinüs formunda bir emisyon işaretinin tam sınır değerde olduğu düşünülürse, ortam seviyesi 6 dB sınır değerinin altında olur ve ölçülen değer sınır değerinin yaklaşık 3 dB üzerinde olur. Bu durumda ölçüm sistemi toleransı içinde kalınır. Ölçümler yapılırken güvenlik payı dikkate alınmıştır.

Yukarıda belirtilen CE102 test prosedürü her bir giriş güç hattına uygulanmalıdır (Department of Defence, 2015).

2.4. Gürültü Azaltma Yöntemleri

Elektronik cihazlar çalıştıkları takdirde ortama gürültü yayarlar. Bu gürültülerin çalışma gerilimine bağlı olarak standartta belirtilen sınır seviyeleri aşmaması gerekir. Elektromanyetik gürültü seviyesini düşürmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri filtreleme, topraklama ve ekranlamadır. Bu bölümde alt başlıklar halinde gürültü azaltma yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.4.1. Filtreleme

EMC filtreleri, cihazlardaki istenmeyen gürültüyü engellemek amacıyla elektronik cihazların giriş ve çıkışlarında kullanılabilir. Bu sayede, belli frekans aralıklarında etkin gürültü azaltımı sağlanmış olur. Filtre kullanırken hazır filtreler kullanılabileceği gibi gürültü seviyesine uygun özel filtreler de tasarlanabilir.

Filtreleme yönteminde, OM bobinlerle istenen sinyallerin geçmesine izin verilirken farklı frekanslardaki EMI gürültülerin endüktif filtrelerle bastırılması sağlanabilir.

Bir LC filtre kombinasyonu, iletim hattındaki gürültüyü etkili bir şekilde azaltabilir. Bazı durumlarda, LC filtre, çok aşamalı bir filtrenin kullanılmasına yol açan katı standartları karşılamayabilir. Bu çözüm, daha yüksek maliyete ve dönüştürücünün daha büyük boyutta tasarlanmasına neden olabilir (Yazdani ve ark, 2011).

2.4.2. Topraklama

Elektriksel akımları doğru bir şekilde topraklamak, elektromanyetik gürültüyü azaltma yöntemlerinden birisidir. Geri dönüş akımları ve sinyaller toprak sistemlerini kullanmaktadır. Topraklama; frekans, empedans ve kablo uzunluğu gibi faktörlerden etkilenir. Emisyon testi yapılan ortamın topraklanması ve test edilen cihazın topraklanması ne kadar iyi olursa ölçüm sonuçları o kadar sağlıklı olacaktır.

2.4.3. Ekranlama

Elektromanyetik gürültü tamamen yok edilemeyebilir ancak bir bölgeye hapsedilebilir. Ekranlama iki şekilde çalışır: Bir elektronik cihaz aşırı gürültü yayıyorsa, ekranlama yayılan elektromanyetik radyasyonun kontrol altına alınmasına yardımcı olur ve harici bir cihaza etki etmesini önler. EMI koruması büyük bir iletkenle yapılabilir veya emici bir dielektrik olabilir (Mouser, 2010). İlki daha etkili olabilir, ancak ikincisi kompakt, düşük maliyetli elektronikler için daha uygun bir seçenek haline gelmiştir. Ekranlama yönteminde, metalik kalkanlar veya kutular kullanarak gürültünün yayılması engellenebilir.

2.4.4. Kablo seçimi ve yerleşimi

Kullanılan kabloların ekranlı kablo olması ve cihaz içerisine uygun şekilde yerleştirilmesi gürültü oluşumunu veya gürültü etkisini azaltabilir. Kablolarla takılan feritlerle, yüksek frekanslarda yüksek empedanslar elde edilebilir. Feritlerin doğru seçilmesi ve doğru yerleştirilmesiyle gürültü önemli ölçüde bastırılabilir.

2.4.5. Uygun devre tasarımı

PCB tasarımı aşamasında ve bileşenlerin yerleştirilmesi aşamasında EMC göz önünde bulundurulmalıdır. PCB ve bileşenlerin uygun yerleştirilmesi EMC performansını etkilemektedir. EMC'yi sağlamak için PCB etrafındaki elektrik ve manyetik alanların en aza indirilmesi gerekir. Yayılan EMI'yi azaltmak için PCB

düzeni içinde bir optimizasyon yapılması uygulamada tercih edilen bir yaklaşımdır (Yazdani ve ark, 2011).

2.4.6. Elektromanyetik uyumlu bileşenler

Tasarım aşamasında kullanılacak bileşenlerin EMC gereksinimlerini karşıladığından emin olmak gerekir. CE işareti almış bileşenler tercih edilmelidir.

Bu tez çalışmasında, farklı yöntemler kullanılarak yöntemlerin gürültü seviyesine olan etkileri ölçüm sonuçlarıyla paylaşılmıştır. Gürültü seviyesine dikkat ederek tasarım aşamasında baskı devre kartlarına, cihazın topraklamasına, kabloların ekranlamasına, kablo serilimine, kullanılan parçaların onaylı parça olmasına dikkat edilmelidir. Mevcut cihazda bunlara dikkat edildikten sonra meydana gelen gürültüler için filtreleme yapılması gerekmektedir. Filtrelerde farklı kapasitörler kullanılarak gürültü seviyesine olan etkisi kontrol edilir. Kapasitörlerin yeterli olmadığı yerlerde şok bobini kullanarak, hazır filtre kullanarak veya filtre tasarlayarak gürültü seviyesinin azaltılması sağlanır. Yapılan tez çalışmasında, projedeki cihazların iç yapılarına ve tasarımına uygun olarak gürültü seviyesinde en etkin azalmayı sağlayan kapasitörler tercih edilmiştir. Kullanılan kapasitörlerin ölçüm sonuçlarına etkileri ayrı ayrı verilmiştir. Bunun yanı sıra kullanılan bobinlerin test sonuçlarına olan etkileri de verilmiştir. Gürültü seviyesini azaltmak için güç girişine hazır filtreler kullanılmıştır. Yeterli olmadığı için özel filtre tasarlanmıştır. Bu filtre tasarlanırken en ideal sonuçlar elde edilene kadar farklı bileşenler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda cihazlar toplanmış ve akredite laboratuvarında test edilerek CE102 testi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

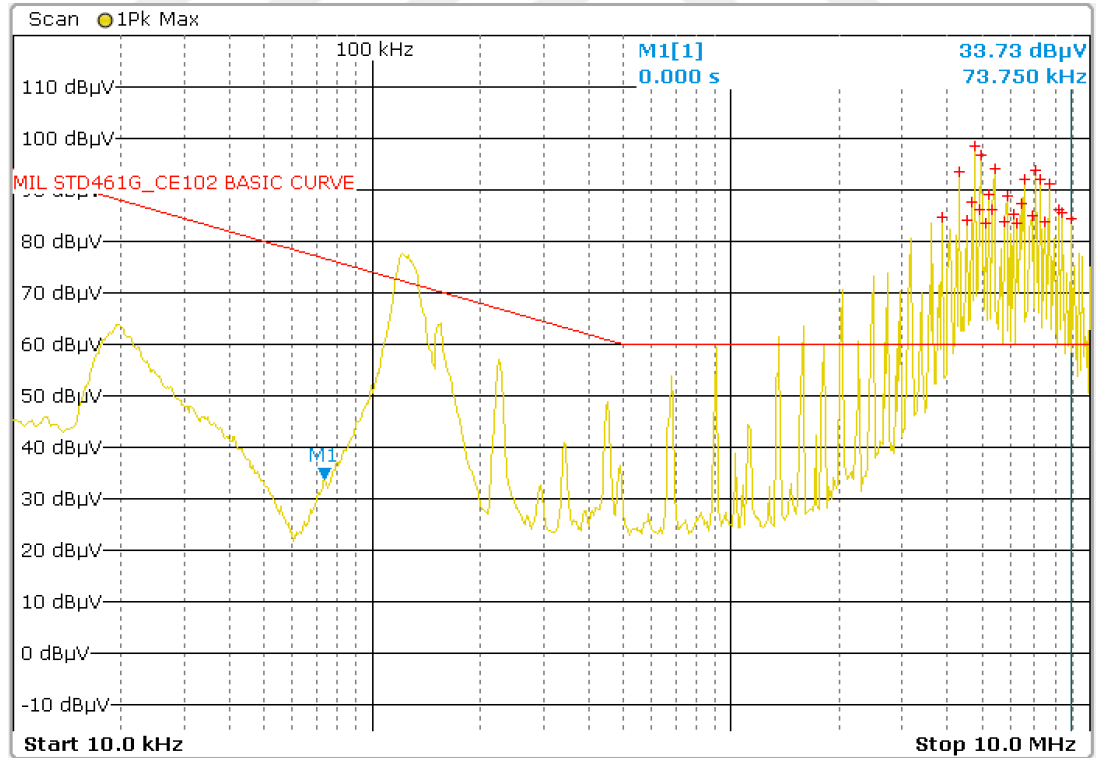
3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. 28 V DA-DA Dönüştürücü İçin EMI İncelemesi

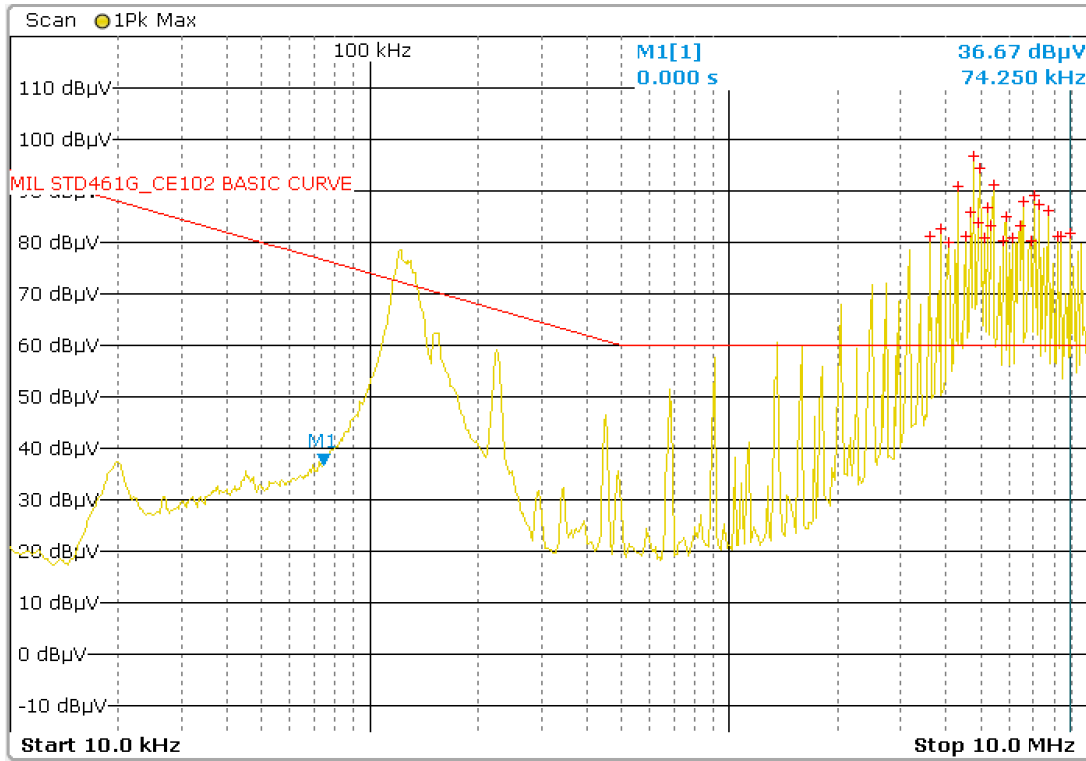
Askeri proje kapsamında 28 V DA-DA dönüştürücü için Şekil 2.1'de verilen ölçüm düzeneği kurularak akredite bir EMC laboratuvarında testler yapılmıştır. Güç dağıtım birimi cihazından alınan sonuçlar ve uygulanan yöntemlerle elde edilen iyileştirmeler bu kısımda verilmiştir.

Güç dağıtım birimi cihazından tepe (Pk) dedektörü ile alınan ilk ölçüm Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Ölçümler faz (L) ve nötr (N) hatlarından alınmıştır. Cihaz 28 V DA ile çalıştığı için Şekil 1.1'de verilen CE102 Basic Curve sınırı kullanılmıştır.

Verilen ölçüm sonuçlarında bilgisayar programı yardımı ile kullanılan 20 dB zayıflatma miktarı gürültü seviyelerine eklenmiştir.



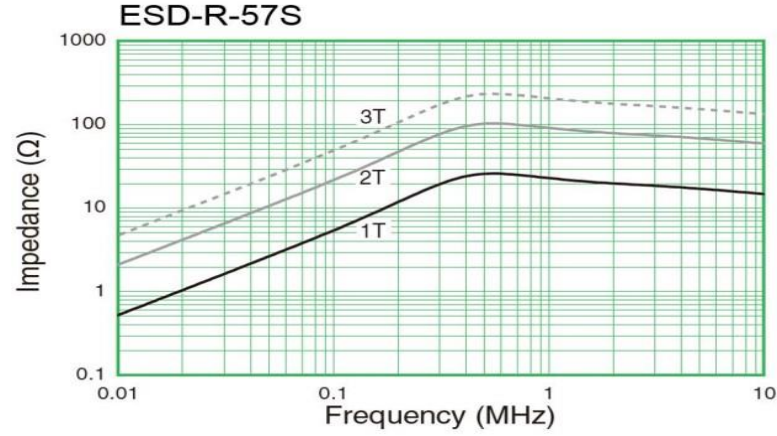
Şekil 3.1. Faz hattı ilk ölçüm sonucu.



Şekil 3.2. Nötr hattı ilk ölçüm sonucu.

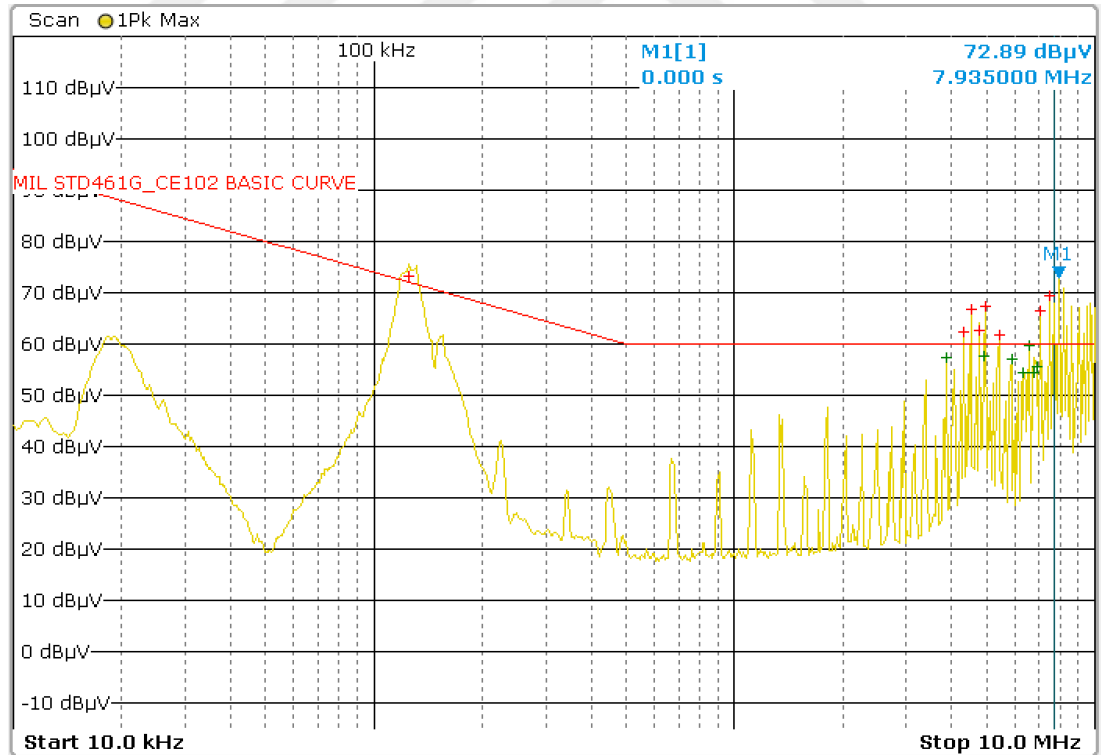
Alınan ölçüm sonuçlarında gürültü seviyesi standardın belirlediği sınır seviyesinin üzerindedir. Gürültü, düşük frekansta 120 kHz civarında yüksek frekansta ise 4-10 MHz frekans aralığında sınır değerin ortalama 20 dB μ V üzerindedir. Yapılan iyileştirmelerin faz ve nötr hattına etkisi benzer olup, bundan sonraki ölçümlerde faz ve nötr hattından ayrı ayrı ölçüm yapmak yerine, daha hızlı sonuçlar almak için nötr hattı referans alınmıştır.

İkinci ölçüm sonucunda gürültü 1-10 MHz frekans aralığında ve sınır seviyesinin yaklaşık 38 dB μ V üzerindedir. Belirlenen frekans aralığında etkili bir gürültü zayıflaması sağlamak için nüve manyetik malzemesinin doğru seçilmesi gerekir. Bu tez çalışmasında DA-DA dönüştürücü devresi üzerinde alınan gürültü ölçümlerinde gürültünün 10 MHz'den düşük frekanslarda baskın olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle düşük frekanslarda etkili olan yüksek manyetik geçirgenliğine (μ) sahip manganez-çinko (Mn-Zn) malzemeli nüve tercih edilmiştir. İletilen gürültünün azaltılmasında genellikle Mn-Zn nüveler kullanılırken ışıyan (radiated) gürültünün zayıflatılmasında ise nikel-çinko (Ni-Zn) nüveler tercih edilir. Şekil 3.3'te Kemet firmasının dönüştürücü devresi için kullanılan nüvenin empedans-frekans grafiği verilmiştir. Nüvenin etki ettiği frekans aralığı nüve şekline, boyutuna ve sarım sayısına göre değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan nüve tek tur sarılmıştır.



Şekil 3.3. ESD-R-57S nüvenin empedans-frekans grafiği.

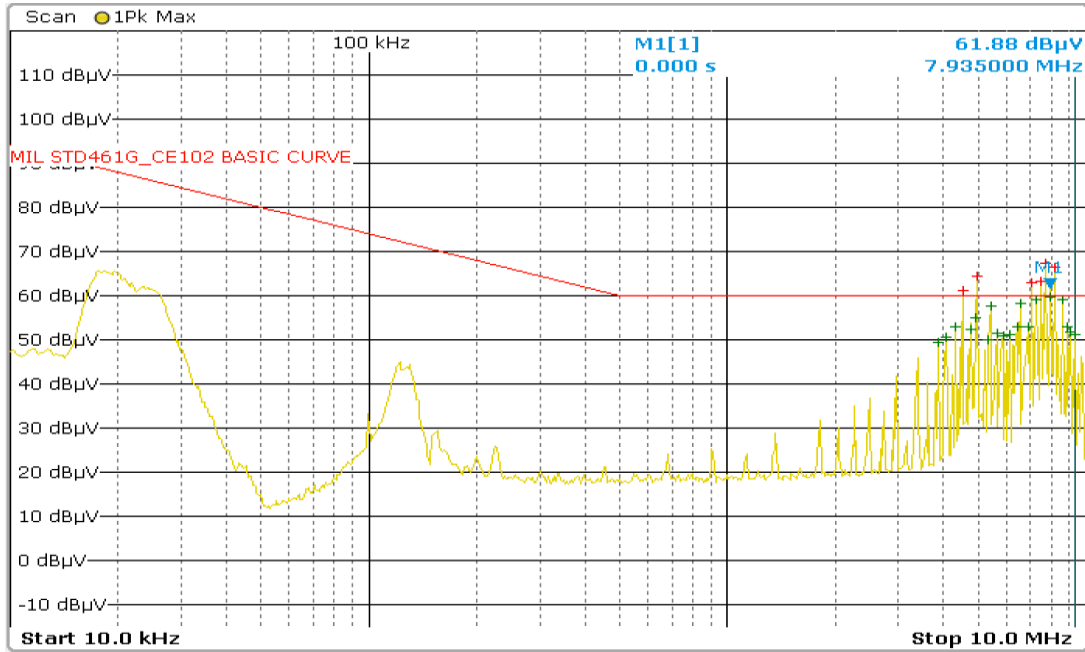
Şekil 3.4'teki ölçümde test edilen cihazın nötr kablosuna Kemet firmasının 399-ESD-R-57S-ND Mn-Zn ferrit toroid nüvesi eklenerek gürültü 33 dB μ V seviyesine düşürülmüştür. LISN tarafına yüksek frekanslarda etki ettiği için Fair-Rite firmasının 2644181281 kodlu nüvesi ve 2 mH ortak mode bobini (CMC) takılmıştır. 7.48 MHz'de 9.30 dB μ V ile standart sınırların üzerinde kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 3.4. Bobin, nüve ve ferit eklenmiş gürültü ölçüm sonucu.

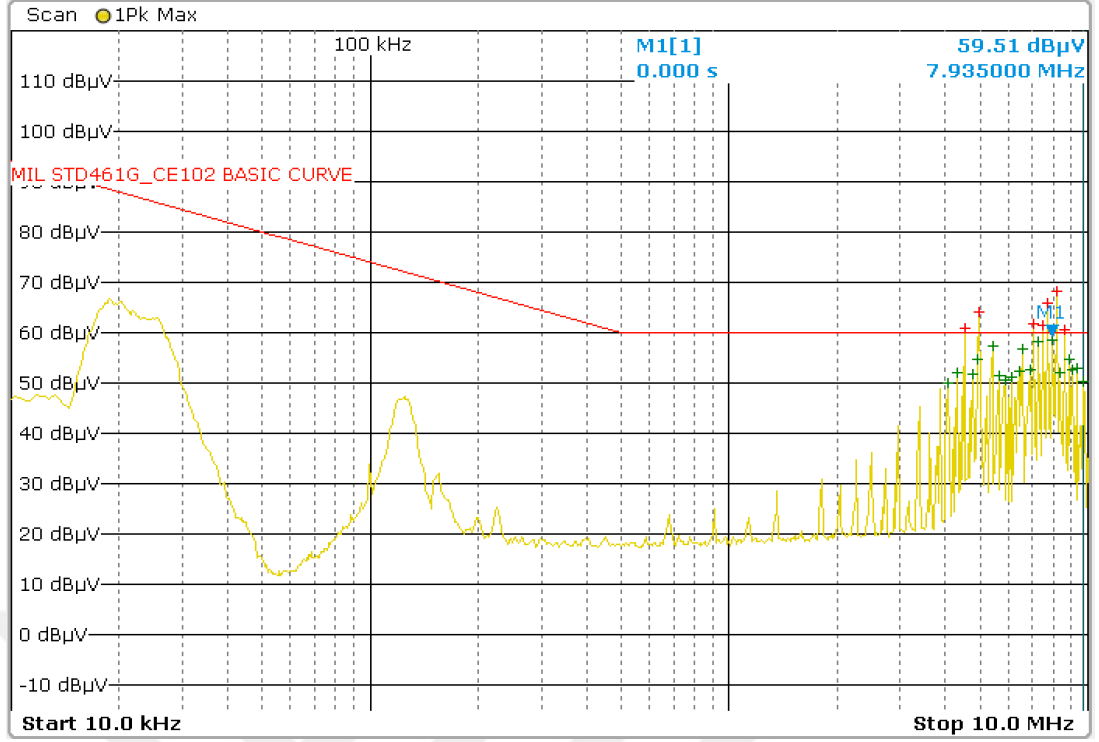
Şekil 3.5'te cihaza etkisini görmek amacıyla LISN tarafına Würth Elektronik'in 890334027025 kodlu 3.3 μ F kapasitör ve 2 mH CMC'si eklenmiştir. Giriş ve

çıkıştaki gürültü seviyelerinde büyük ölçüde düşüş görülmektedir. 7.7 MHz’de limit üzerinde 7.42 dB μ V ile standart sınırların üzerinde bir değer elde edilmiştir.



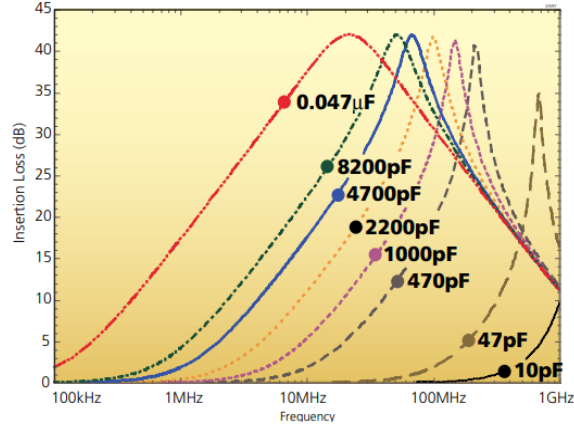
Şekil 3.5. LISN tarafına kapasitör ve bobin eklenmesi sonrası alınan ölçüm sonucu.

Şekil 3.6’daki ölçümde topraklama etkisini artırmanın sonucunu görmek amacıyla güç giriş konnektörü alüminyum bant ile masa üzerinden toprağa bağlanmıştır. Gürültü seviyesinde değişiklik olmamıştır. 8.16 MHz’de 8.09 dB μ V ile gürültünün standart sınırlarının üzerinde bir değerde kaldığı gözlenmiştir.



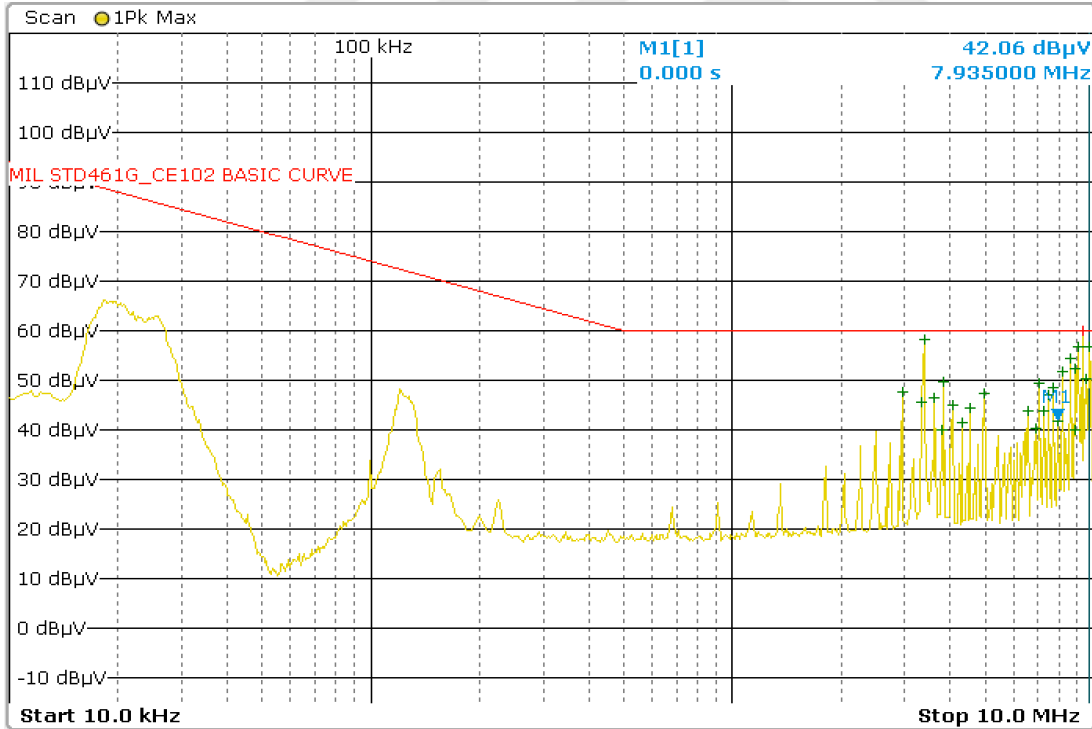
Şekil 3.6. Güç girişi topraklandıktan sonra alınan ölçüm sonucu.

Girişte gürültüyü bastırmak amacıyla 28 V DA girişine kendi içerisinde X ve Y kapasitör barındıran Şekil 3.7'deki gibi 321720 kodlu Quell marka EMI filtre, güç giriş konnektörünün faz-toprak hattı arasına eklenmiştir. Quell, MIL-STD 461 askeri standardında iletilen emisyonların zayıflatılmasında kullanılmak üzere güç giriş konnektörü için tasarlanmış özel bir EMI filtredir. Geleneksel EMI filtredeki ayırık filtre elemanlarından oluşan bir yapı yerine Quell filtre, konnektöre yerleştirilen silikon tabanlı esnek bir malzemeden oluşmaktadır. Konnektöre yerleştirilen bu conta şeklindeki bileşen, lehim veya ek bağlantı ekipmanı gerektirmeyişi ve uygulama kolaylığı nedeniyle EMC sorunun çözümünde pratik bir yaklaşım sunmaktadır. Proje kapsamında konnektör kaynaklı EMI gürültünün zayıflatılması için kullanılan Quell filtre, konnektörden geçen sinyallerin teknik özelliklerine uygun olarak tasarlanmıştır. Projeye özgü tasarımı sayesinde bu filtre sinyal noktalarında kapasitör etkisi gösterme, topraklama ve filtreleme yapmaktadır. Şekil 3.7'de üretici firma kataloğunda yer alan farklı kapasitör değerleri için Quell'in gösterdiği frekans-zayıflatma grafiği verilmiştir. Askeri projelerde konnektör tipi ve zayıflatılması istenen gürültü seviyesine göre uygun Quell kullanımı ile EMI gürültü zayıflatılabilmektedir.



Şekil 3.7. Giriş konnektörüne takılan Quell marka EMI filtre ve yüksek frekansta gürültü zayıflatma etkisi.

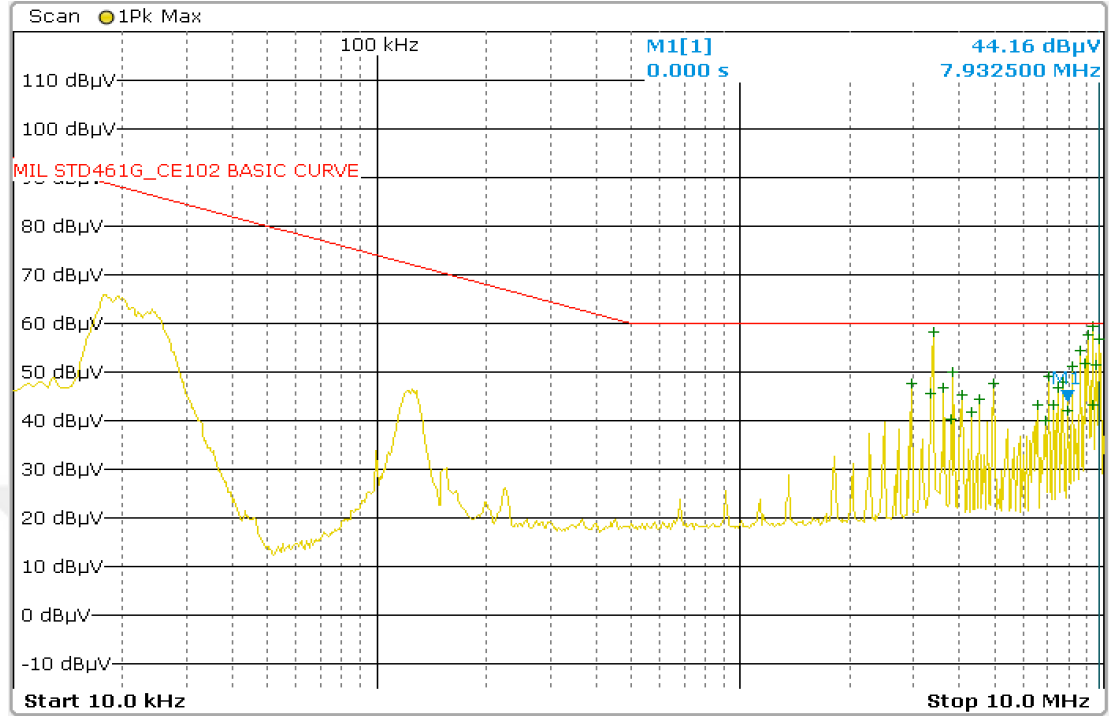
Quell marka EMI filtre eklendikten sonra alınan ölçüm sonucu Şekil 3.8’de verilmiştir. 9.29 MHz’de 0.01 dB μ V ile gürültü limit değerinin üzerinde kalmıştır. Yapılan eklemenin yüksek frekansta gürültü seviyelerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.8. Quell marka EMI filtre eklendikten sonra alınan ölçüm sonucu.

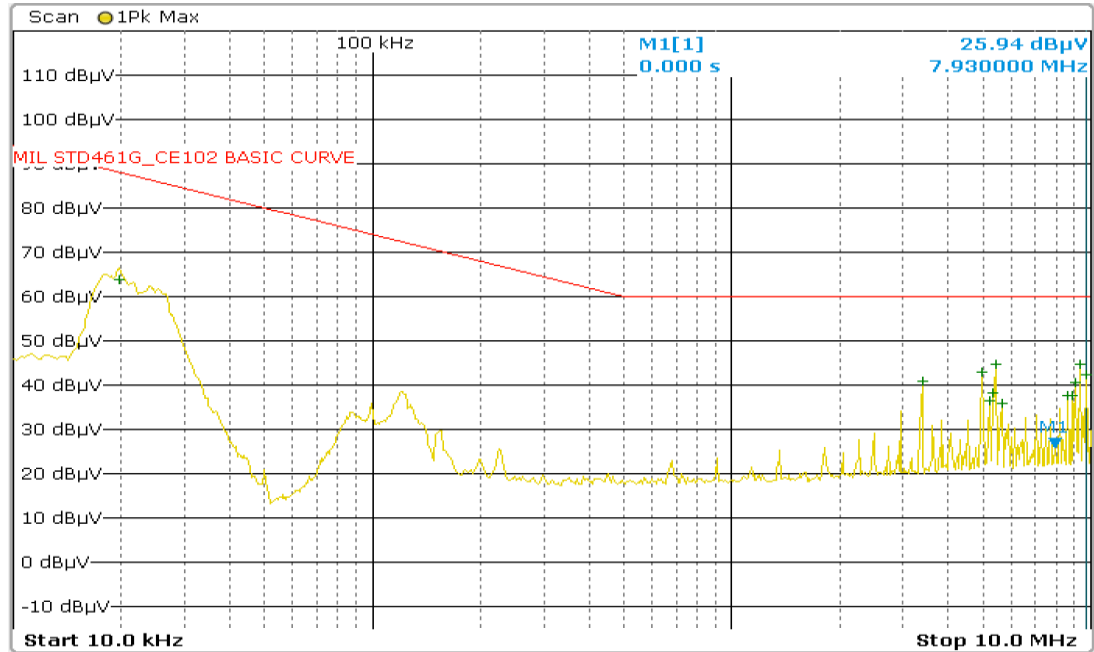
Gürültü seviyesi sınır değerinin az üzerinde olduğu için güç girişine 470 nF’lik kapasitör paralel olarak eklenmiş + ve – kablolarına ise 399-ESD-R-57S-ND kodlu ferrit ilave edilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 3.9’da verilmiştir. 9.29 MHz’de -0.6

dB μ V ile sınır seviyesinin altına inildiğinden bundan sonraki ölçümlerde yapılan iyileştirmeler, faz-nötr hattından ayrı ayrı ölçümler alınarak çalışmaya eklenmiştir.

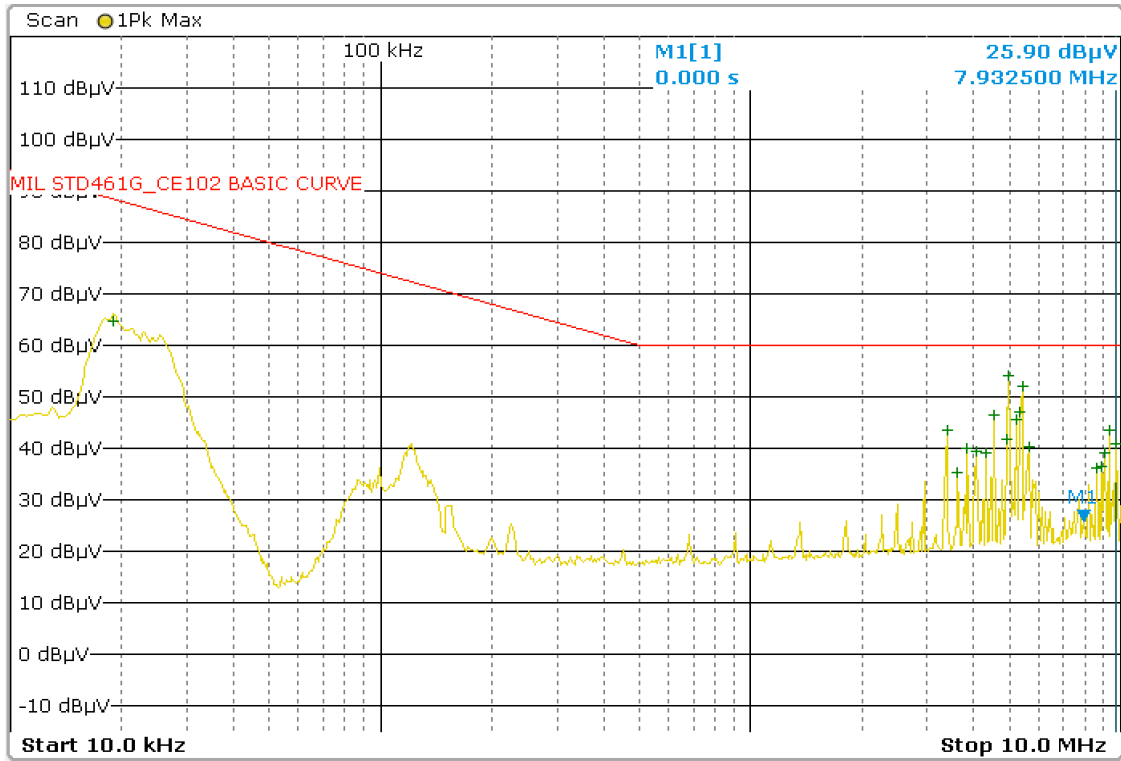


Şekil 3.9. Güç girişine kapasitör ve kablolarla ferit eklenmesi.

+ giriş/toprak ve - giriş/toprak arasına bir adet daha paralel 3.3 μ F kapasitör eklenmiştir. Faz hattının 9.29 MHz’de -15.15 dB μ V ile Şekil 3.10’da testi başarılı bir şekilde geçtiği gözlenmiştir.



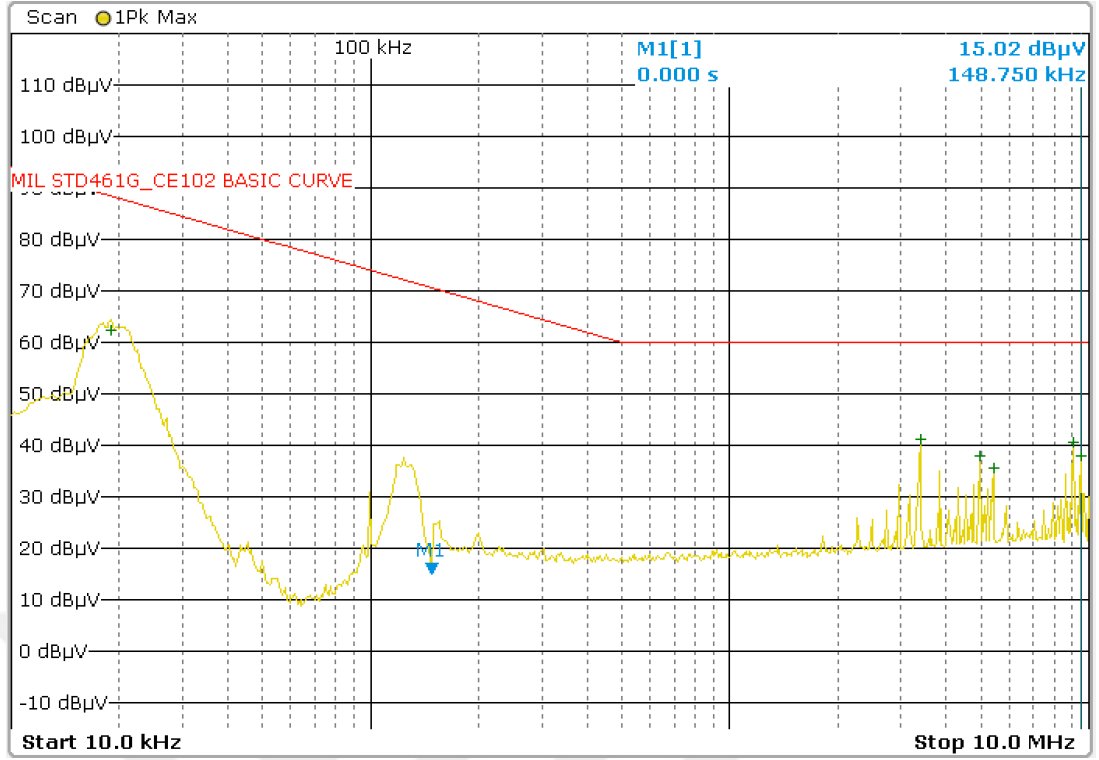
Şekil 3.10. 3.3 μ F kapasitör eklendikten sonra faz hattı gürültü ölçüm sonucu.



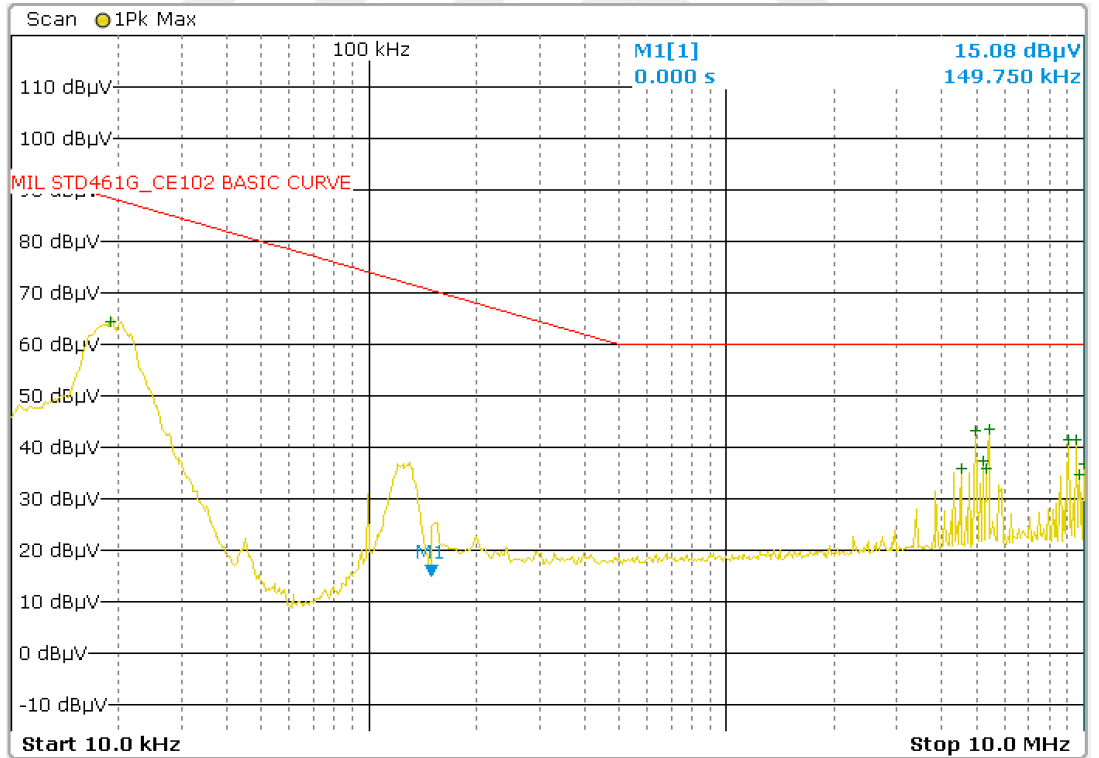
Şekil 3.11. 3.3 μ F kapasitör eklendikten sonra nötr hat ölçüm sonucu.

Test nötr hattı için tekrarlandığında alınan ölçümde 4.98 MHz'de -5.94 dB μ V ile gürültünün standart sınırları sağladığı gözlenmiştir. Yapılan iyileştirmeler sonucunda standart sınır değerlerinin altında kalındığı ve CE102 testinin geçildiği gözlenmiştir.

Bu iyileştirmelere ek olarak önceki adımda eklenen 3.3 μ F paralel kapasitörler kaldırılmış, devrede 2 mH'lik bobin yerine 4.7 mH CMC eklenerek test tekrarlanmıştır. Bu durumda faz hattı 3.4 MHz -18.7 dB μ V ile nötr hattı ise 5.44 MHz -16.43 dB μ V değerleri ile önceki iyileştirmeden daha iyi bir sonuç elde edilerek test geçilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir. CMC'nin - tarafta akım giriş yönü değiştirilerek devreye bağlanmıştır.



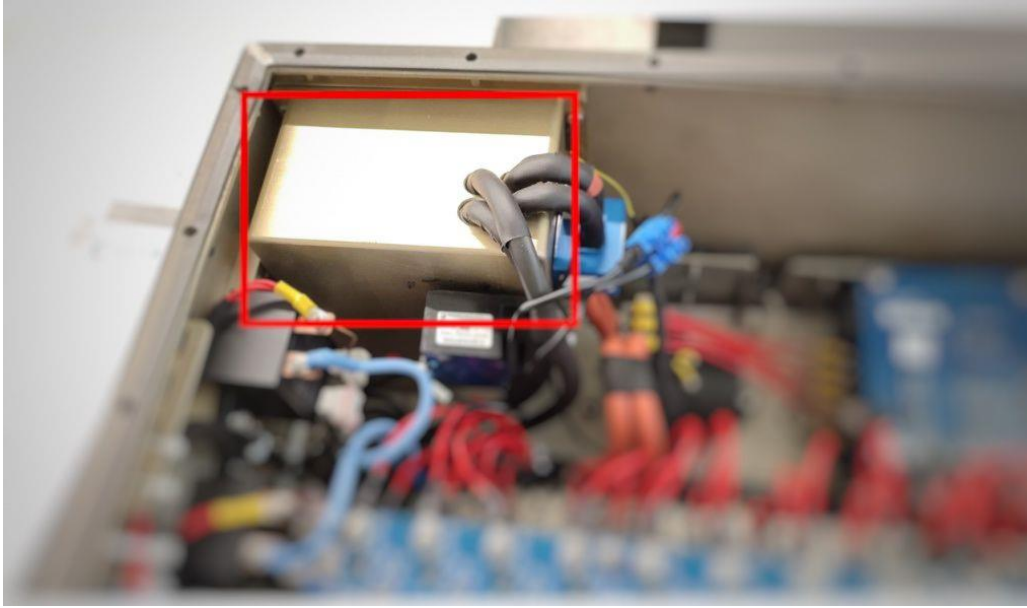
Şekil 3.12. Line hattından alınan son ölçüm sonucu.



Şekil 3.13. Nötr hattından alınan son ölçüm sonucu.

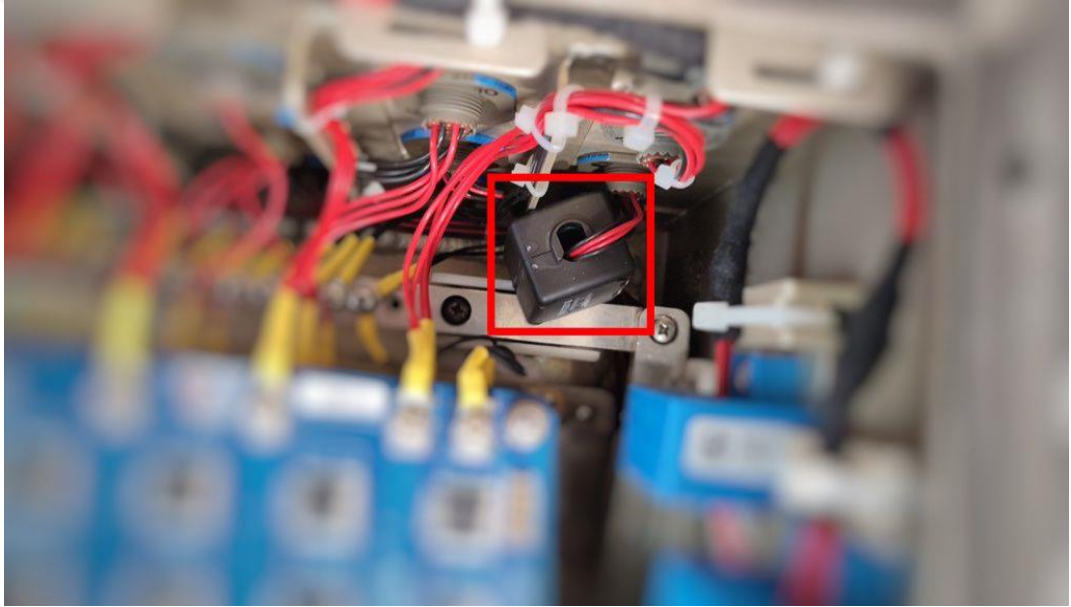
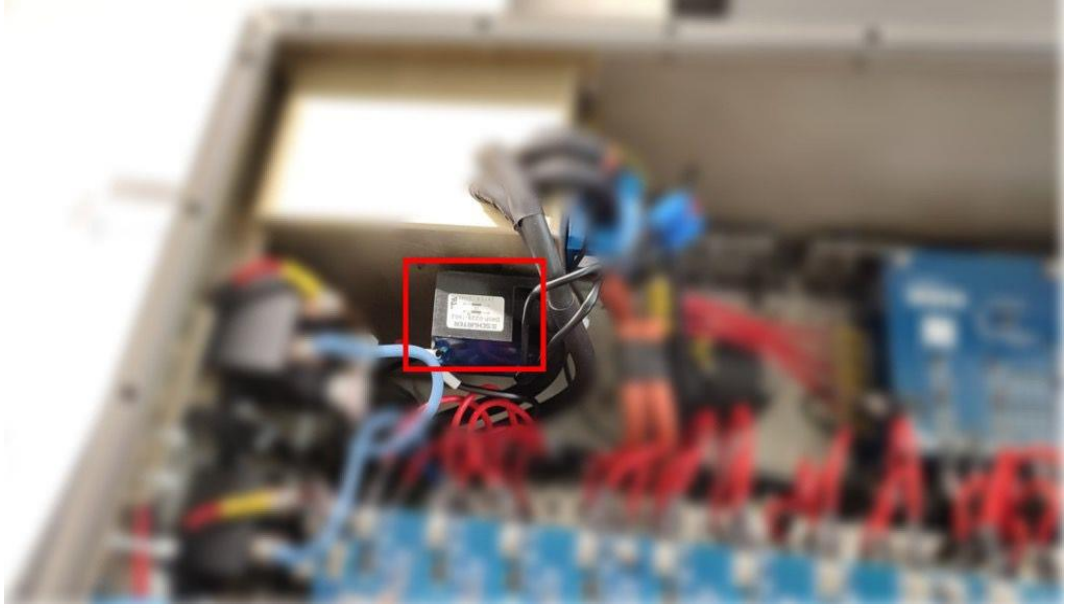
3.1.1. Yapılan diğer iyileştirmeler

Giriş kablolarının bulunduğu bölgeye Şekil 3.14'teki gibi RE ve CE testlerinde etkisi olacağı düşünülerek metalik (iletken) bir kapak eklenmiştir. Cihazın alt kısmında bulunan akım sensörü kapağın üzerine vidalanmıştır. Giriş kabloları kapağın üzerinden açılan deliklerden çıkıp sensörden geçirilmiş, ardından baralara bağlanmıştır. Sonuç olarak giriş kablolarının olduğu bölgede oluşan veya oluşabilecek gürültüler bulunduğu yerde hapsedilmiştir.



Şekil 3.14. Girişe takılan metalik kapak.

Giriş kablolarına 1 MHz üzerinde etkin gürültüyü azalttığı için 10 MHz'de tek turda $100\ \Omega$ empedans sağlayan 28B2000-100 üretici kodlu nüve takılmıştır. Regüle kart girişi kabloları burgulu (twisted) hale getirilerek ekranlanmış ve ekran üzerinden şaseye bağlanmıştır. Makaron ve elektrik bandı ile yalıtımı sağlandıktan sonra regüle kartın 28 V girişine Şekil 3.15'teki gibi 2mH bobin ve DKIP-0229-1502 üretici kodlu CMC takılmıştır. Hem CE102 hem de RE102 testlerinde fayda sağladığından 24V regüle çıkışlardan tek çıkışı olan hatta 25 MHz'de tek tur için $151\ \Omega$ empedans sağlayan 74271221S üretici kodlu nüve takılmıştır.



Şekil 3.15. Regüle kart girişi ortak mod bobini ve 24V regüle hatta takılan nüve.

Akredite laboratuvarında yapılan testlere ait görsel Şekil 3.16’da verilmiştir. Cihaz CE102 testlerini başarılı bir şekilde tamamlamıştır.

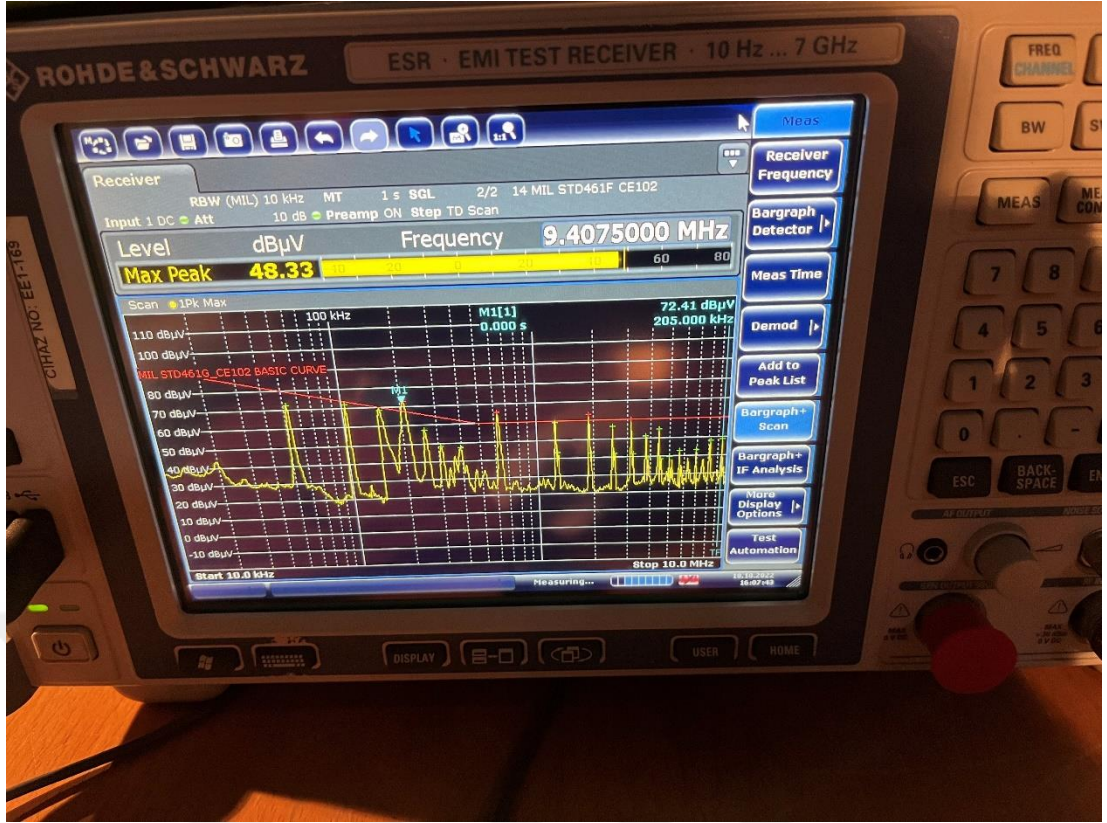


Şekil 3.16. Akredite laboratuvar test düzeneği.

3.2. Ses Haberleşme Sistemi Cihazı İçin EMI İncelemesi

İkinci proje kapsamında yine savunma sanayi ürünü bir cihaz olan ses haberleşme sistemi (SHS) incelenmiştir. Bu cihazın ilk ölçümleri alındıktan sonra Pavo laboratuvarında Ar-Ge çalışmaları yapılarak, 220 V AA ve 28 V DA için detaylı CE testi yapılmıştır. Farklı bileşenler denenerek aralarındaki farklar ve devreye etkileri ispatlanmıştır. Akredite laboratuvardan alınan ilk ölçüm sonuçlarında cihazın CE testinden kaldığını gözlenmiştir. Laboratuvarda yapılan çalışmalar neticesinde yine aynı akredite laboratuvara gidilerek ölçüm sonuçları alınmış ve cihaz testi başarılı bir şekilde tamamlamıştır.

SHS hem 220 V AA hem de 28 V DA ile çalışabilmektedir. Güç kartı içerisinde AA-DA ve DA-DA dönüştürücüleriyle güç kartı çıkışında 28 V DA elde edilmektedir. Cihaza ait genel bir devre şeması Şekil 3.38’de verilmiştir. Bilgi, gizlilik dolayısı ile detaylandırılmamıştır. Akredite laboratuvarda 28 V DA modda enerjilendirildiği zaman alınan ilk ölçüm Şekil 3.17’de, 220 V AA modda enerjilendirildiği zaman alınan ölçüm ise Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.17. 28 V DA ilk ölçüm sonucu.

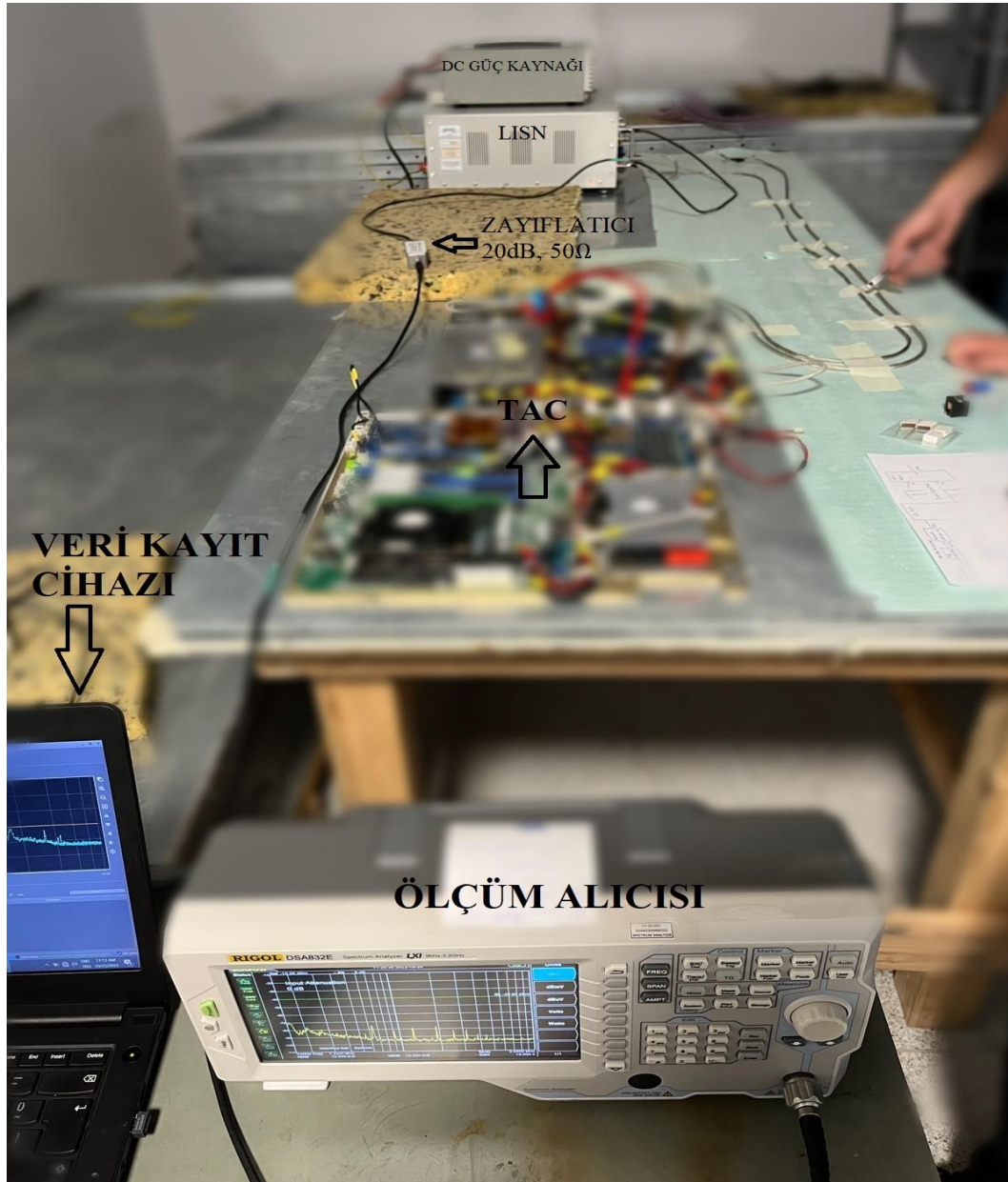


Şekil 3.18. 220 V AA ilk ölçüm sonucu.

3.2.1. 220 V AA modda yapılan Ar-Ge çalışması ve elde edilen sonuçlar

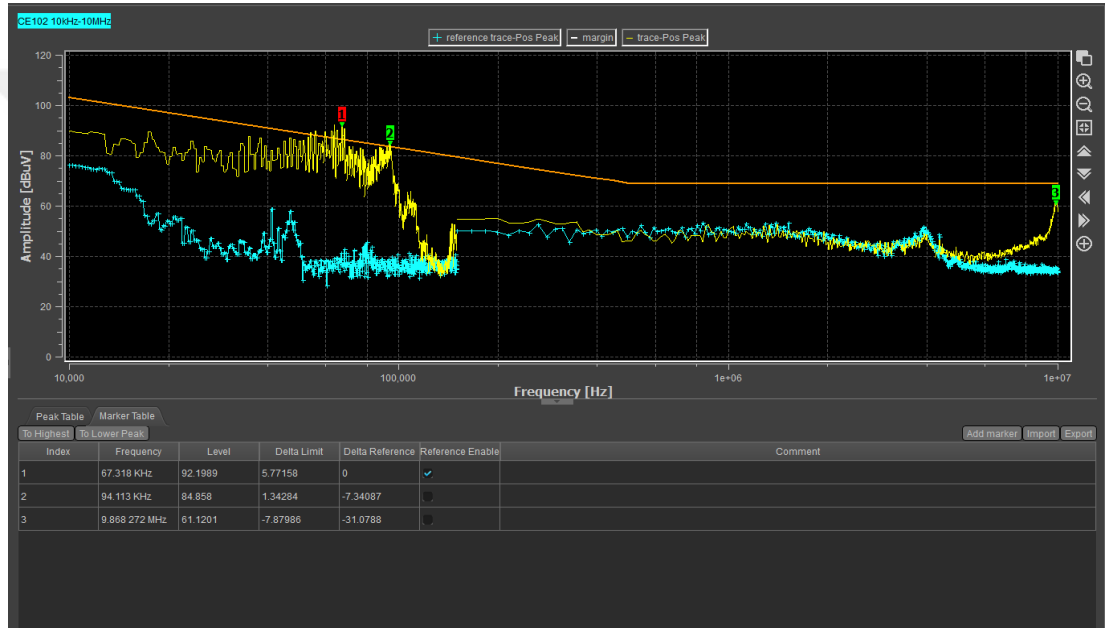
Cihaz hem AA modda hem DA modda çalışabilmektedir. Bazı bilgiler proje gizliliği nedeniyle paylaşılmamıştır. Laboratuvarında alınan ölçümler ilk olarak cihaz AA modda çalışırken alınmıştır. AA ve DA modda ayrı ayrı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan eklemeler ve iyileştirmeler ölçüm sonuçlarıyla verilmiştir. CE testleri için Ar-Ge test düzeneği Şekil 3.19’da verilmiştir.

Verilen ölçüm sonuçlarında bilgisayar programı yardımı ile kullanılan 20 dB zayıflatma miktarı gürültü seviyelerine eklenmiştir.



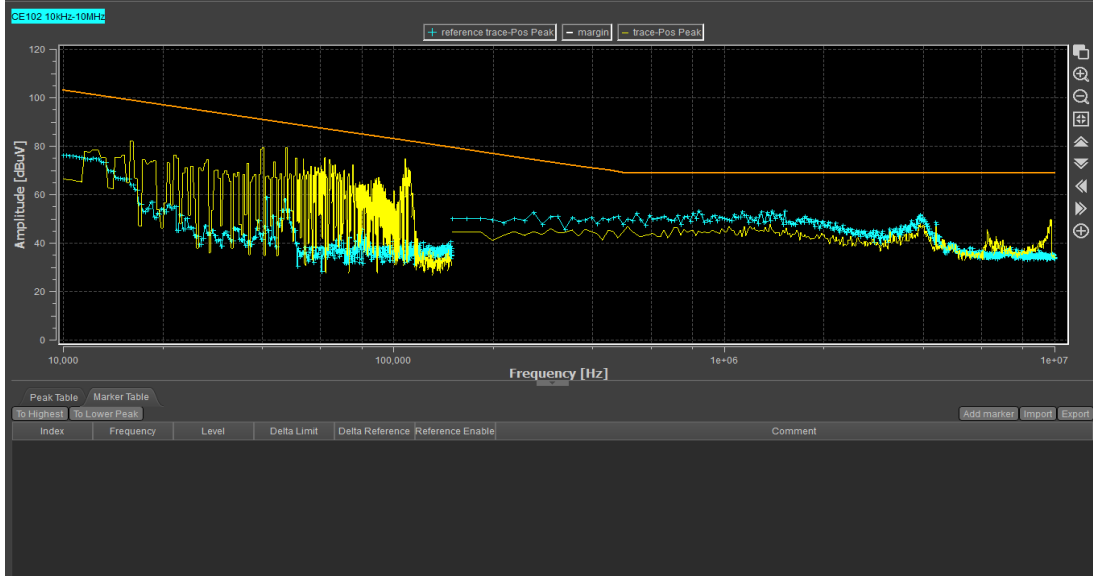
Şekil 3.19. Standart doğrultusunda kurulan CE test düzeneği.

Ölçüm sonuçlarında sarı renk ile alınan ölçüm cihazdan gelen ve ölçülen gürültü seviyesi, mavi renk ile LISN enerjiliyken ve cihaz çalışmazken alınan ortam gürültü seviyesi gösterilmiştir. 220 V AA modda çalışırken standartta belirtilen ve Şekil 1.1’de verilen sınır seviyesi; çalışma gerilimi 220 V olduğu için ölçümlerde temel eğri + 9 dB olarak kullanılmıştır. Şekil 3.20’de alınan ilk ölçümde cihazın serverleri aktif ve girişte 1500 W’lık güç kaynağı (AA/DA dönüştürücü güç kaynağı) mevcuttur. Ölçüm sonuçları 50 kHz – 100 kHz frekans aralığında ve limit değerin üzerindedir.



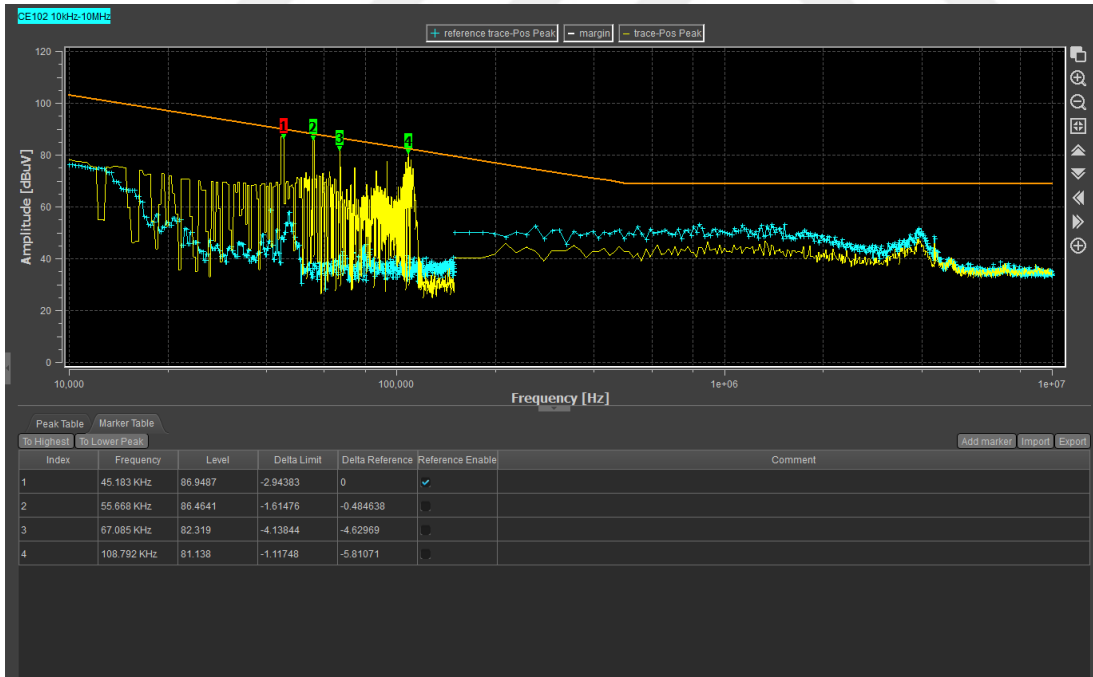
Şekil 3.20. 220 V AA ilk ölçüm sonucu.

Şekil 3.21’de güç kartı devreden çıkarıldıktan sonra alınan ölçümde gürültü seviyesindeki düşüş, besleme güç giriş kısmındaki sıkıntının güç kaynağı kaynaklı olabileceğini göstermiştir. Besleme hattına bağlı olan serverler pasif hale getirilmiş ve ölçümler alınmıştır.



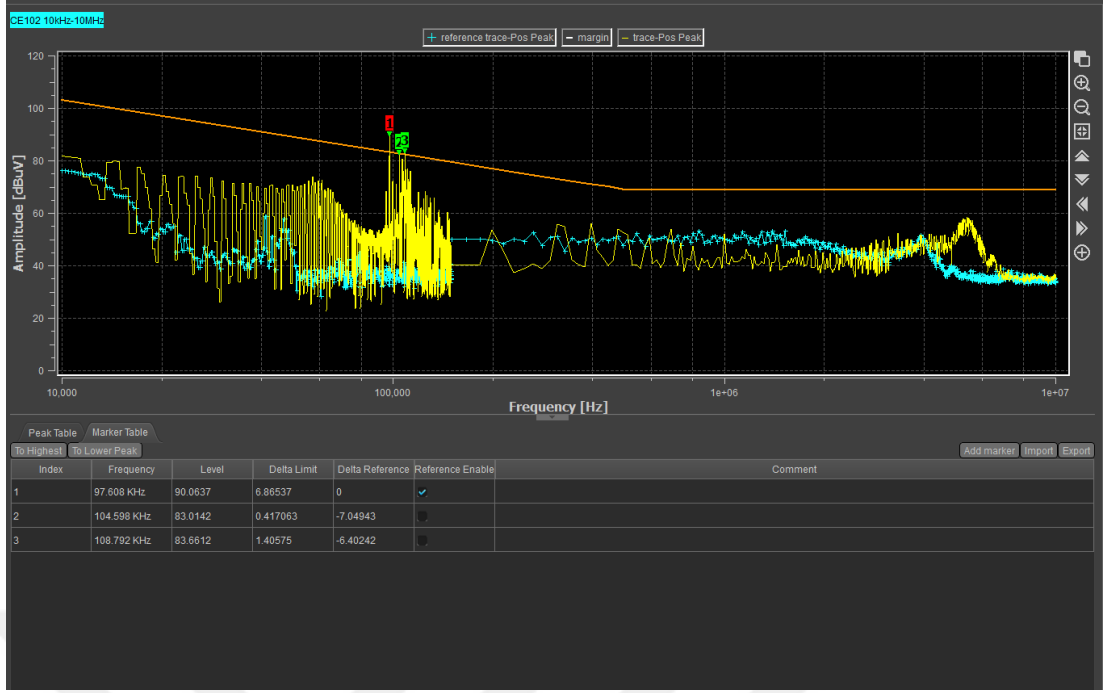
Şekil 3.21. 1500 W orijinal güç kaynağı ve güç kartı devrede yokken alınan ölçüm sonucu.

Şekil 3.22'deki ölçümde orijinal güç kaynağı başka bir 1500 W'lık güç kaynağı ile değiştirilmiş ve girişine AA filtre eklenmiştir. 1500 W'lık güç kaynakları arasında farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.



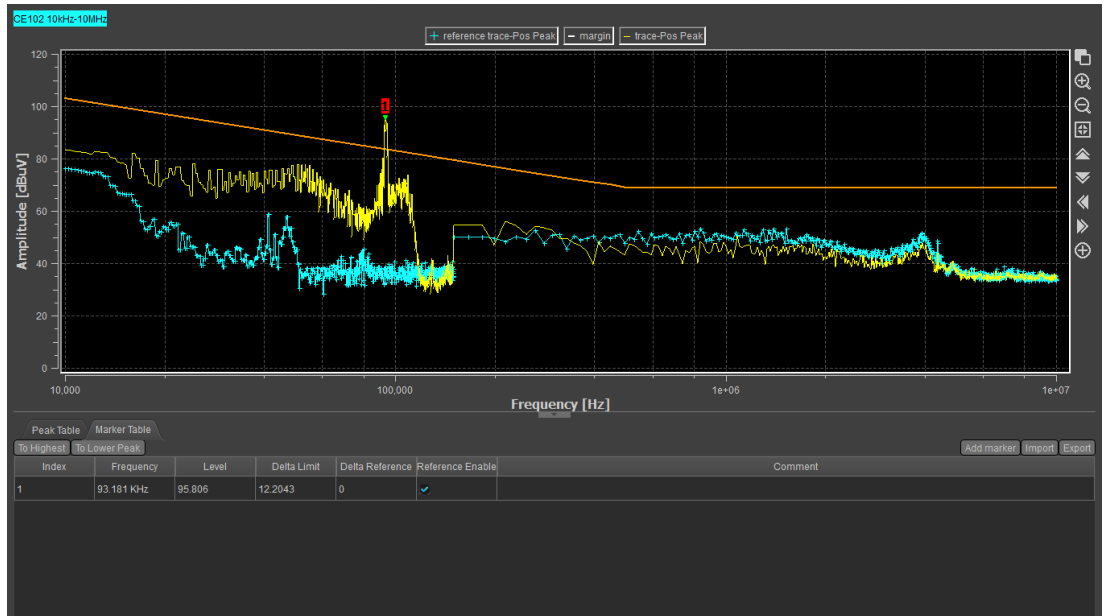
Şekil 3.22. 1500 W yeni güç kaynağı ve giriş AA filtre eklenerek alınan ölçüm.

Şekil 3.23'te 1500 W güç kaynağı yerine 1000 W güç kaynağı eklenmiş ve ölçümler tekrarlanmıştır.



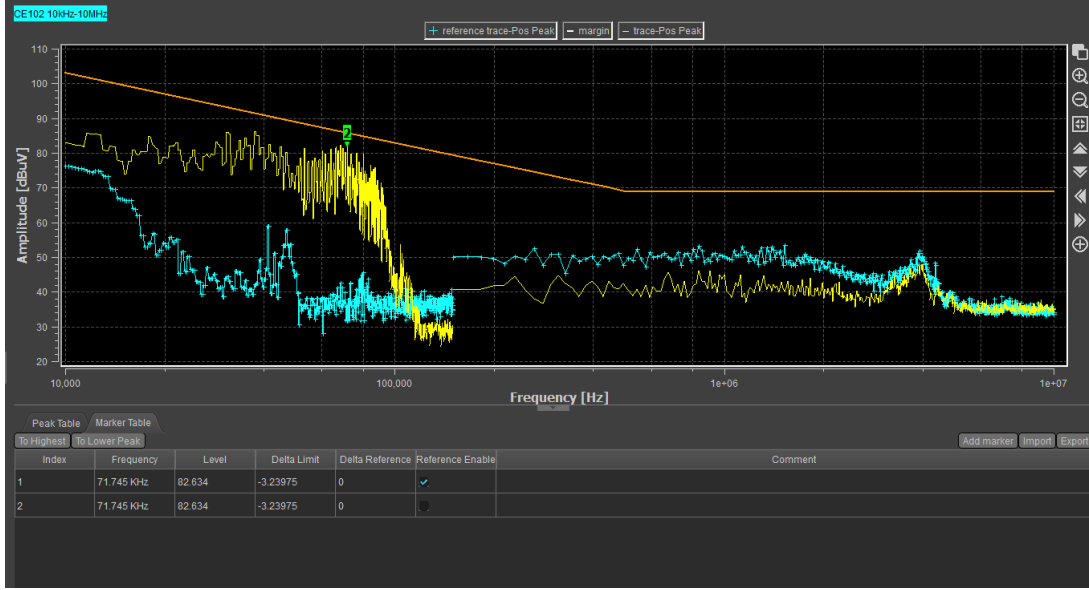
Şekil 3.23. 1000 W güç kaynağı devredeyken alınan gürültü ölçüm sonucu.

Bu ölçüm sonrasında 1000 W'lık güç kaynağı kullanıldığında alınan ölçüm sonucunun daha iyi olduğuna karar verilmiştir ve ölçümlere 1000 W güç kaynağı ile devam edilmiştir. Şekil 3.24'te serverler aktif edilerek ölçüm alınmıştır.



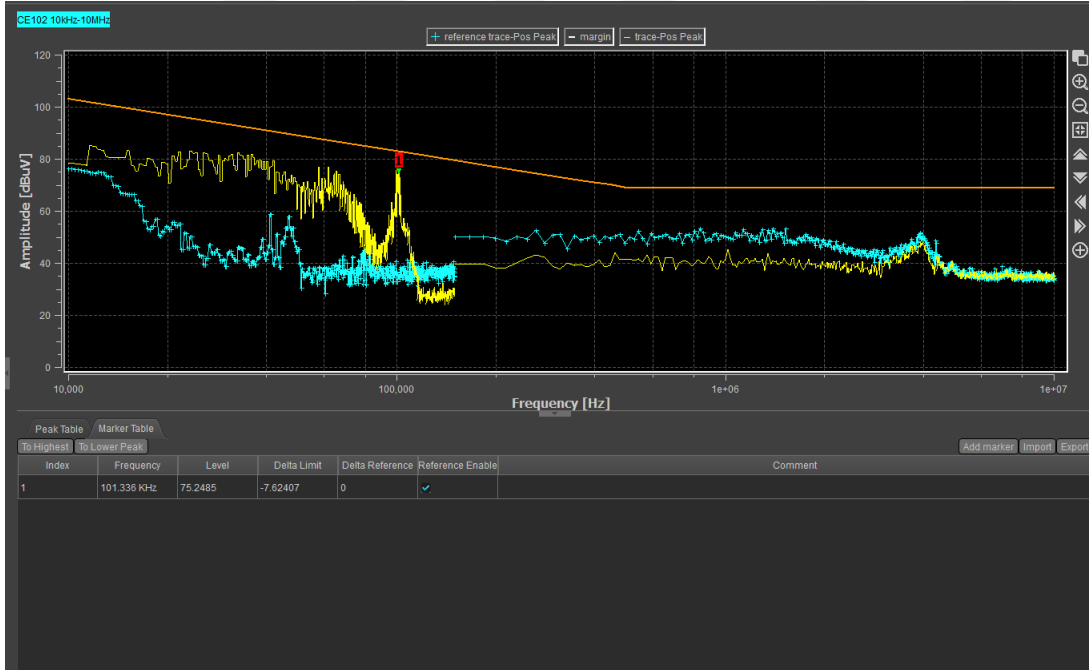
Şekil 3.24. 1000 W güç kaynağı+2 server aktifken alınan ölçüm sonucu.

Cihazın çalışma gerilimi sınırları içerisinde, güç kaynağının 28 V'luk çıkış gerilimini düşürmenin etkisini gözlemlemek için gerilim seviyesi 23.8 V'a düşürülerek yüksüz halde ölçüm alınmıştır.



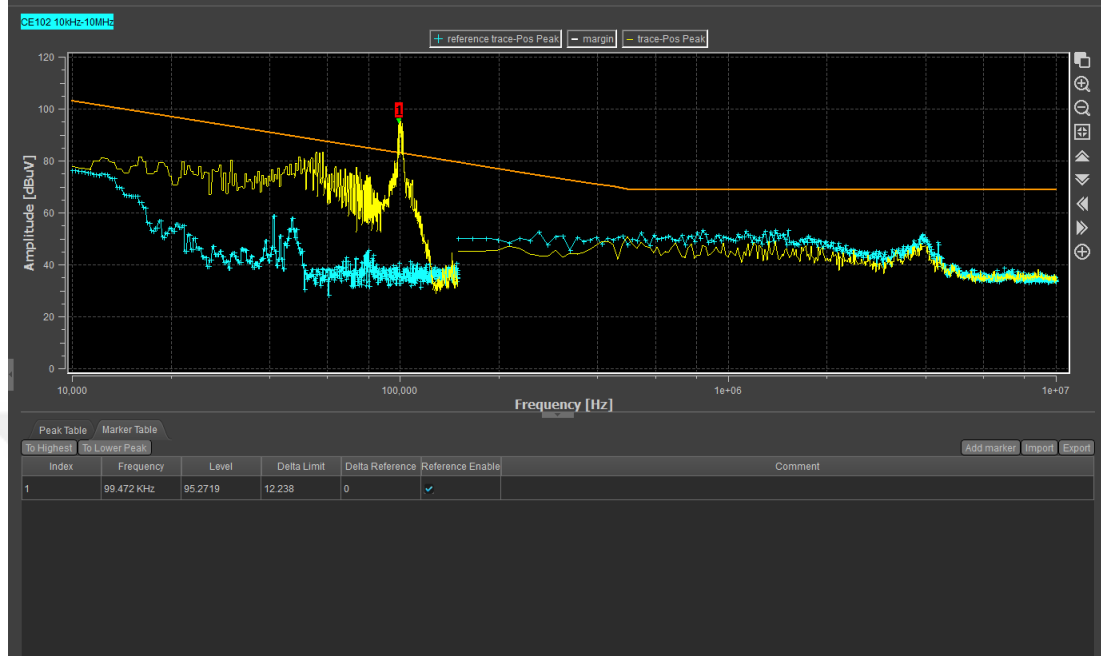
Şekil 3.25. Güç kaynağı çıkış gerilimi 23.8V iken cihazdan yük çekildiğinde alınan ölçüm sonucu.

Gerilim düşümünün gürültü seviyesine çok fazla bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. LISN tarafına filtre takılmış ve tam yükte çalıştırılmıştır. En yüksek gürültünün 100 kHz’de standart sınır değerinin yaklaşık 8 dB μ V altında kaldığı gözlenmiştir.



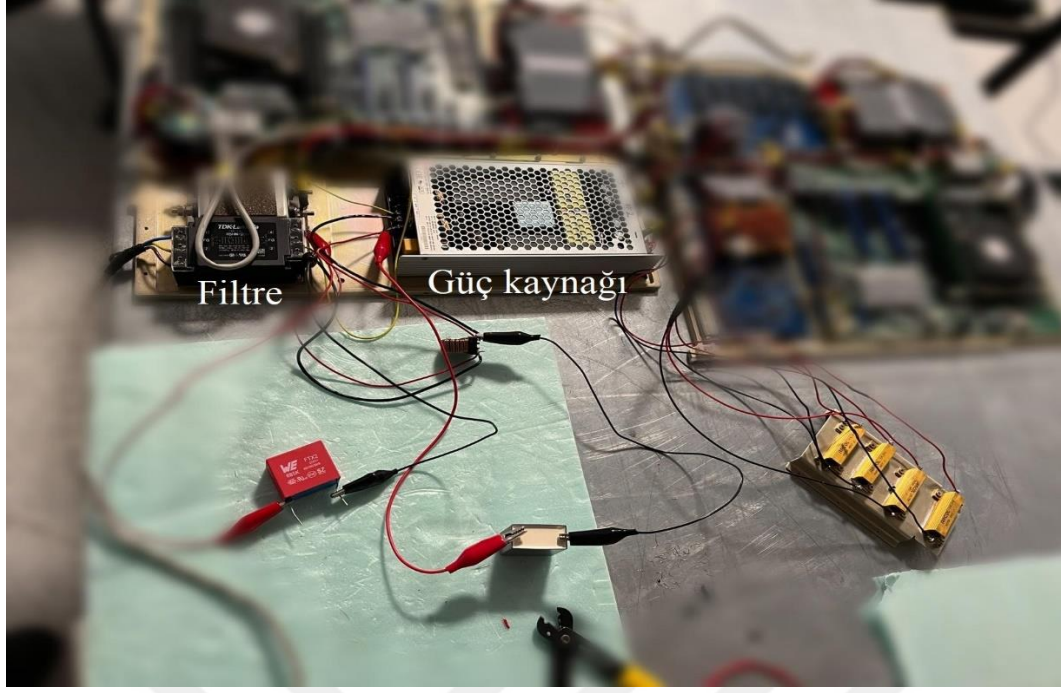
Şekil 3.26. 1000 W Güç kaynağında LISN tarafı filtreliken cihazdan yük kaldırıldığında alınan ölçüm sonucu.

LISN tarafındaki filtre çıkarıldığında alınan ölçüm sonucu Şekil 3.27’de verilmiştir. Cihazdan yük kaldırılmış ve gürültü sınır seviyenin üzerinde 12 dB μ V olarak ölçülmüştür.

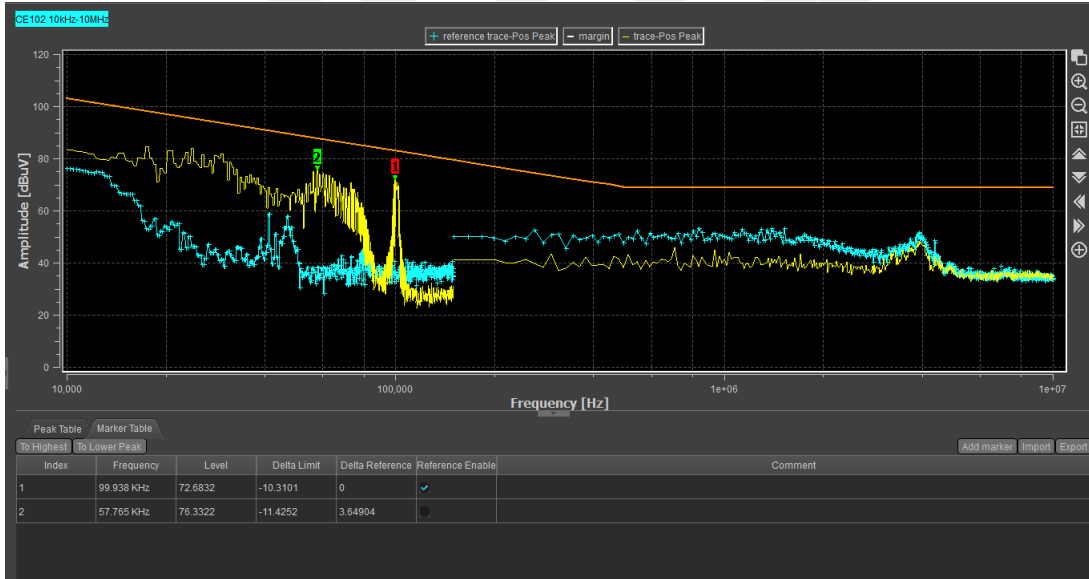


Şekil 3.27. 1000 W Güç kaynağında LISN tarafı filtresiz iken ve cihazdan yük kaldırıldığında alınan ölçüm sonucu.

220 V AA giriş kısmına AA TDK filtre ile güç kaynağı arasına bileşenler arası hızlı değişiklik yapabilmek için Şekil 3.28’deki gibi kablolar ile bağlantı yapıp, farklı tip ve boyutlarda, kapasitör ve CMC bağlanmıştır. Denemeler sonucunda güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 3.3 μ F kapasitör ve 15 mH CMC kullanılmış ve Şekil 3.29’daki ölçüm sonucu gürültü seviyesinde yaklaşık 20 dB μ V düşüş gözlenmiştir.

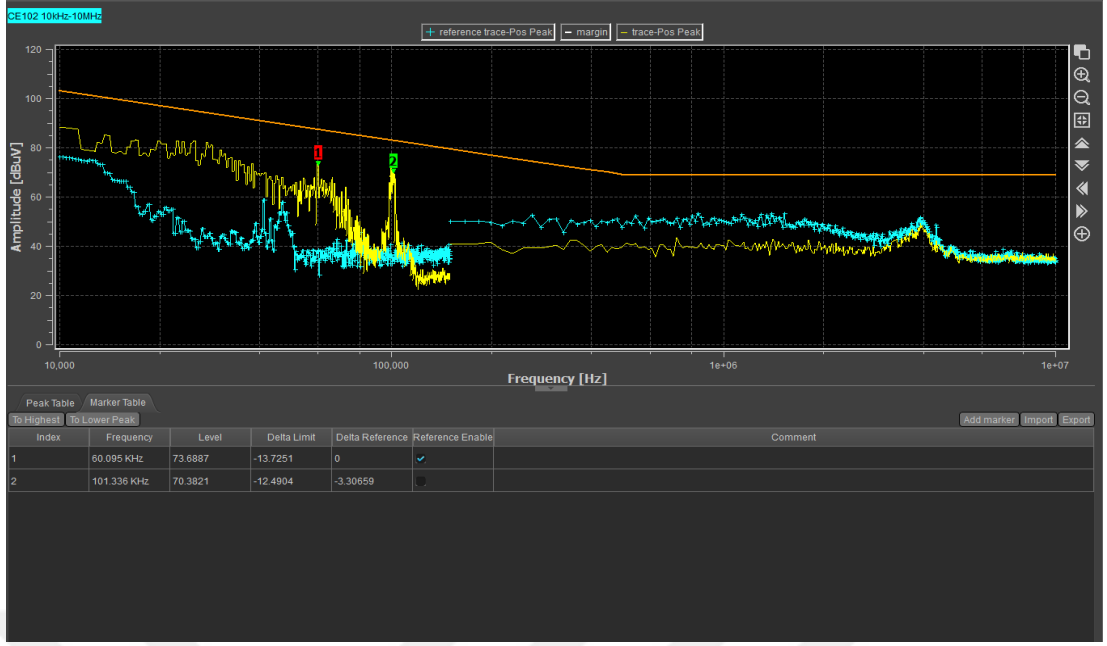


Şekil 3.28. 1000 W Güç kaynağı ile TDK filtre arasında filtre bağlantısı.



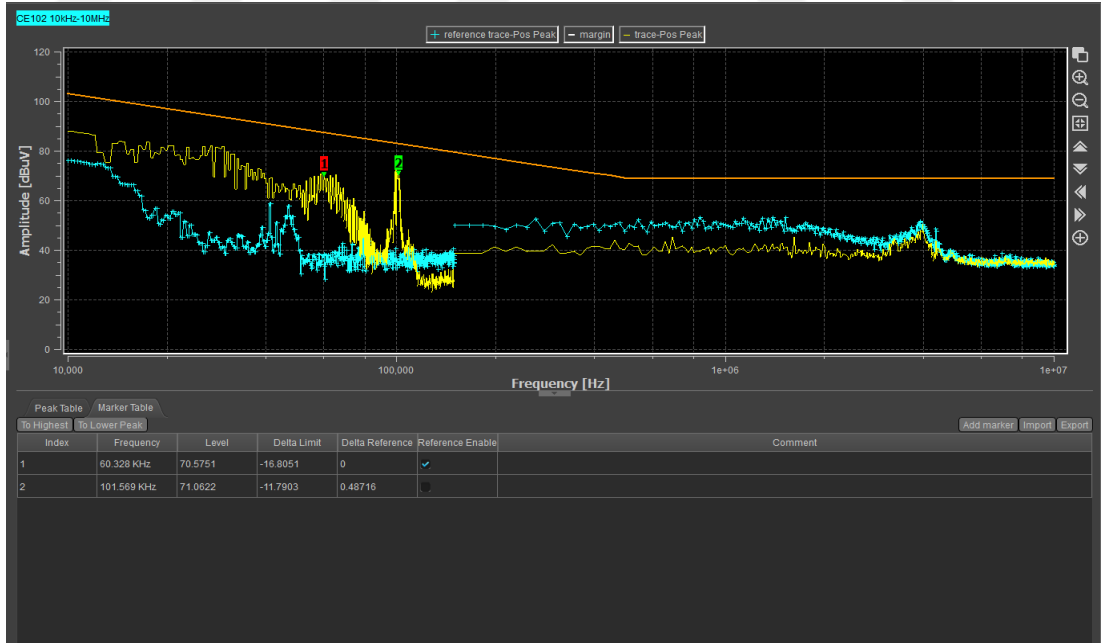
Şekil 3.29. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 3.3 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağladıktan sonra alınan ölçüm sonucu.

Bileşenlerin eklendiği yerlere ait devre şeması Şekil 3.38’de verilmiştir. Bundan sonraki ölçümlerde kapasitörlerin boyutları ve yerleri değiştirilerek nihai tasarımda bileşenlerin en ideal seviyeye getirilmesine çalışılmıştır. Şekil 3.30’da alınan ölçümde 3.3 μ F kapasitör yerine 68 nF’lık bir kapasitör kullanılmıştır. Giriş gürültü seviyesinin daha da düştüğü gözlenmiştir.



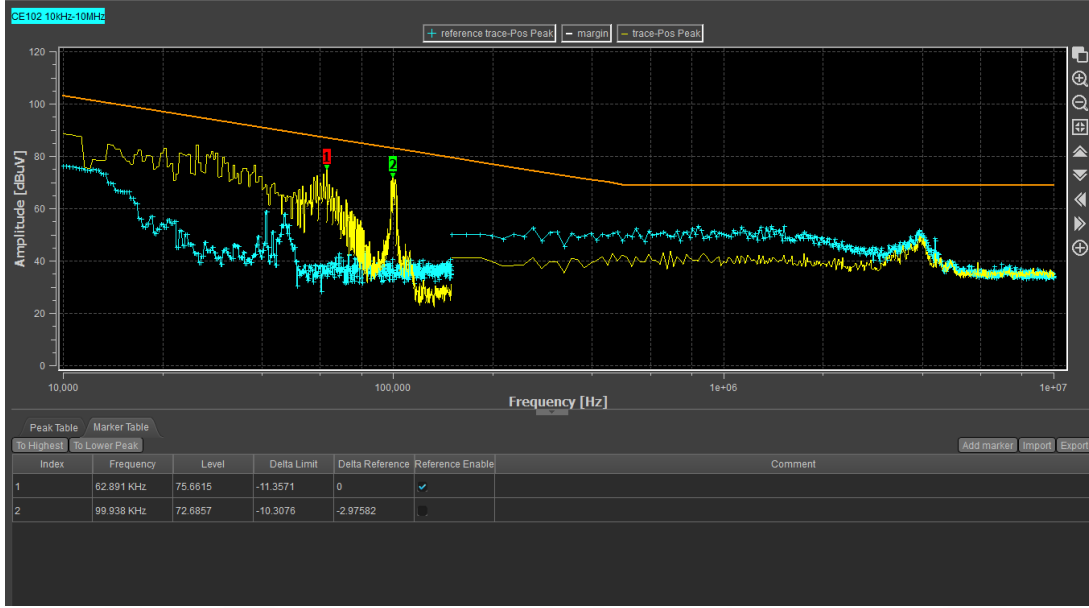
Şekil 3.30. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 68 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.31’de alınan ölçümde 68nF kapasitör yerine 220 nF’lık bir kapasitör kullanılmıştır. Gürültü seviyesinin 60 kHz frekansı civarında düşerken 100 kHz civarında ise arttığı gözlenmiştir.



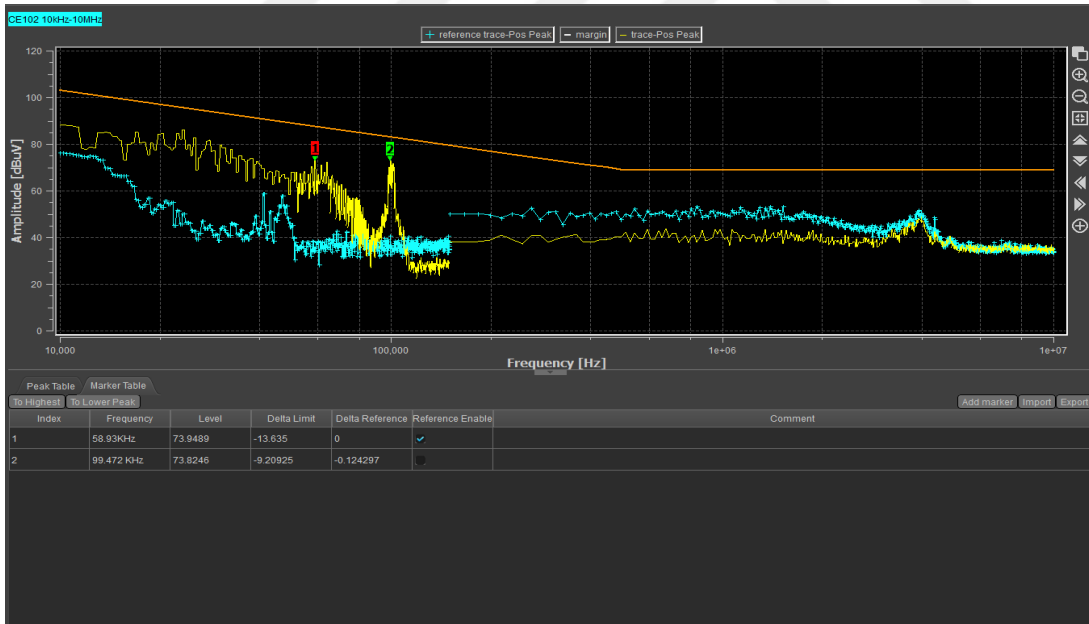
Şekil 3.31. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 220 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.32’de alınan ölçümde 68nF kapasitör yerine 150 nF’lık bir kapasitör kullanılmıştır. Gürültü seviyesinin arttığı gözlenmiştir.



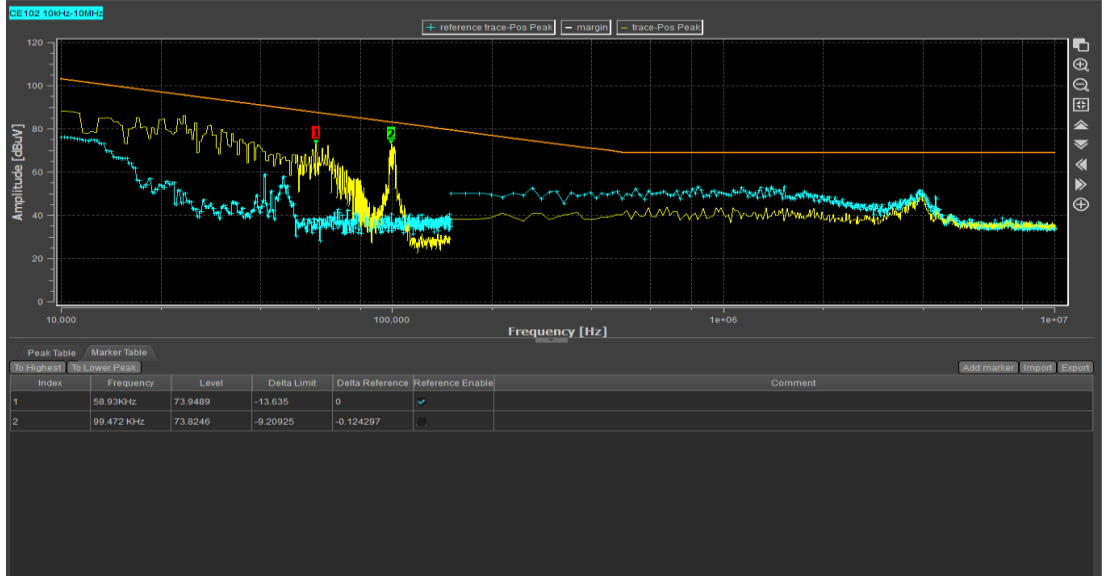
Şekil 3.32. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 150 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.33'te alınan ölçümde 150nF kapasitör yerine 470 nF'lık bir kapasitör kullanılmıştır. Gürültü seviyesinin çok bir değişim olmadığı gözlenmiştir.



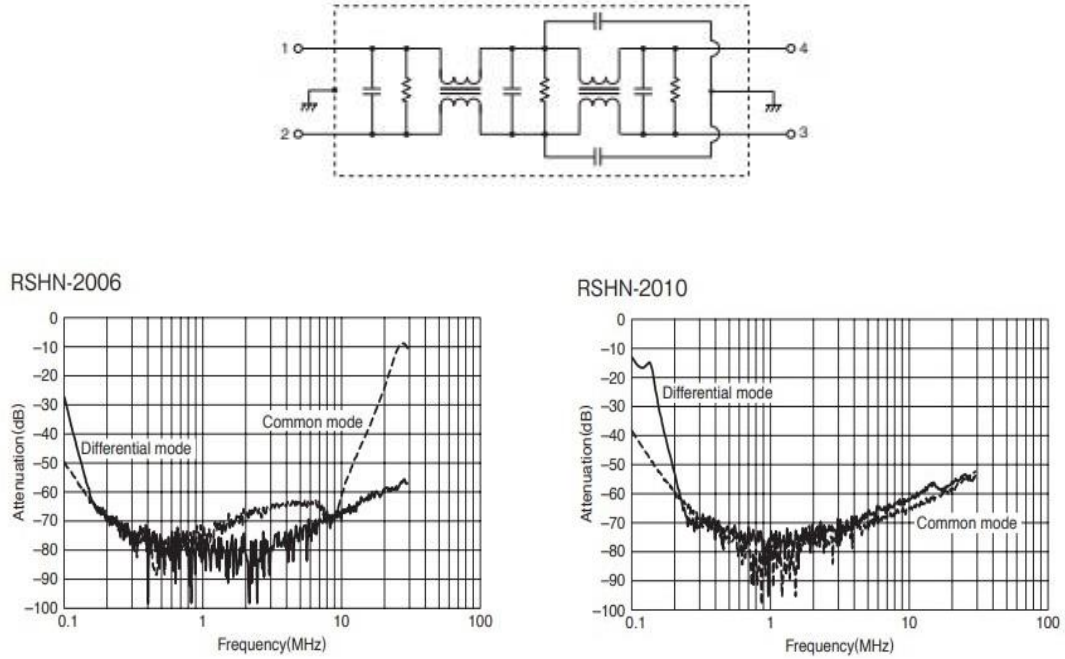
Şekil 3.33. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 470 nF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Kapasiteyi artırmanın olumlu etkisi olacağı düşünülerek Şekil 3.34'te alınan ölçümde 470 nF kapasitör yerine 4.7 μ F'lık bir kapasitör kullanılmıştır. Giriş gürültüsü ve 100 kHz'deki gürültü seviyesinin düştüğü gözlenmiştir.



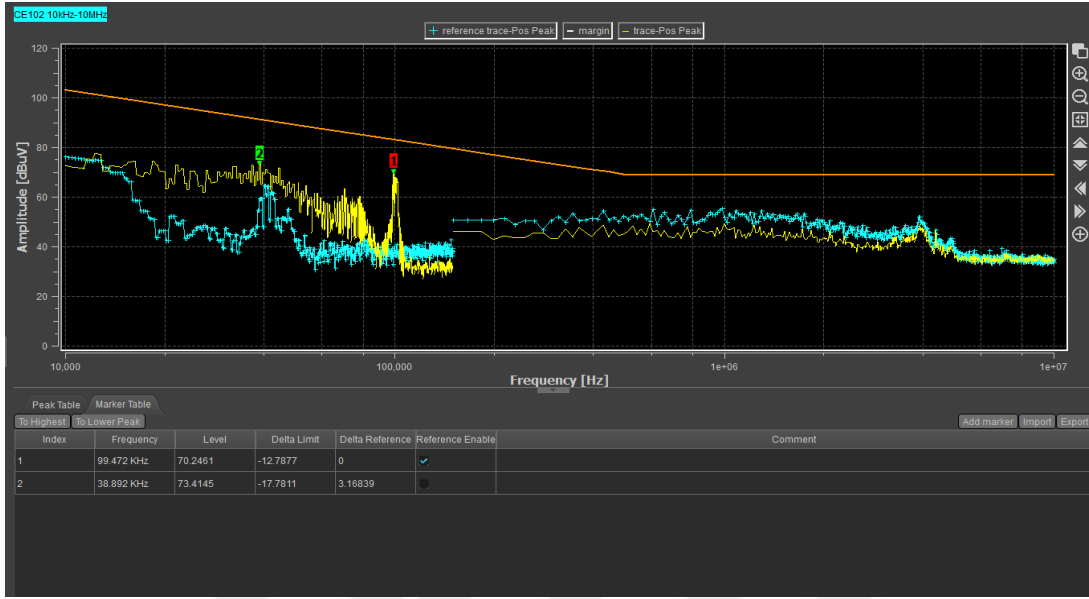
Şekil 3.34. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantı sonrası ölçüm sonucu.

TDK firmasının RSHN 2006 ve 2010 EMI filtreleri ölçümlerde ayrı ayrı kullanılmıştır. RSHN 2006, 100 kHz ve altındaki frekans aralığındaki gürültü seviyesini daha iyi bastırdığı için ilk ölçümlerde kullanılan 10 Amperlik RSHN-2010 TDK filtre yerine 6 Amperlik RSHN- 2006 TDK filtre kullanılmıştır. Şekil 3.35’te devre şeması ve gürültü azaltma - frekans özellikleri verilmiştir.



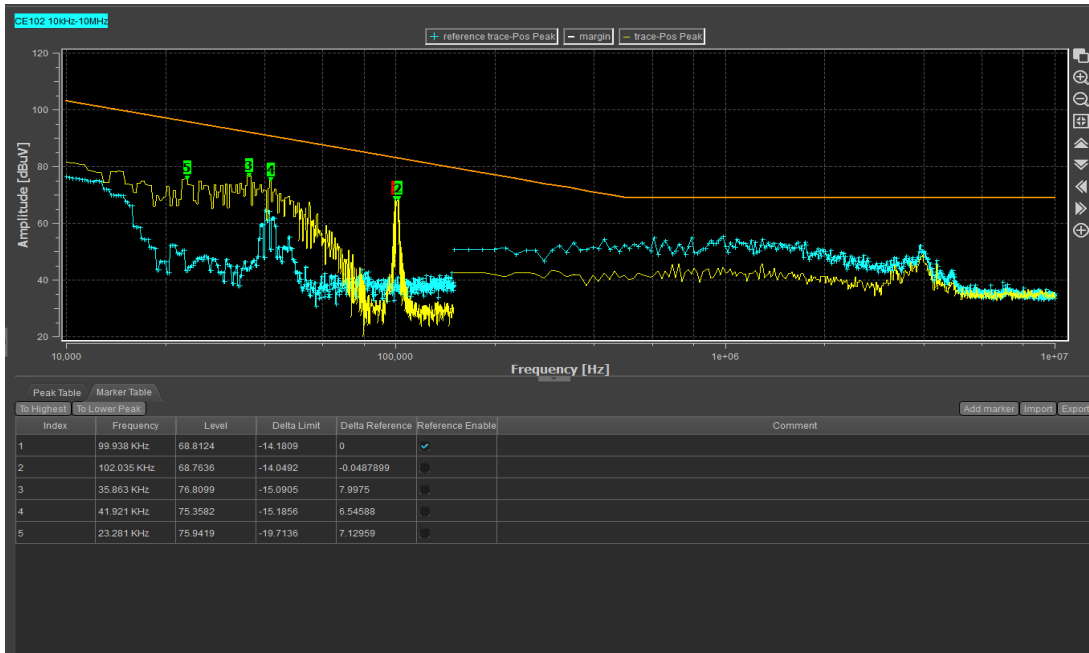
Şekil 3.35. TDK RSHN-2006 ve TDK RSHN 2010 devre şeması ve gürültü azaltma-frekans özellikleri.

Şekil 3.36’da alınan ölçümde 6 Amperlik RSHN- 2006 TDK filtrenin düşük frekanstaki etkisi görülmektedir.



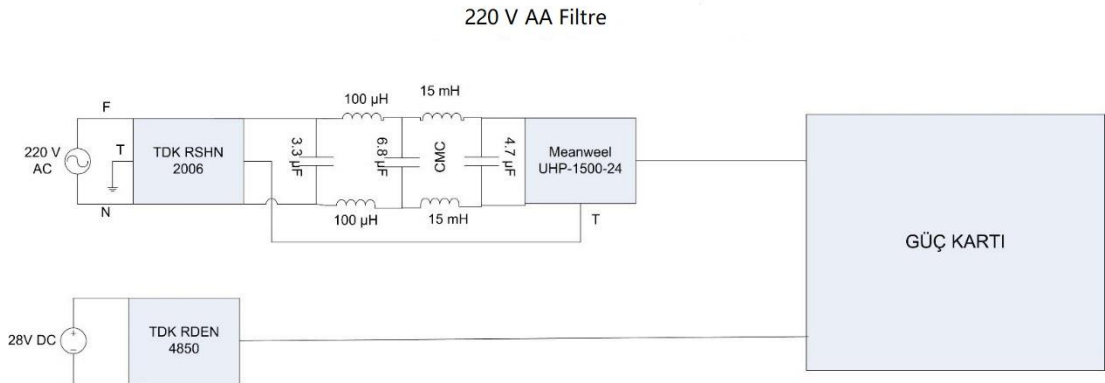
Şekil 3.36. Güç kaynağından önce sırası ile 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.37’deki ölçümde 6 Amperlik filtreden sonra 6.8 μ F kapasitöre seri olarak 100 μ H bobin eklenmiştir. Bu uygulama 100 kHz’deki gürültü seviyesini yaklaşık 2 dB μ V daha düşürmüştür.

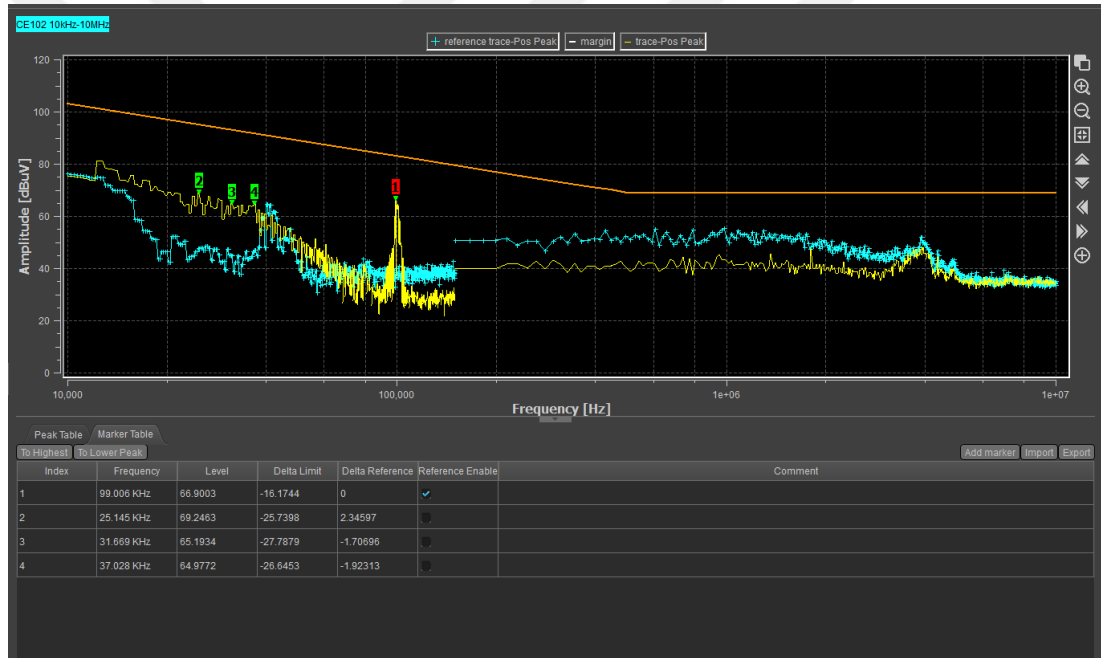


Şekil 3.37. TDK filtreden sonra sırası ile 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.38'de EMI gürültünün azaltılmasına yönelik 220 V AA girişi eklenen bileşenlerin devre şeması verilmiştir.

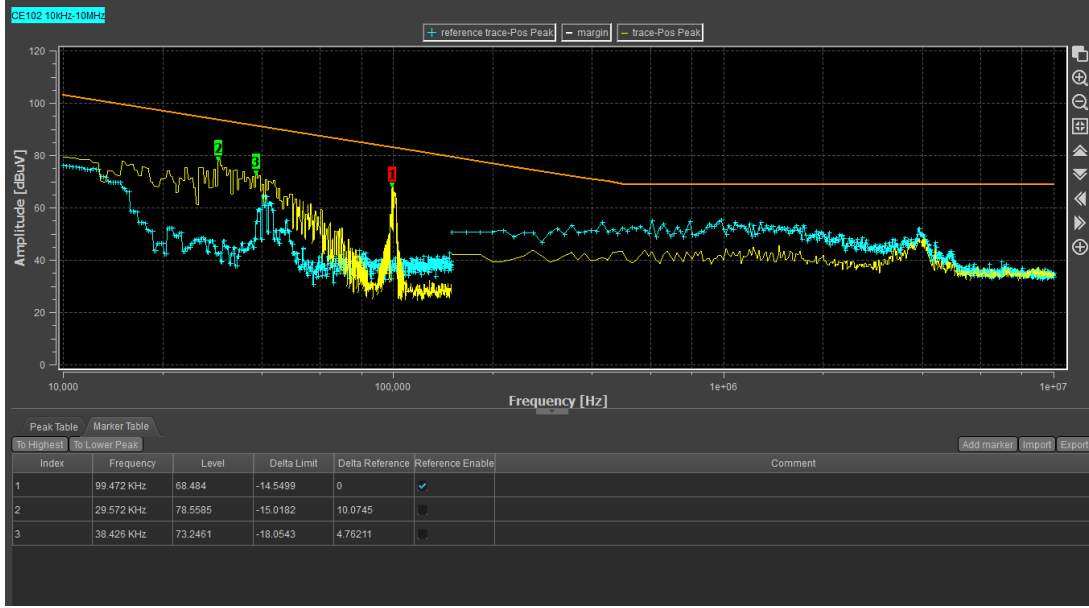


Şekil 3.38. 220 V AA girişi eklenen bileşenler.



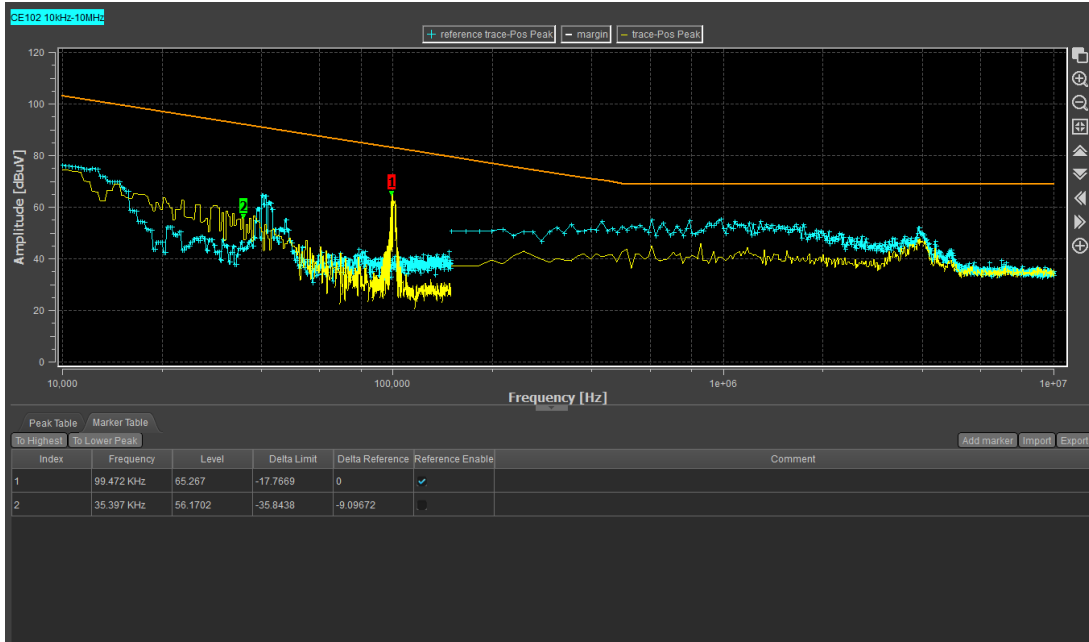
Şekil 3.39. 3.3 µF kapasitör, 100 µH bobin, 6.8 µF, 4.7 µF kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Şekil 3.39'da 6 Amperlik filtreden sonra 6.8 µF kapasitöre seri 100 µH bobin, paralel 3.3 µF kapasitör eklenmiştir. Bu uygulamayla 100 kHz'deki gürültü seviyesi ve diğer giriş gürültü seviyeleri büyük oranda bastırılmıştır. Gürültü seviyesine etkisini görmek için 3.3 µF kapasitör yerine 0.68 µF kapasitör kullanılmıştır. Alınan ölçüm sonucu Şekil 3.40'ta verilmiştir. Gürültü seviyesinin yükseldiği gözlenmiştir.



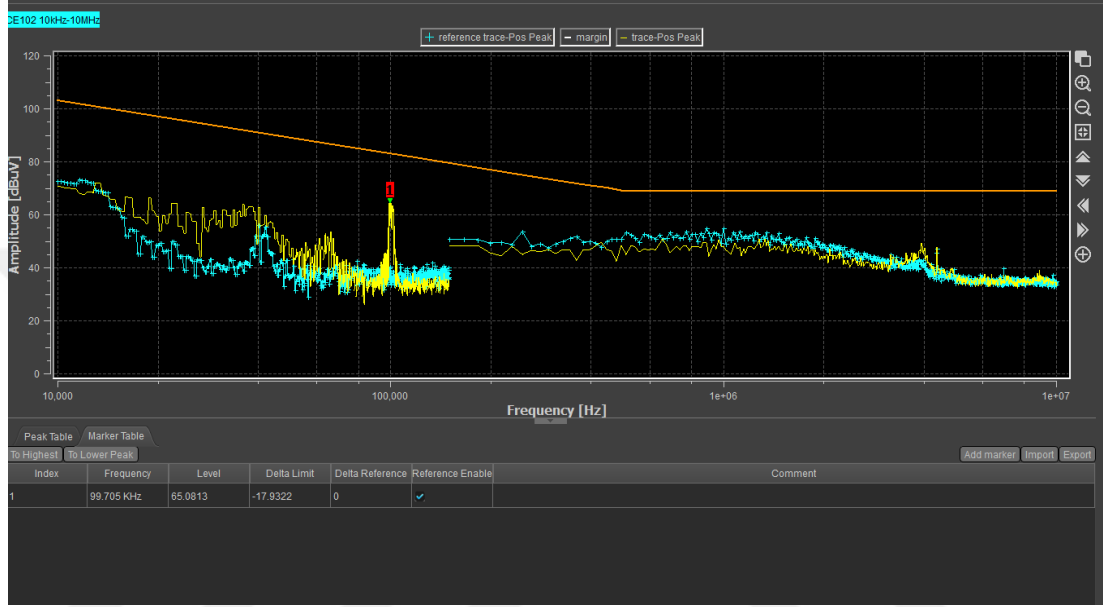
Şekil 3.40. 0.68 μ F kapasitör, 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Son halde AA ölçümde TDK filtreye paralel 3.3 μ F, +ve - hatta 100 μ H bobin, 6.8 μ F 15 mH CMC 4.7 μ F kapasitör eklenmiştir. Cihazın güç giriş kısmında TDK'nın 6 Amper AA filtresi, devamında eklenen bileşenler ve 1000 W güç kaynağı bulunmaktadır. Alınan ölçüm sonucu Şekil 3.41'de verilmiştir. Cihaz tam yükteyken ölçüm nötr hattından alınmıştır.



Şekil 3.41. Nötr hattı 3.3 μ F kapasitör, 100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Cihaz tam yükte çalışırken ve fonksiyonel olarak en üst seviyeki test çalışması olan stress testi yapılırken faz hattından alınan ölçüm sonucu Şekil 3.42’de verilmiştir. Stress testi, SHS cihazını en zor koşullarda çalıştırmaktır. Tüm serverler aktif edilip normal çalışmasının üzerinde yük çektirilmektedir. Alınan sonuçlarda gürültü seviyesinin 220 V AA standart sınır seviyenin altında olduğu ve testi başarılı bir şekilde geçtiği görülmektedir.

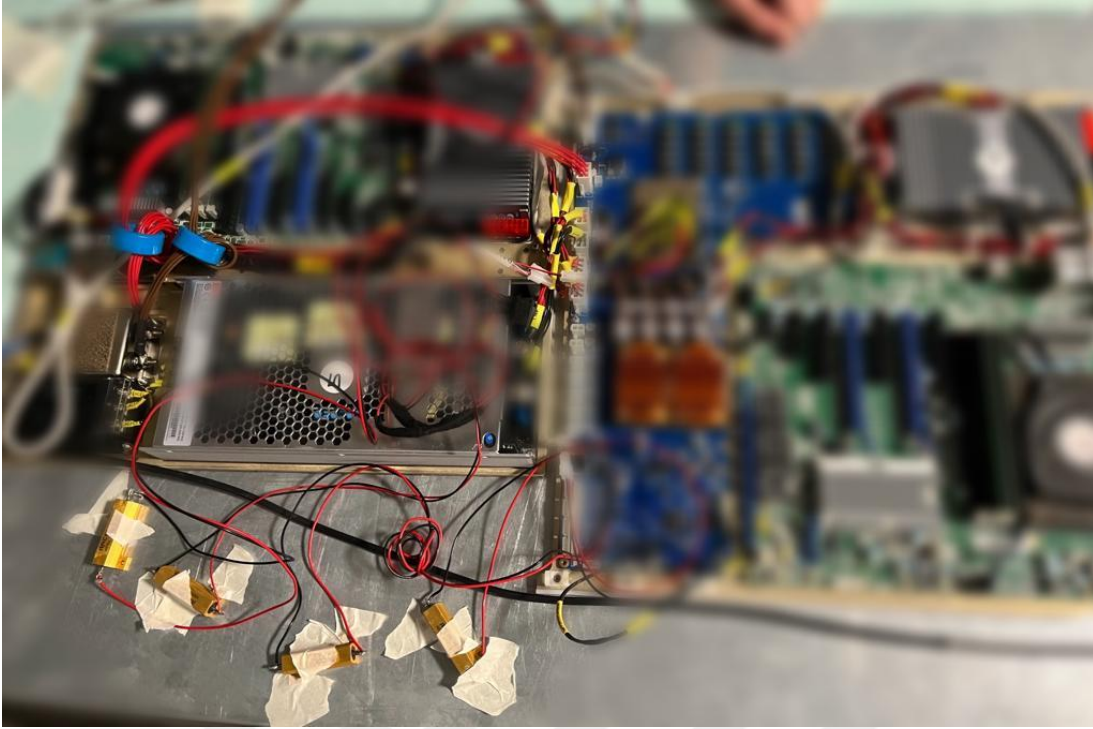


Şekil 3.42. 3.3 μ F kapasitör, 2x100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası ölçüm sonucu.

Bu ölçümden sonra AA çalışma tamamlanmış olup devre şemasının son hali Şekil 3.38’de verilmiştir. Cihazın 28 V DA’da çalışmasına ait gürültü seviyelerindeki iyileştirme çalışmasına devam edilmiştir.

3.2.2. 28 V DA modda yapılan Ar-Ge çalışması ve elde edilen sonuçlar

28 V DA çalışmada, akredite laboratuvarında alınan ilk ölçüm sonuçları Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir. Bu ölçüm sonucuna istinaden laboratuvarında 28 V DA’da Ar-Ge çalışmaları ile, 220 V AA eğrisinden daha düşük seviyede olan 28 V DA temel eğride gerekli iyileştirmeler yapılmıştır. Cihaza daha rahat müdahale edebilmek için cihazın iç kısımlarını açarak Şekil 3.43’te verilen tablalar halinde çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.43. 28 V DA çalışması cihaz görseli.

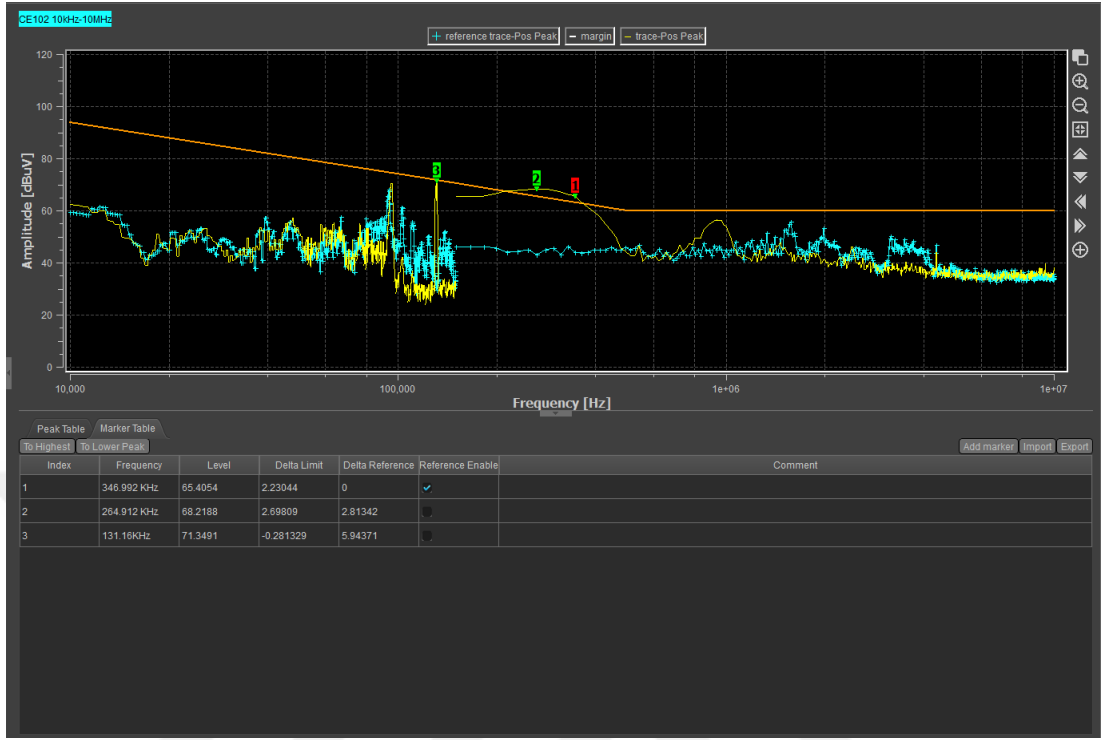
Cihazın normal çalışmadaki gibi mevcut 2 server de aktif edilmiştir. Cihazın + hattından alınan ölçüm sonucu Şekil 3.44'te verilmiştir.



Şekil 3.44. 28 V DA + hattan alınan ölçüm (iki server aktif).

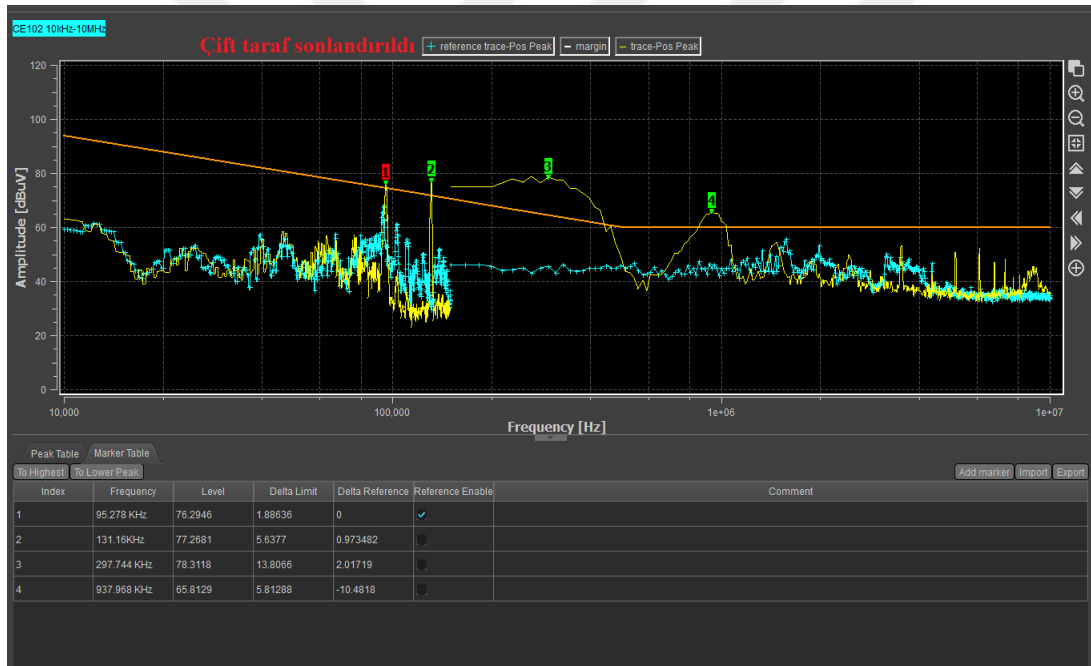
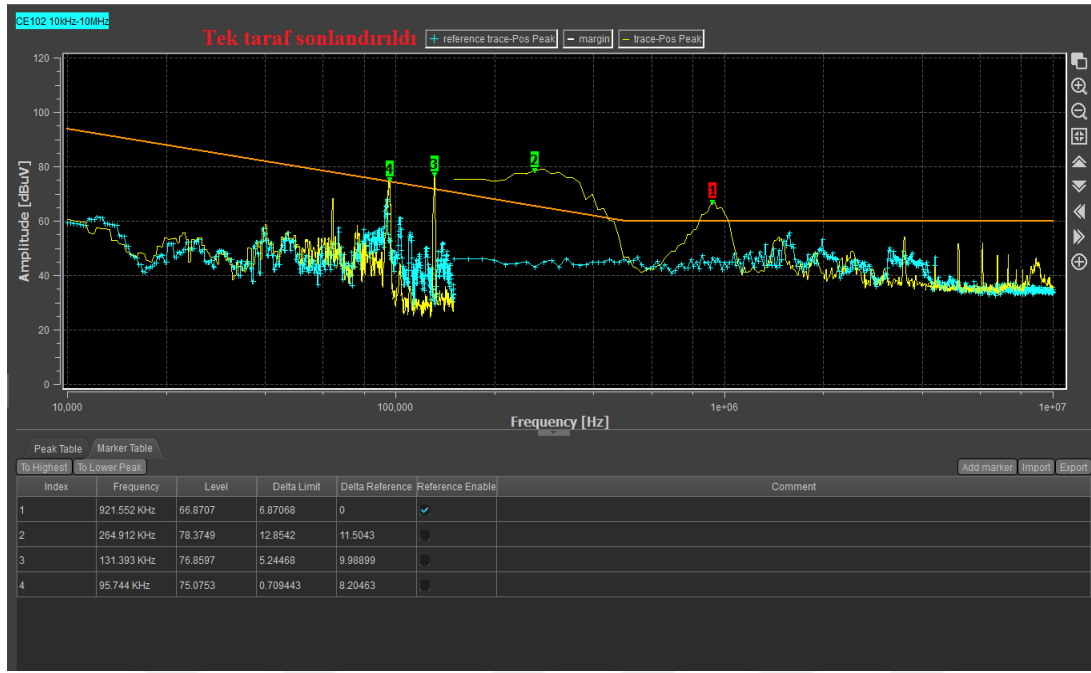
Gürültünün kaynağını tespit etmek amacıyla cihazda bulunun tek server kapatılıp tekrar ölçüm alınmıştır. Gürültü seviyesinde düşüş gözlenmiştir. Problemin

kaynaklarından birinin server olduğu anlaşılmıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.45'te verilmiştir.



Şekil 3.45. 28 V DA + hattın alınan ölçüm (tek server aktif).

28 V DA enerjisini server katlarına taşıyan kablolar ekranlanmıştır. Kablolar tek taraflı ve çift taraflı sonlandırılarak etkisi ayrı ayrı gözlemlenmiştir. Gürültü seviyeleri 95 kHz, 130 kHz, 250 kHz ve 1 MHz frekanslarında çok fazla değişmemiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 3.46'da verilmiştir.



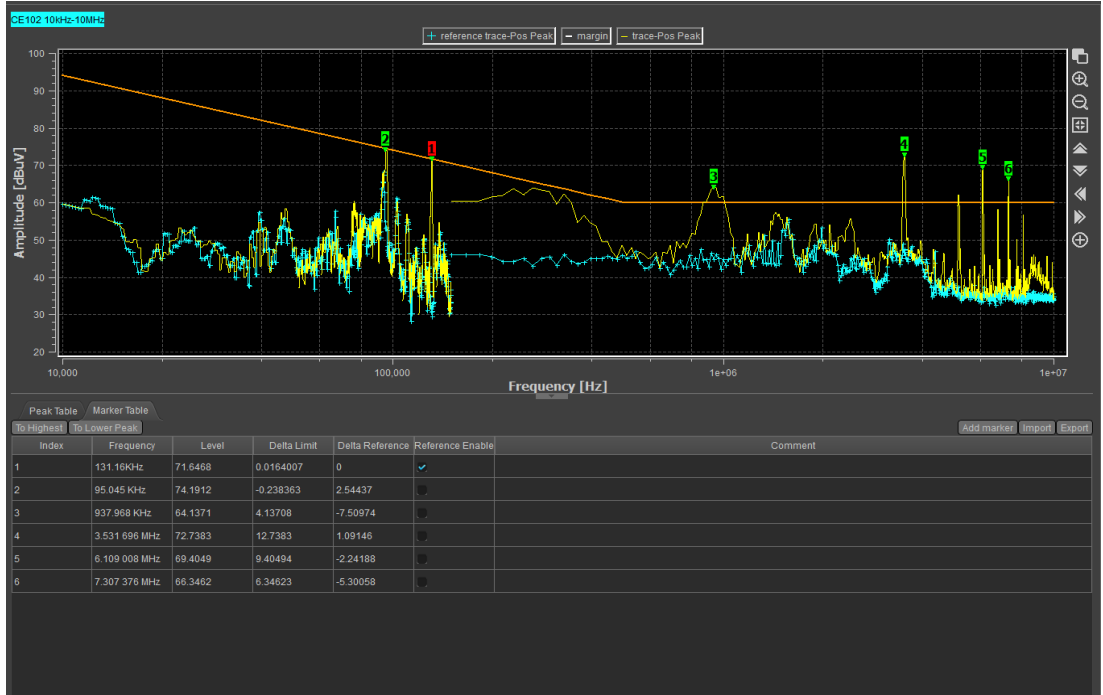
Şekil 3.46. Kablolar ekranlanmış, tek ve çift taraf olarak ayrı ayrı sonlandırılmış ölçüm sonuçları.

DA filtre, kutu dışına alınarak ve topraklaması sökülerek ölçüm tekrarlanmıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.47’de verilmiştir.



Şekil 3.47. Kablo topraklaması sökülüp TDK'nın DA filtresi dışarı alınmış durumdaki ölçüm sonucu.

TDK'nın DA filtresi tamamen sökülüp yerine 4.3 mH CMC takılmıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.48'de verilmiştir. Filtrenin sökülmesi 1-10 MHz frekans aralığında gürültü seviyesini artırmıştır. TDK'nın yüksek frekansa gürültü azaltma etkisi Şekil 3.35'te verilmiştir.



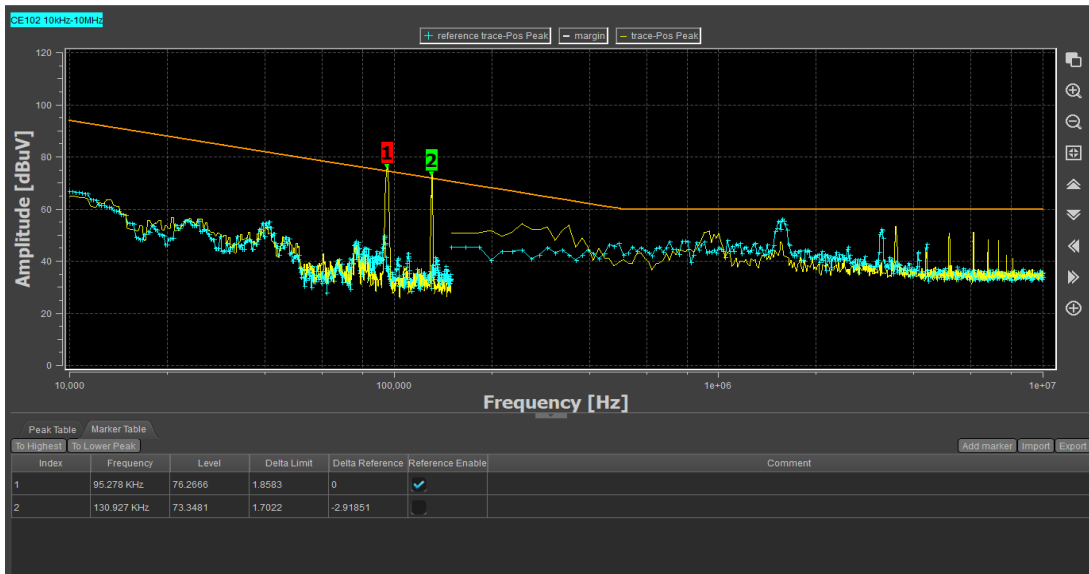
Şekil 3.48. TDK RDEN 4850 DA filtre yerine 4.3 mH CMC takılmış ölçüm sonucu.

Çıkış gürültüsünün TDK filtre tarafından bastırıldığı gözlenmiştir. Güç girişine TDK filtre tekrar eklenmiştir. + ve – hat kabloları nüveye iki tur sarılmıştır. Serverler aktif edilmiş ve yük kaldırılmıştır. CMC olarak CM8663Z161B-10 kodlu laird marka CMC kullanılmıştır. Yüksek frekansta gürültü seviyesinin azaldığı, düşük frekans 130 kHz için 9 dB μ V gürültü seviyesinde ise artış gözlenmiştir. Ölçüm sonucu Şekil 3.49’da verilmiştir.



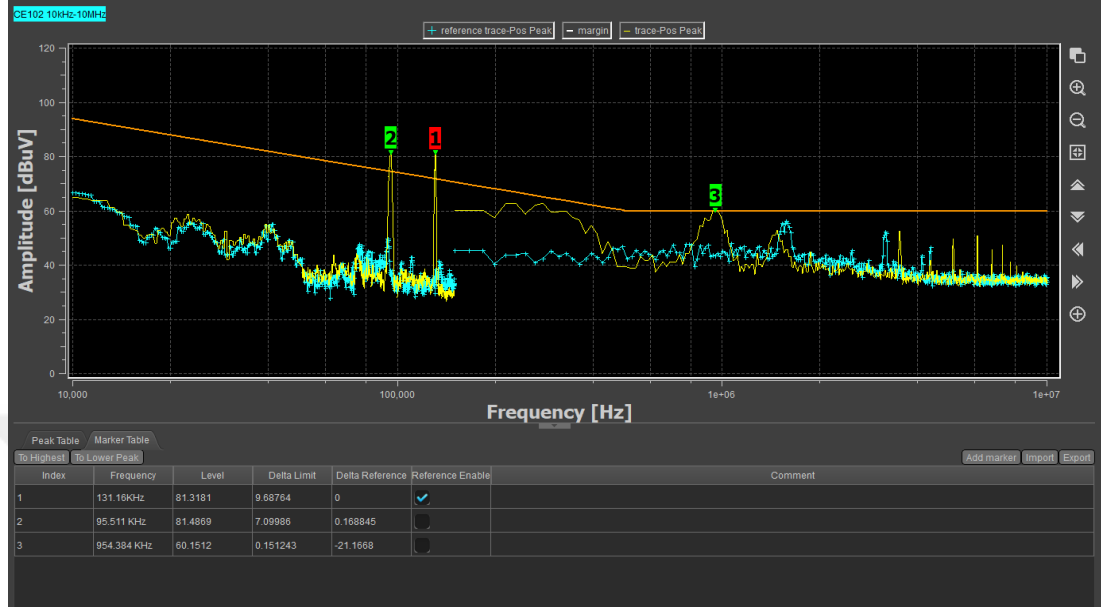
Şekil 3.49. TDK RDEN 4850 DA filtre devreye eklenmiş ve CMC olarak CM8663Z161B-10 kullanılmış durumdaki ölçüm sonucu.

Filtre çıkışına 1.5 μ F kapasitör eklenerek ölçüm tekrarlanmıştır.



Şekil 3.50. TDK DA filtreden sonra 1.5 μ F kapasitör eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.

CM8663Z161B-10 kodlu CMC devreden çıkarılıp o kısım kısa devre yapılmış ve ölçüm tekrarlanmıştır. Bu müdahale gürültü seviyesini artırarak sonuca olumsuz yönde etki etmiştir. Ölçüm sonucu Şekil 3.51’de verilmiştir.



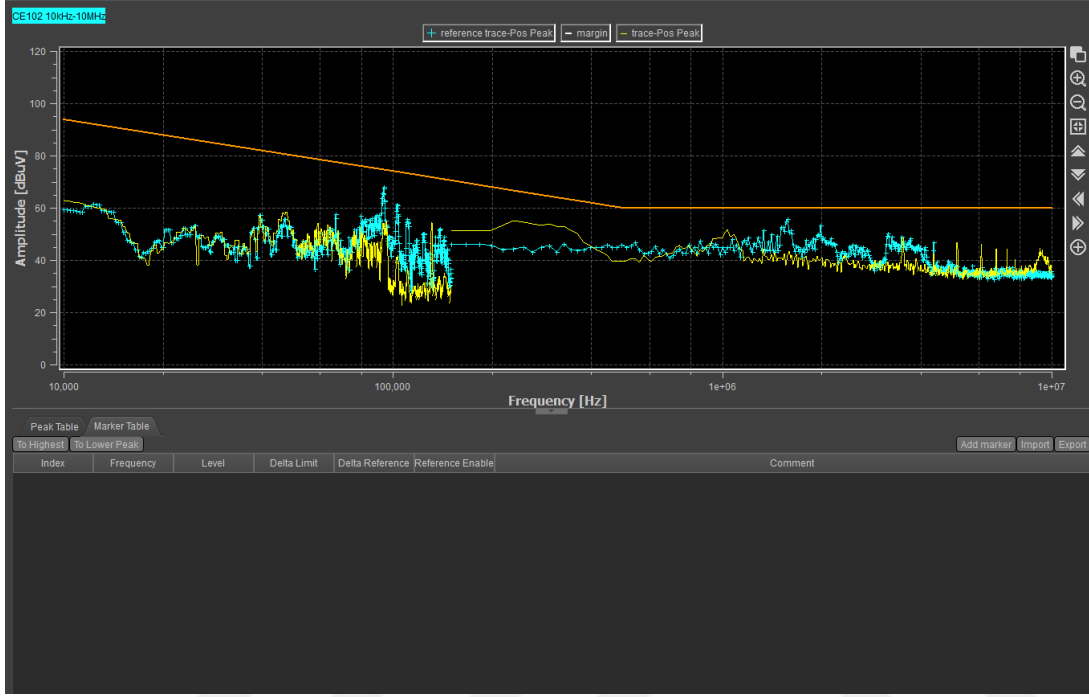
Şekil 3.51. Laird marka CMC devreden çıkarılıp kısa devre yapılmış durumdaki ölçüm sonucu.

Laird marka CMC yerine 4.3 mH CMC eklenerek ölçüm alınmıştır. 130 kHz seviyesindeki gürültü seviyesi 15 dB μ V azalmıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.52’de verilmiştir.



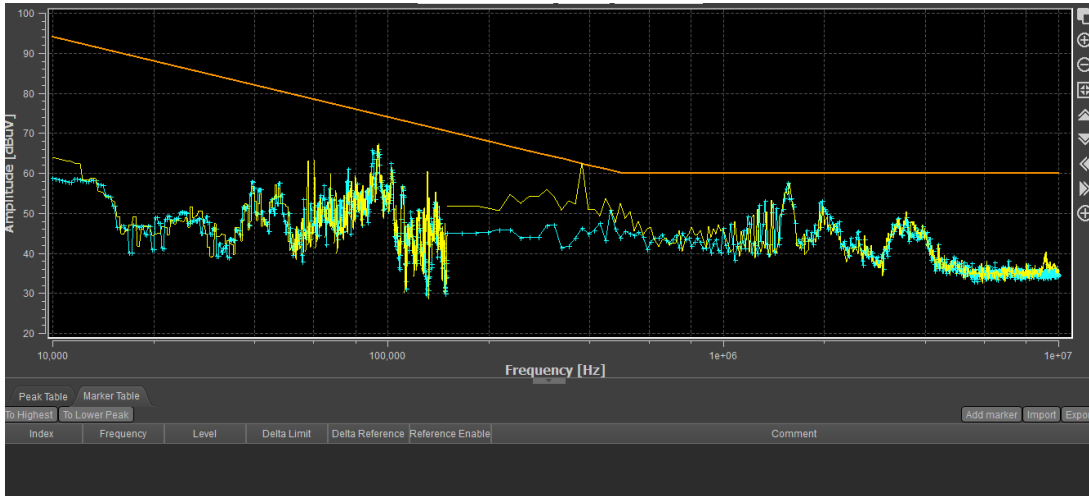
Şekil 3.52. Laird marka CMC devreden çıkarılıp 4.3 mH CMC eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.

2 server de aktif edilmiş ve 4.3 mH CMC'nin yönü değiştirilerek TDK filtresinden önce direk olarak girişe bağlanmıştır. Ölçüm tekrarlanmış ve gürültü seviyesinin limit değerin altında olduğu gözlenmiştir. Ölçüm sonucu Şekil 3.53'te verilmiştir. Bileşenlerin eklendiği yere ait devre şeması Şekil 3.59'da verilmiştir.



Şekil 3.53. Yapılan iyileştirmeler neticesinde limit değerin altındaki ölçüm sonucu.

Bu noktadan sonra tasarım aşamasında boyutsal olarak daha uygun değerdeki CMC ve kapasitörler denenmiştir. Cihaz girişine 1 μ F kapasitör ve 130 mH CMC bağlanmıştır.



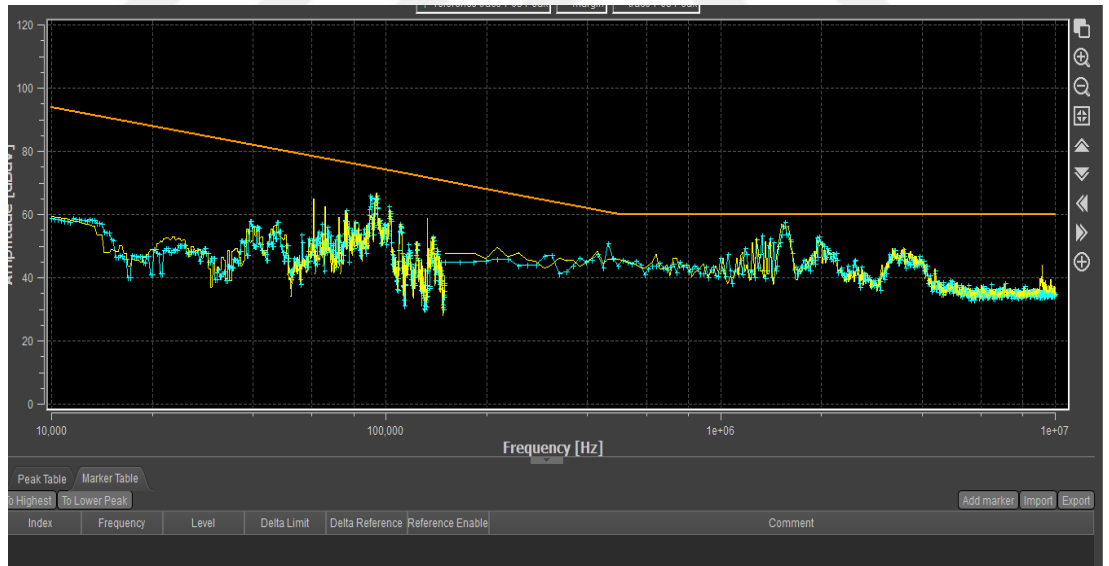
Şekil 3.54. Girişe 1 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.

Cihaz girişine 1 μF kapasitör yerine 3.3 μF kapasitör eklenmiş ve ölçüm tekrarlanmıştır. Şekil 3.55'te verilen ölçüm sonucunda yapılan müdahalenin düşük frekansta gürültü seviyesini azalttığı gözlenmiştir.



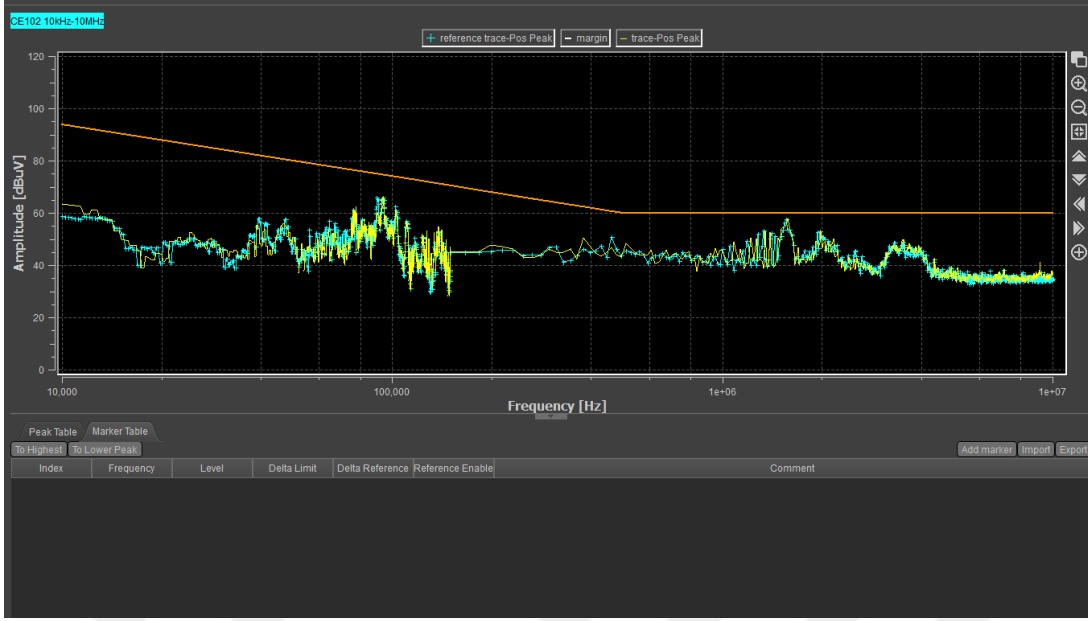
Şekil 3.55. Girişe 3.3 μF kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.

130 mH yerine 1 mH CMC eklenerek ölçüm tekrarlanmıştır. Şekil 3.56'da verilen ölçüm sonucuna göre düşük frekansta gürültü seviyesinin arttığı görülmektedir.



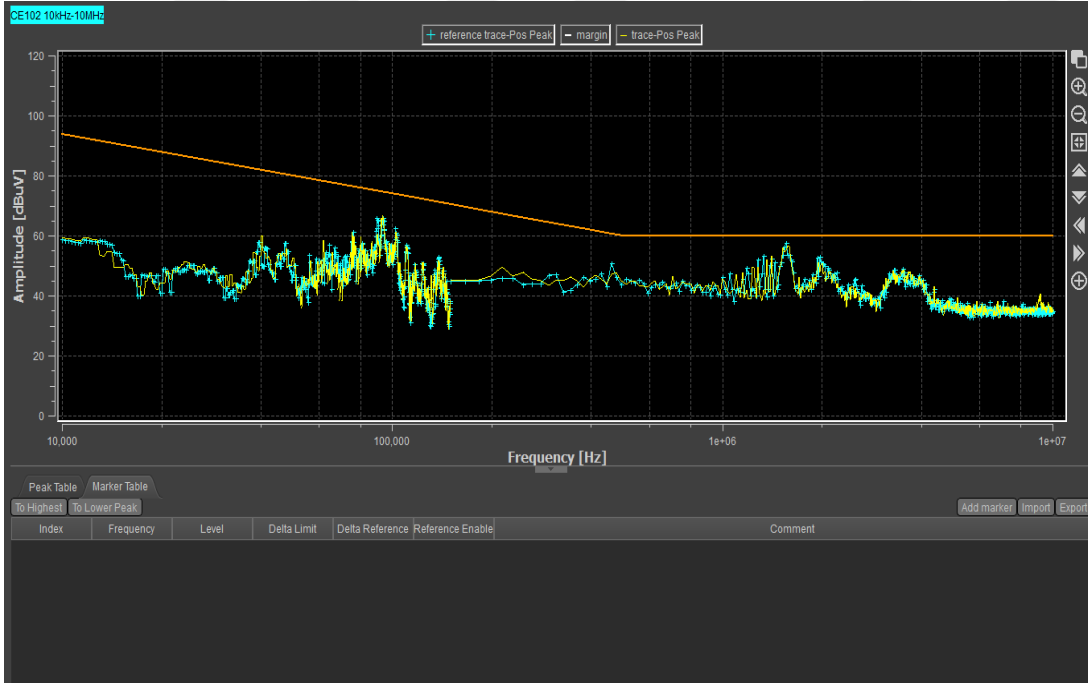
Şekil 3.56. Girişe 3.3 μF kapasitör ve 1 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.

3.3 μF yerine 2.2 μF kapasitör, 1 mH CMC yerine 130 mH CMC eklenerek ölçüm tekrarlanmıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.57'de verilmiştir.



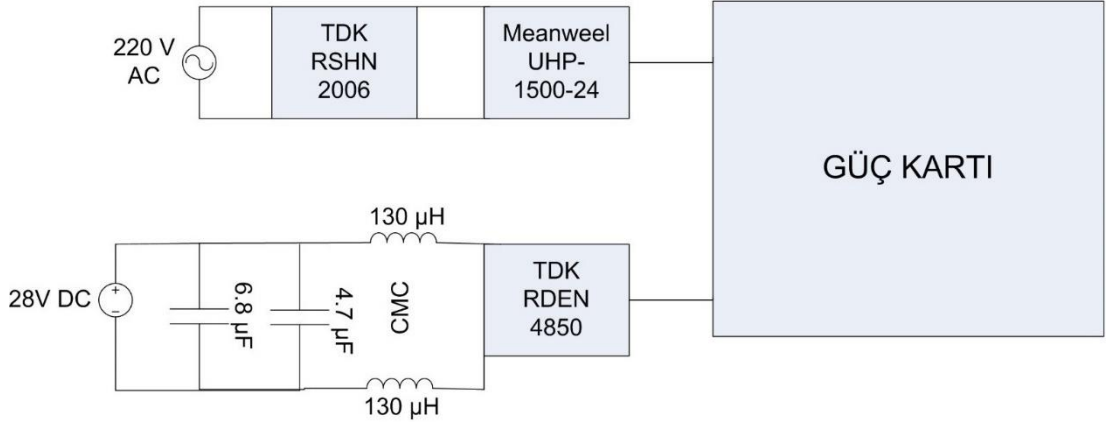
Şekil 3.57. Girişe 2.2 μF kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.

Daha etkin gürültü bastırdığı için 2.2 μF kapasitör yerine 4.7 μF kapasitör kullanılmıştır. Cihazın iç yapısındaki tablalar ayrı olarak alınan son ölçüm Şekil 3.58’de verilmiştir. Gürültü seviyesinin sınır seviyenin altında olduğu ve cihazın testi başarılı bir şekilde geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 3.58. Girişe 4.7 μF kapasitör ve 130 mH CMC eklenmiş ölçüm sonucu.

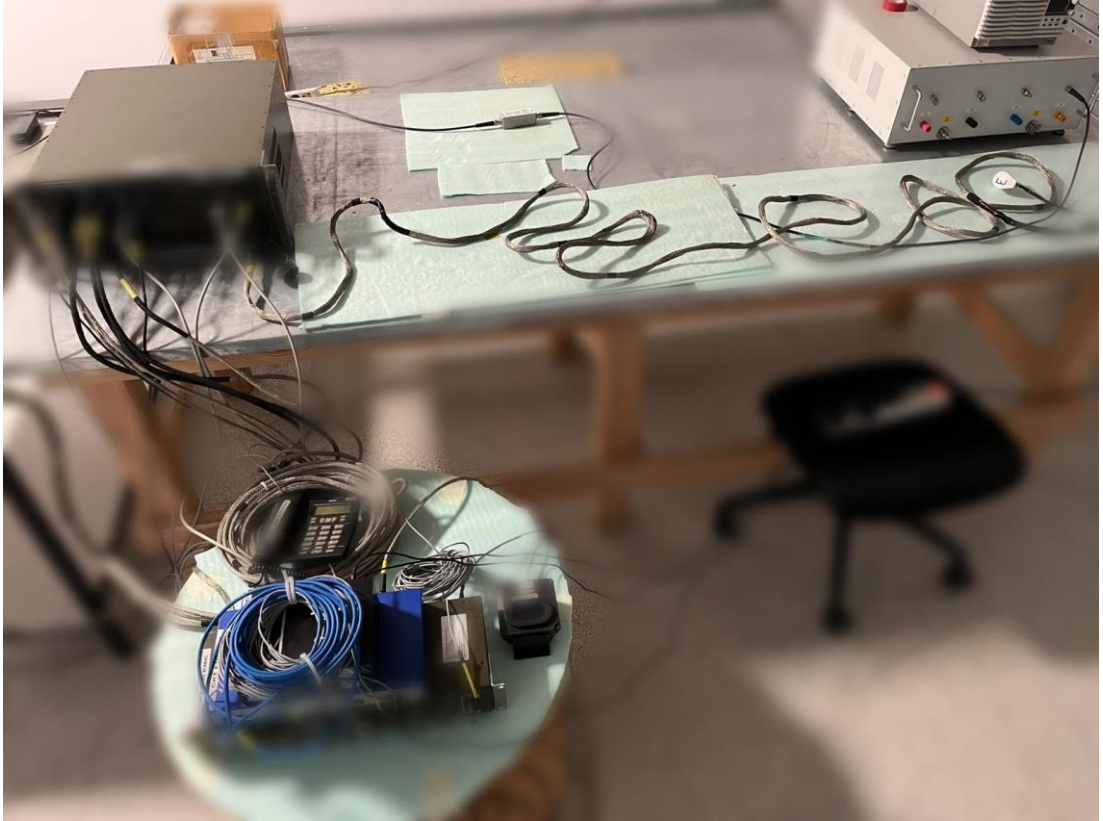
28 V DA Filtre



Şekil 3.59. 28 V DA filtre eklenen bileşenler ve yerleri.

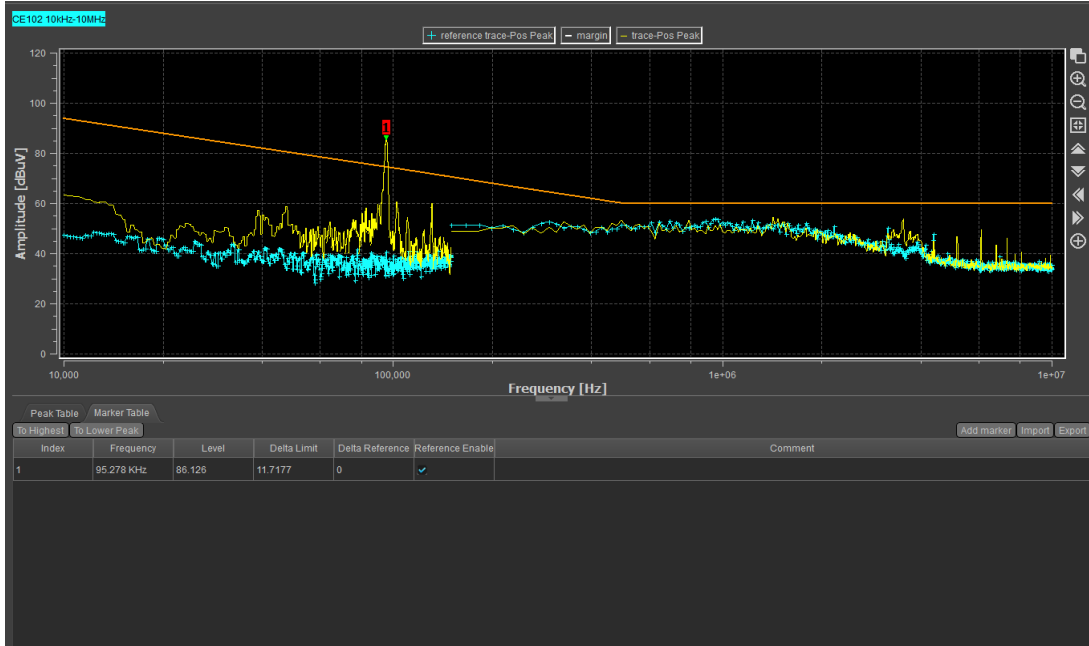
3.2.3. Cihaz toplandıktan sonra AA ve DA modda alınan ölçümler

Cihaz kutu haline getirildikten sonra alınan ölçümlerde 100kHz için gürültü seviyesi sınır seviyesinin üzerine çıkmıştır. Cihazın son haline ait görsel Şekil 3.60'da verilmiştir.



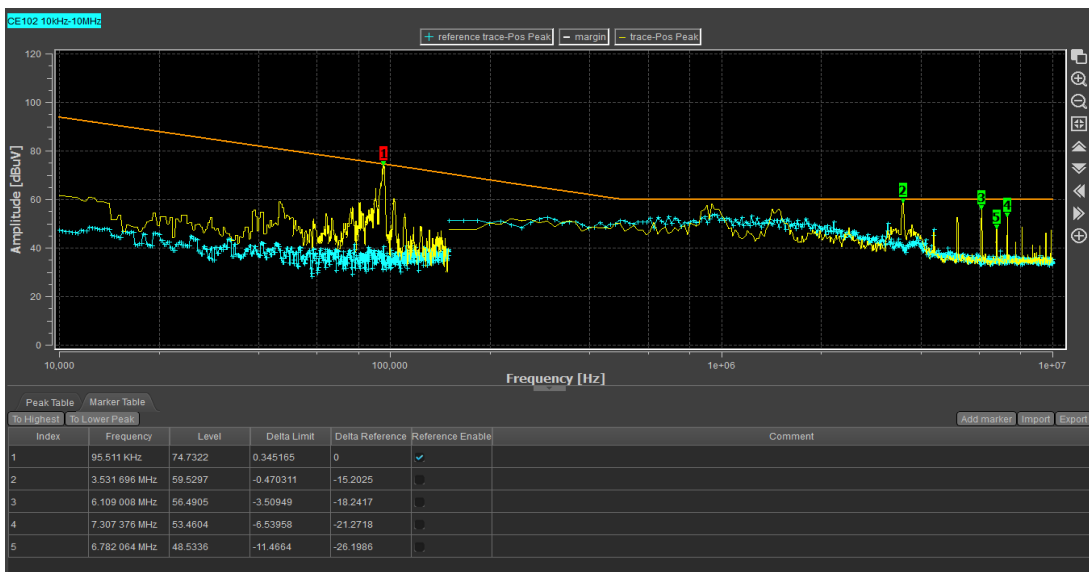
Şekil 3.60. Kapalı kutu cihaz görseli.

Cihaz kapatılıp kablolar içeriye alındıktan sonra 95 kHz gürültü seviyesi sınır değerinin 11 dB μ V üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Ölçüm sonucu Şekil 3.61’de verilmiştir.



Şekil 3.61. DA modda kutu kapalıyken alınan ölçüm sonucu.

Şekil 3.59’da verilen devre şemasında 4.7 μ F kapasitör yerine 6.8 μ F bir kapasitör eklenmiştir. Yapılan bu müdahalenin gürültü seviyesini sınır seviyesinin altına indirdiği gözlenmiştir. Şekil 3.62’de alınan ölçüm sonucunda kapasiteyi artırmanın olumlu etki ettiği görüldüğü için kapasitörler paralel yapıp eklenmiştir.



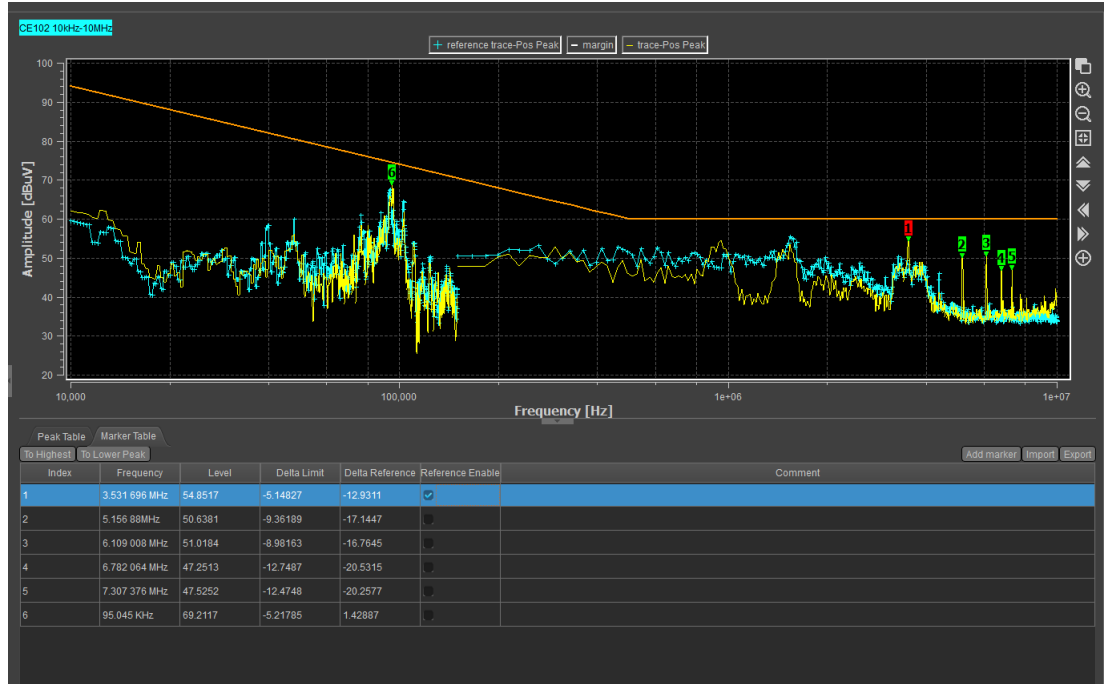
Şekil 3.62. DA modda 4.7 μ F kapasitör yerine 6.8 μ F kapasitör eklenmiş ölçüm sonucu.

4.7 μF 'lık kapasitör, 6.8 μF kapasitöre paralel olarak devreye tekrar eklenmiştir. Ölçüm sonucu Şekil 3.63'te verilmiştir. Gürültü seviyesinin sınır değerin altında olduğu gözlenmiştir.



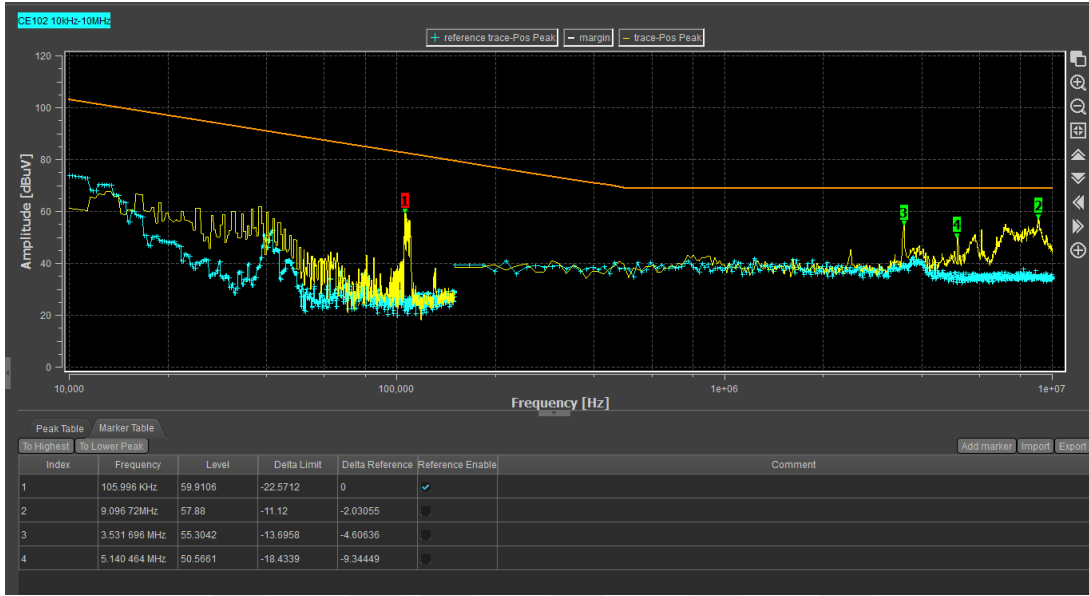
Şekil 3.63. DA modda 4.7 μF ve 6.8 μF değerinde kapasitörler paralel olarak eklenmiş durumdaki ölçüm sonucu.

Cihaz tam yükte çalıştırılarak ölçüm tekrarlanmıştır. Cihaz DA modu başarılı bir şekilde tamamlamıştır.



Şekil 3.64. DA modda 4.7 μF ve 6.8 μF değerinde kapasitörler paralel olarak eklendiği durumda ve tam yükteyken alınmış ölçüm sonucu.

Kapalı kutu olarak AA modda alınan ölçümde herhangi bir sıkıntı ile karşılaşılmamıştır. Ölçüm sonucu Şekil 3.65'te verilmiştir.



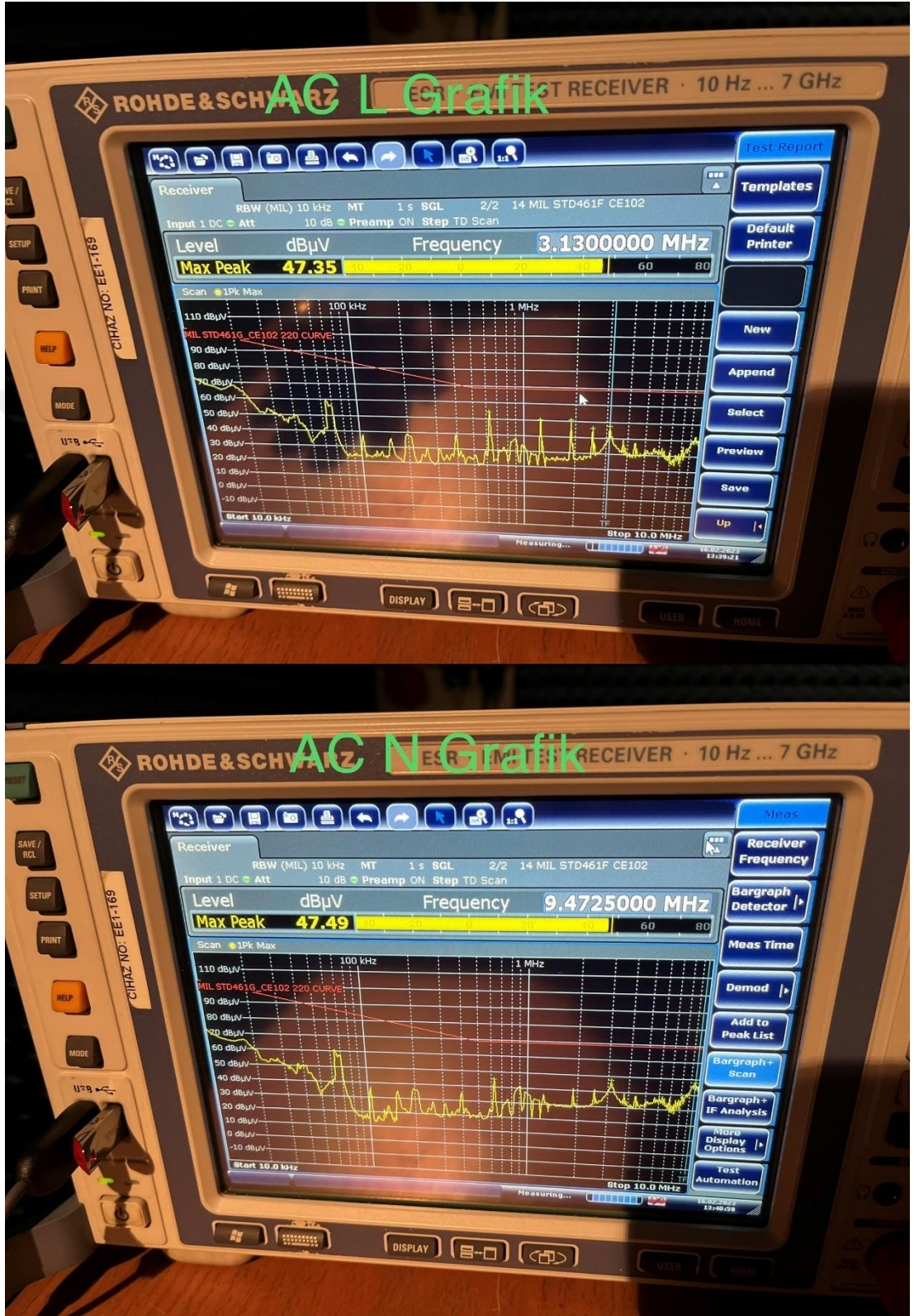
Şekil 3.65. AA modda tam yük durumunda elde edilen ölçüm sonucu.

Ölçümlerden sonra akredite laboratuvarda alınan ölçümlerde cihaz CE testini başarılı bir şekilde tamamlamıştır. Test düzeneği Şekil 3.66'da verilmiştir.



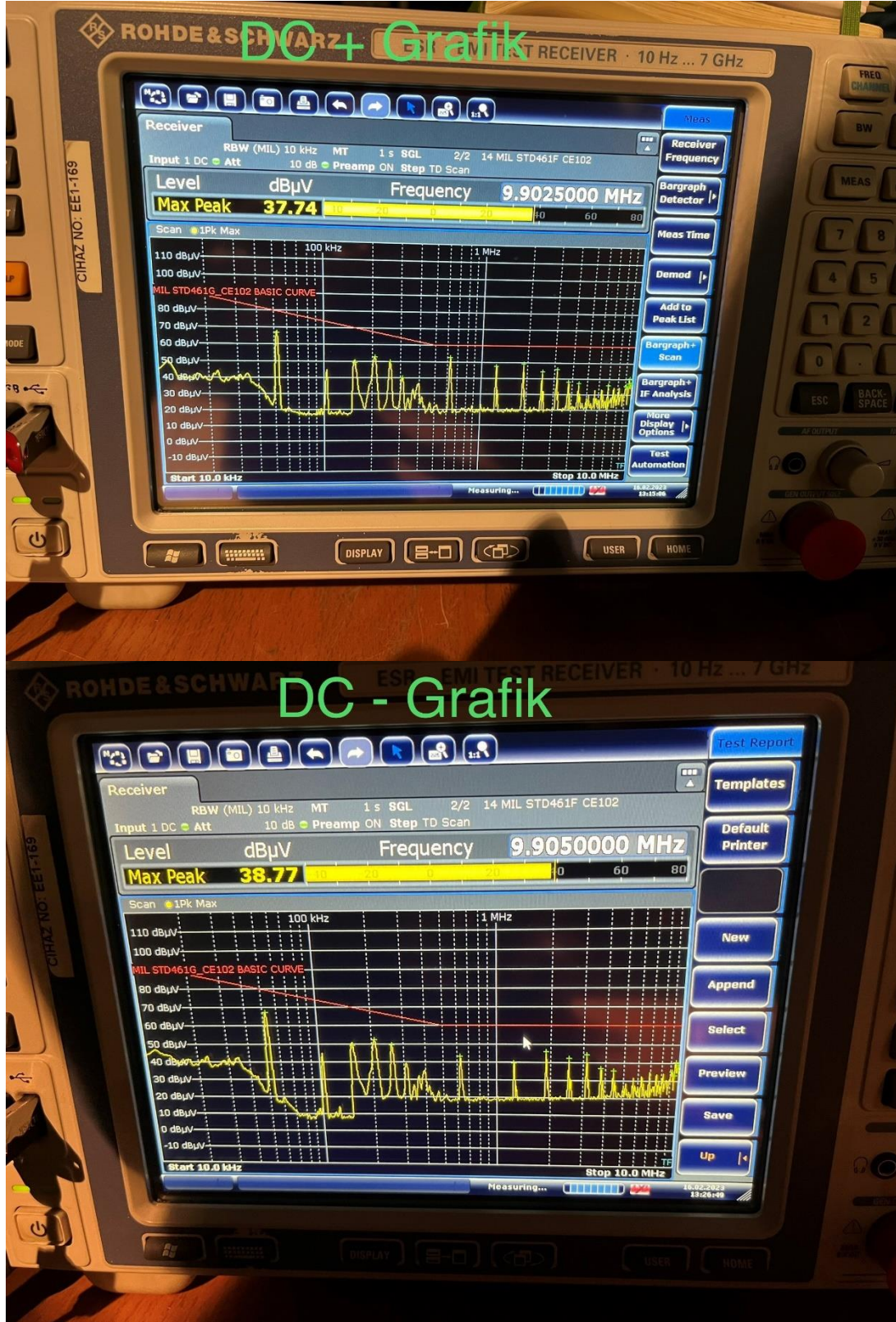
Şekil 3.66. Akredite laboratuvar test düzeneği.

Akredite laboratuvarda alınan ölçüm sonuçları 220 V AA için Şekil 3.67’de verilmiştir.



Şekil 3.67. AA modda faz ve nötr hattı ölçüm sonuçları.

28 V DA modda alınan ölçüm sonuçları Şekil 3.68’de verilmiştir.



Şekil 3.68. DA modda + ve – hattan alınan ölçüm sonuçları.

4. SONUÇ

EMI/EMC, elektronik cihazların ve sistemlerin güvenilirliğini, uyumluluğunu ve çevresel etkileri kontrol etmek için önemli bir yere sahiptir. EMC testleri ve standartları, elektronik ürünlerin tasarımından üretimine kadar her aşamada dikkate alınmalıdır. Bir cihaz standart sınır değerinin üzerinde bir gürültüye sahipse, gürültüyü bastırmak için sırasıyla izlenmesi gereken yollar vardır. Bunlar maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır.

- Mevcut ölçümlerin yapılacağı ortamda herhangi bir parazitin olup olmadığı kontrol edilir ve ortamın parazit içermediğinden emin olunur.
- Test düzeneği ve sistemin düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.
- Ölçüm almadan önce standartta belirtilen bant genişlikleri, tarama süreleri, ölçüm alıcısının dedektörünün standartta uygunluğu kontrol edilir.
- Yüksek genlikli gürültülerin ölçüm alıcısına zarar vermesini engellemek için kullanılan 20 dB zayıflatma değeri her ölçüm için gürültü genliğine tekrar eklenir.
- LISN enerjilendirilir ve yük yokken ölçüm alınır.
- Cihazın güç kablosu cihaza bağlanmadan LISN'a bağlanır ve ölçüm alınıp ortam gürültüsü kontrol edilir.
- Cihaza güç kablosu bağlanıp enerji verilir ve gürültü olup olmadığı kontrol edilir.
- Cihazdan yayılan gürültüye göre öncelikle cihazın iç yapısında kullanılan hazır bir güç kaynağı olup olmadığı kontrol edilir.
- Hat toprak arasına kapasitör paralel olarak bağlanır. Olumlu bir etki olursa kapasitörün değeri attırılır. Cihaza gelen toprak hattı yoksa kapasitör hat-hat arasına paralel olarak bağlanabilir. Kapistör değerini attırmak da etki etmezse kapasitöre seri olarak şok bobin bağlanabilir. Gürültü seviyesine göre şok bobin değeri artırılıp azaltılabilir.
- Gürültüler genel olarak hazır güç devrelerinden kaynaklanmaktadır. Uygun kapasitör ve şok bobini kullanarak özel filtreler tasarlanabilir.
- Gürültünün frekans değeri ve seviyesine göre uygun bileşenler veri sayfalarından kontrol edilip devreye eklenerek ölçüm sonuçlarına etkisi kontrol edilebilir.

- Gürültü seviyesine göre uygun hazır filtreler kullanılarak da gürültü seviyesi bastırılabilir.

Bu tez çalışmasında, MIL-STD-461 G standardı CE102 testi doğrultusunda elektromanyetik girişim ve elektromanyetik uyumluluk konuları hakkında bir inceleme ve farklı çalışma gerilimine sahip iki askeri cihazın gürültü seviyelerine göre çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu iki cihazın çalışma gerilimine göre temel eğriler seçilip standarta uygun şekilde ölçümler alınmıştır. Elde edilen ölçümlerdeki gürültü seviyelerinin frekans değeri ve büyüklüğüne göre farklı tip ve boyutlarda bileşenler kullanılarak bileşenlerin gürültü seviyesine olan etkisi ölçüm sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Emisyon seviyesini azaltmak için ekranlama, filtreleme, topraklama gibi yöntemlerden de yararlanılmıştır. Kullanılan her bir yöntem ve bileşenin hangi frekans aralığında ne kadar etkili olduğu ölçüm sonuçlarıyla desteklenerek anlatılmıştır.

İlk projede, 28 V DA-DA dönüştürücünün gürültü seviyesinin düşük frekansta 120 kHz civarında, yüksek frekansta ise 4-10 MHz frekans aralığında ve sınır değer in ortalama 20 dB μ V üzerinde olduğu gözlenmiştir. Yapılan ekleme ve iyileştirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Gürültü ölçümlerinde gürültü 10 MHz'den düşük frekanslarda baskın hale geldiği için düşük frekanslarda etkili olan yüksek manyetik geçirgenliğine (μ) sahip manganez-çinko (Mn-Zn) malzemeli nüve tercih edilmiştir.
- Yüksek frekansta gürültü seviyesini azalttığı için LISN tarafına bir nüve ve CMC bağlanmıştır. Bu sayede gürültü seviyesi yaklaşık olarak 20 dB μ V azaltılmıştır.
- Farklı tip ve boyutlarda kapasite ve bobin kullanarak elde edilen LC filtreler ile giriş ve çıkıştaki gürültü seviyesi büyük oranda azaltılmıştır.
- Topraklama etkisini artırmak için giriş konnektörü alüminyum bant ile masa üzerinden toprağa bağlanmış ancak bu proje için bir etkisi olmamıştır.
- Güç giriş kablolarının bulunduğu kısma metalik kapak eklenerek oluşabilecek gürültülerin bulunduğu ortama hapsedilmesi sağlanmıştır.
- Güç giriş konnektörünün faz-toprak hattı arasına içerisinde X ve Y kapasitörleri barındıran Quell marka EMI filtre bağlanmıştır. Yapılan bu eklemenin, yüksek frekanstaki gürültü seviyesini sınır seviyenin altına indirdiği gözlemlenmiştir.

- Yukarıda belirtilen eklemelerden sonra + giriş/toprak ve - giriş/toprak arasına bir adet daha paralel olarak 3.3 μ F kapasitör bağlanmış ve gürültü seviyesi sınır seviyenin çok daha altına indirilmiştir.

Yukarıda verilen müdahaleler ile cihaz CE102 testini başarılı bir şekilde geçmiştir.

Bu tezde ikinci proje olarak SHS'nin 220 V AA ve 28 V DA çalışma gerilimleri için gürültü seviyesini azaltma çalışması yapılmıştır.

220 V AA çalışmasında alınan ölçümlerde düşük frekanslarda gürültü seviyesinin sınır değerinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Aşağıda maddeler halinde verilen müdahaleler ile gürültü seviyesi, 100 kHz seviyesinde yaklaşık 20 dB μ V, 10 kHz - 100 kHz aralığında ise ortalama 40 dB μ V düşürülmüştür:

- Güç girişinde kullanılan TDK filtresi düşük frekansta gürültünün etkin bir şekilde azalmasını sağlamıştır.
- TDK filtresi ile güç kaynağı arasına sırası ile 6.8 μ F, 3.3 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlanmış ve gürültü seviyesi sınır seviyenin altına indirilmiştir.
- En ideal gürültü seviyesi, devre şeması Şekil 3.38'de verilen 3.3 μ F kapasitör, 2x100 μ H bobin, 6.8 μ F, 4.7 μ F kapasitör ve 15 mH CMC bağlantısı sonrası elde edilmiştir.

28 V DA çalışmasında ise cihazın 40 kHz, 100 kHz, 150 kHz, 2 MHz ve 3 MHz frekans değerlerinde sınır seviyenin üzerinde olduğu görülmüştür. Yapılan eklemeler ve iyileştirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- TDK filtresi 1-10 MHz frekans aralığında gürültü seviyesini sınır seviyenin altına indirmiştir.
- 130 kHz seviyesindeki gürültü için farklı CMC'ler kullanılmış ancak en olumlu sonuca 4.3 mH CMC kullanıldığında ulaşılmış ve bu sayede gürültü seviyesi 15 dB μ V azalmıştır.
- Cihaz girişine, ölçüm sonuçları paylaşılmış farklı tip ve boyutlarda kapasitör ve CMC eklenmiştir. En ideal sonuç girişe 4.7 μ F kapasitör ve 130 mH CMC eklendiğinde elde edilmiştir, gürültü seviyesi sınır seviyenin altına indirilmiştir.
- Cihaz kutulanıp tekrar ölçüm alındığında ise 100 kHz'de sınır seviyenin 10 dB μ V üzerinde bir gürültü gözlemlenmiş ve bu nedenle devre şeması Şekil 3.59'da verildiği gibi 4.7 μ F kapasitöre paralel bir 6.8 μ F kapasitör daha eklenmiştir.

Yukarıda açıklanan eklemeler ile cihaz CE102 testini başarılı bir şekilde geçmiştir. Bu çalışmada kullanılan filtrelerin devre şemaları Şekil 3.38 ve Şekil 3.59'da verilmiştir. Bu devrelerde kullanılan bileşenler aşağıdaki gibidir:

- AC Filtre:

3.3 μ F kapasitör, 100 μ H bobin (Faz ve Nötr için 1'er adet), 6.8 μ F kapasitör, 15mH CMC ve 4.7 μ F kapasitör

- DC Filtre:

6.8 μ F ve 4.7 μ F (paralel yan yana 2 ayrı kapasite), 130 μ H CMC kullanılmıştır.

Sonuç olarak, emisyon çalışması yapılırken sistem doğrulanır ve daha sonra kapasitör kullanılarak gürültü seviyesine etkisi incelenir. Kapasitörler düşük frekanslarda etkin bastırma sağlar. Kapasitörün değerini artırmak daha etkin bir gürültü bastırma sağlar. Düşük frekanslarda etkili olan yüksek manyetik geçirgenliğine sahip manganez-çinko (Mn-Zn) malzemeli nüve tercih edilebilir. İletilen gürültünün azaltılmasında genellikle Mn-Zn nüveler kullanılırken ışıyan (radiated) gürültünün zayıflatılmasında ise nikel-çinko (Ni-Zn) nüveler tercih edilir. Yüksek frekanslardaki gürültüler için CMC kullanılabilir. AA ve DA ile çalışan cihazların emisyon testi uygulamalarında hazır filtreler kullanarak da belirli frekanslardaki gürültüler bastırılabilir.

Yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemlerin ve her bir bileşenin gürültü seviyesine olan etkisi ayrı ayrı ölçüm sonuçları eşliğinde verilmiştir. Yapılan araştırmada elde edilen sonuçların askeri cihazlar üzerine veya farklı standartlarda EMI/EMC çalışması yapacak araştırmacılara yardımcı olması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, H. Ç. (2014). *Elektromanyetik Girişim Süzgeç Tasarımı*. Gazi Üniversitesi.
- Azgin, I., Inan, A., Celiktas, S., Acar, K. B., Taplamacioglu, M. C., & Demirci, M. (2022). EMI Filter Design with Passive Components for Power Lines. *HORA 2022 - 4th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/HORA55278.2022.9799967>
- Cadirci, I., Saka, B., & Eristiren, Y. (2005). Practical EMI-filter-design procedure for high-power high-frequency SMPS according to MIL-STD 461. *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, 152(4), 775. <https://doi.org/10.1049/ip-epa:20045079>
- Çevik, Ö. (2021). *Binek Araçların Sinyal Lambalarının Sürücü Devre Kartlarında Elektromanyetik Girişim Analizi ve Optimizasyonu*. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Cinar, S., Kozan, M. D., & Usta, E. (2019). Mitigation of electromagnetic emissions for military ground subsystem. *2019 5th International Electromagnetic Compatibility Conference, EMC Türkiye 2019*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EMCTurkiye45372.2019.8976004>
- Corporation, C., & Port, M. (2010). *Why So Many Different Types of LISNs AN-105LISN*. https://www.com-power.com/uploads/technote/Why_so_many_types_of_LISNs.PDF
- Department of Defence, U. (2015). *MIL-STD-461G-Requirements for the control of Characteristics of subsystems and Electromagnetic interference Equipment* (Issue March). <https://interferencetechnology.com/wp-content/uploads/2015/04/461G.pdf>
- Doerry, N., & Jr, J. V. A. (2022). Conducted Emissions in DC Power Systems. *Naval Engineers*, 134, 91–99.
- Golubovich, D. A., & Chermoshentsev, S. F. (2021). Virtual Research According to Electromagnetic Compatibility Requirements by Emission of Conducted Transients from Electronic Equipment. *Proceedings - ICOECS 2021: 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems*, 367–371. <https://doi.org/10.1109/ICOECS52783.2021.9657344>
- Hamamci, S. E., Demirkutlu, E., Karagöz, Ö., Işık, M., & Yıldız, muhammet tarık. (2020). DC-DC Dönüştürücüler için EMI Filtre Tasarımı EMI Filter Design for DC-DC Converters. *ResearchGate, December*, 71–75.
- Kataria, C. Y., Fenn, A. J., Chapman, A. J., & Hurst, P. T. (2021). Electromagnetic Interference Measurements at the MIT Lincoln Laboratory RF Systems Test Facility†. *2021 Antenna Measurement Techniques Association Symposium, AMTA 2021*, 18–23. <https://doi.org/10.23919/AMTA52830.2021.9620616>
- Kazancı, M. (2010). Elektromanyetik Uyumluluk Testleri ve Örnek Bir Uygulama. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 7(2), 114.

- Lemmon, A. N., Brovont, A. D., New, C. D., Nelson, B. W., & Deboi, B. T. (2020). Modeling and Validation of Common-Mode Emissions in Wide Bandgap-Based Converter Structures. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(8), 8034–8049. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2019.2963883>
- Li, C., von Jouanne, A., Oriti, G., Julian, A., Agamloh, E., & Yokochi, A. (2022). GaN Four-leg Inverter Implementing Novel Common Mode Elimination using a Hardware-in-the-loop System-Level Controller. *2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2022*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ECCE50734.2022.9948030>
- McGrew, T., Sysoeva, V., Cheng, C. H., Miller, C., Scofield, J., & Scott, M. J. (2022). Condition Monitoring of DC-Link Capacitors Using Time-Frequency Analysis and Machine Learning Classification of Conducted EMI. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(10), 12606–12618. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3135873>
- Meng, J., Zhang, X., Zhang, L., & Zhao, Z. (2019). Time-domain low-frequency non-periodic transient EMI measurement system. *IET Science, Measurement and Technology*, 13(5), 650–655. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2018.5430>
- Mil-Std-461 G Interface Requirements Control Interference. (2015). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
- Mouser. (2010). *A Basic Overview of EMI Shielding Techniques & Concepts*. https://www.mouser.com/pdfDocs/abasicoverviewofemishieldingtechniquesconcepts_mouser.pdf/ adresinden 20 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.
- Nguyen-Tat, N., Nguyen-Xuan, L., & Nguyen, T. (2021). A Cost-Effective High-Performance Conducted Emission Test Solution to Comply with MIL-STD-461F/G Standard. *Proceedings - 2021 8th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science, NICS 2021*, 435–439. <https://doi.org/10.1109/NICS54270.2021.9701470>
- Omollo, N., Vogt-Ardatjew, R., Van Der Ven, J. K., & Leferink, F. (2022). Electromagnetic Interference Risk Assessment for the Use of LED Lights on Board of Ships. *2022 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal/Power Integrity, EMCSI 2022*, 589–593. <https://doi.org/10.1109/EMCSI39492.2022.9889312>
- Önal, E. (2010). *Paralel Bağlı DA/DA Çeviriciler İçin CE102 Gereksinimine Uyumlu Elektromanyetik Girişim Süzgeci Tasarımı*. Hacettepe Üniversitesi.
- Öztürk, B. M. (2012). Emi ve Emc. *EMO*, 162–181. https://www.emo.org.tr/ekler/418dfec21acdadb_ek.pdf
- Park, S. M., Jang, E. S., Koo, G. W., Ahn, H. M., & Lee, B. K. (2019). Design and Implementation of 30-W DC-DC Converter with High Reliability and Temperature Characteristics for Military Applications. *ICPE 2019 - ECCE Asia - 10th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, 2424–2429. <https://doi.org/10.23919/icpe2019-ecceasia42246.2019.8797097>
- Perdikakis, W., Scott, M., Yost, K. J., Miller, C., & Scofield, J. (2021). Conducted EMI Modeling and Evaluation of Si and SiC devices on Aerospace Machine. *2021 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2021*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEMDC47953.2021.9449584>

- Rahimi, A., & Kanzi, K. (2020). High-frequency modelling of permanent magnet synchronous motor for conducted EMI studies. *IET Electric Power Applications*, 14(11), 2101–2110. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2019.0773>
- Sevgi, L. (2000). *Elektromanyetik Kirlilik, Türkiye’de durum ve öneriler. Elektromanyetik Kirlilik, Türkiye’de Durum ve Öneriler.* https://bbm.emo.org.tr/genel/dosyagoster.php?_kontrolkod_=MTQ3N2U5ZTM3OTE3NDdmZGFmNWE3YzQzZGFmYWM3YjU=
- Sozer, Y., & Torrey, D. A. (2010). Meeting MIL-STD-461 for 2KW military tactical generator drive system. *2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010 - Proceedings*, 942–946. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5617889>
- Talvistu, S. (2019). *EM emissions test platform implementation for satellite electric propulsion systems and electronic subsystems.* LULEÅ University of Technology Kiruna, Sweden.
- Yazdani, M. R., Farzanehfard, H., & Faiz, J. (2011). Classification and comparison of emi mitigation techniques in switching power converters - A review. *Journal of Power Electronics*, 11(5), 767–777. <https://doi.org/10.6113/JPE.2011.11.5.767>
- Yazdani, M. R., & Farzanehfard, M. (2019). Evaluation and Comparison of Conducted EMI in Three Full-Bridge DC-DC Switching Converters. *2019 10th International Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference, PEDSTC 2019*, 439–444. <https://doi.org/10.1109/PEDSTC.2019.8697825>
- Yiğit, G. (2022). *Buck Tipi DC/DC Dönüştürücüler İçin Emi Filtre Tasarımı Ve Uygunluk Ölçümleri.* Konya Teknik Üniversitesi.
- Zhao, X., Hu, J., Ravi, L., Dong, D., Burgos, R., Chandrasekaran, S., & Eddins, R. (2022). Planar Common-Mode EMI Filter Design and Optimization for High-Altitude 100-kW SiC Inverter/Rectifier System. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10(5), 5290–5303. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2022.3144691>



EKLER

EK A. 28 V DA-DA Dönüştürücüye Ait Ekler

EK A1. 399-ESD-R-57S-ND ferit nüve

EMI Cores

ESD-R Toroidal Cores for Round Cables for Low & High Frequency (Bare, coated & with case)



Overview

The KEMET ESD-R series solid toroidal cores are designed to use on round cables. The wide range of Manganese Zinc (MnZn) and Nickel Zinc (NiZn) options are available in bare, coated, and case types and allows for targeting of specific frequency ranges.

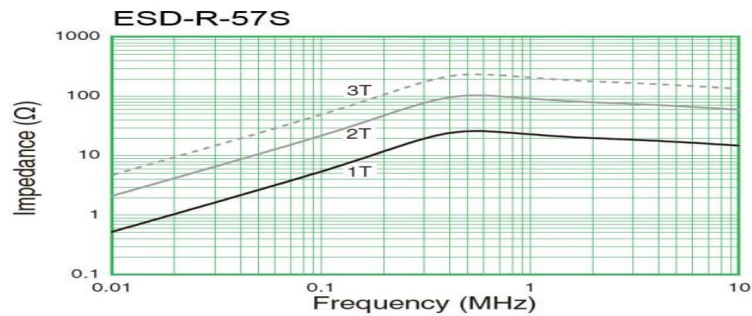
EMI cores are part of a family of passive components, which address the issues of noise or electromagnetic interference (EMI) in circuits or systems.

Applications

- Consumer electronics
- Air conditioners
- Power conditioners
- Refrigerators
- Washing machines
- Industrial equipment
- Medical equipment
- Adapters
- Computers
- Telecommunications

Benefits

- MnZn ≤ 10 MHz (AM band range) and NiZn ≤ 300 MHz (FM band range) options available
- Solid construction
- Bare, coated, and case types available
- Wide range of products available



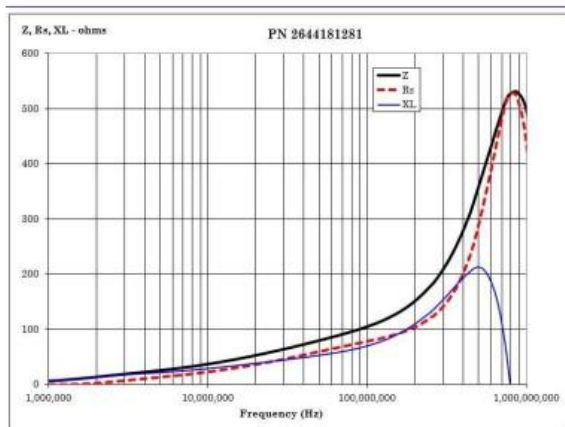
EK A2. 2644181281 kodlu nüve

Typical Impedance (Ω)	
10 MHz	37
25 MHz	59
100 MHz	105
250 MHz	178

Round cable snap- it assemblies are controlled for impedances only. Minimum impedance values are specified for the + marked frequencies. The minimum impedance is listed on our catalog drawing.

[Catalog Drawing](#)

Single turn impedance tests for 31, 43 and 46 material cores are performed on the E4991A/ HP4291B Impedance Analyzer. The 61 material parts are tested on the E4991A / HP4291B Impedance Analyzer and 75 material parts are tested on the E4990A Impedance Analyzer. Cores are tested with the shortest practical wire length.



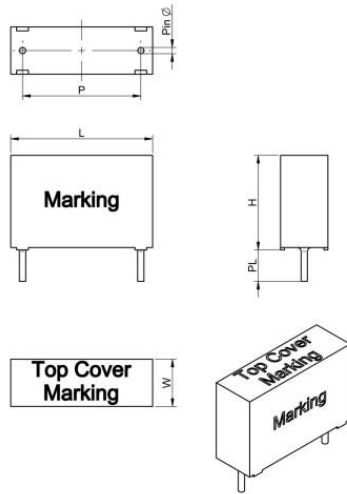
[CSV Download](#)

Fair- Rite Products Corp. • One Commercial Row, Wallkill, New York 12589-0288
888-324-7748 • 845-895-2055 • Fax: 845-895-2629 • sales@fair-rite.com • www.fair-rite.com

EK A3. 890334027025-1728438 kodlu 3.3 µF kapasitör

more than you expect

A Dimensions: [mm]



P ±0.5	27.5
L ±0.5	31.0
H ±0.5	29.0
W ±0.5	15.5
PL min.	20.0
Pin Ø ±0.05	0.8
d1	1.1

B Recommended hole pattern: [mm]



C Schematic:



D1 Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Capacitance	1 V/ 1 kHz ± 0.2 kHz	C	3.3000	µF ±10%
Rated voltage		U _R	310	V (AC)
Isolation Resistance	1 min @ 100V (DC)	R _{iso}	> 10000	MΩ • µF min.
Dissipation factor	@ 1 kHz	DF	< 0.10	% max.
Dissipation factor	@ 10 kHz	DF	< 0.70	% max.
Dissipation factor	@ 100 kHz	DF	-	% max.
Rate of Voltage Rise		dV/dt	130	V/µs max.
Dielectric strength Pin to Pin	1 minute		1333	V (DC)
Dielectric strength Pin to Case	1 minute		2000	V (AC)

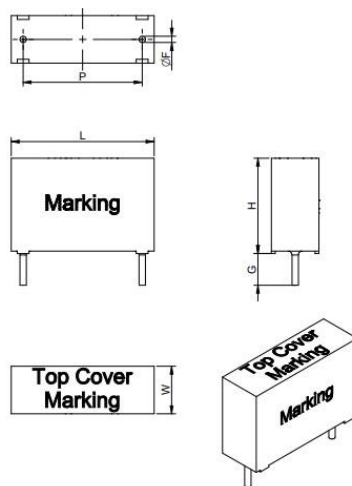
E General information:

X2-Safety Class Capacitor; MKP - Metallized Polypropylene
 Storage Conditions: 35°C, <45% RH
 Operating Temperature: -40°C to +105°C
 Climate category: 40/ 105/ 56/ B
 Maximum Selfheating (rated): 7°C
 Test conditions of Electrical Properties: 20°C, 33% RH
 if not specified differently
 FIT according to separate documentation

This electronic component has been designed and developed for use in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eGmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eGmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

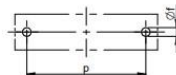
EK A4. 890334027030CS-1879237 kodlu 4.7 µF kapasitör

Dimensions: [mm]



Properties		Value	Unit	Tol.
Pitch	P	27.5	mm	±0.5
Length	L	31	mm	±0.5
Width	W	19	mm	±0.5
Height	H	32.5	mm	±0.5
Pin length	G	4	mm	±0.5
Pin Diameter	Ø F	1	mm	±0.05
Pitch	P	27.5	mm	±0.5
Hole Diameter	Ø f	1.3	mm	

Recommended Land Pattern: [mm]



Schematic:



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Capacitance	1 V/ 1 kHz ± 0.2 kHz	C	4.7	µF ±10%
Rated Voltage		U _R	310	V (AC)
Rated Voltage		U _R	630	V (DC)
Insulation Resistance	1 min @ 100 V (DC)	R _{iso}	10000	Ω x F min.
Dissipation Factor	@ 1 kHz	DF	0.1	% max.
Dissipation Factor	@ 10 kHz	DF	0.7	% max.
Rate of Voltage Rise		dV/dt	140	V/µs max.
Dielectric Strength Pin to Pin	1 min./ +20 °C		1333	V (DC)
Dielectric Strength Pin to Case	1 min./ +20 °C		2000	V (AC)

General Information:

X2-Safety Class Capacitor; MKP - Metallized Polypropylene	
Storage Conditions	5-35 °C, < 75% RH
Operating Temperature	-40 °C up to +105 °C
Maximum Selfheating (Rated)	7 °C
Climate Category: 40/ 105/ 56/ B	
Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 35 % RH if not specified differently	
FIT according to separate documentation	
Component conform to REACH and RoHS requirements and standards	
Only designed to be used in parallel to the mains, not approved for series applications.	

Würth Elektronik eGmbH & Co. KG
 EMC & Inductive Solutions

Max-Eyth-Str. 1
 74638 Waldenburger
 Germany
 Tel. +49 (0) 79 42 945 - 0
 www.we-online.com
 eGmbH-online.com



DESIGN	DESIGN	DESIGN	DESIGN
KAS	PSL	PSL	PSL
DESCRIPTION			
WCAP-FTXX Film Capacitors			
M00P275475K310ACP26004			
PART NUMBER			
890334027030CS			
DATE	DATE	DATE	DATE
2015-04-16	2015-04-16	2015-04-16	2015-04-16
REV	REV	REV	REV
001	002	003	004
Pitch 27.5			

This electronic component has been designed and developed for use in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically governing such use. Moreover Würth Elektronik eGmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik eGmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design-in stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

EK A5. Ortak mod bobini

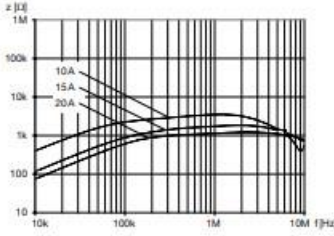
Suppression Chokes

https://www.schurter.com/PG81_82

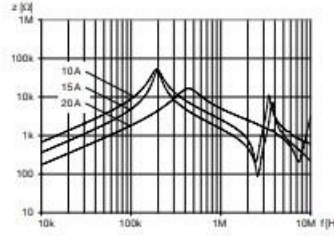
DKIP-1

Impedance curves

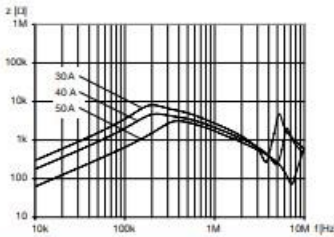
DKIP_0229_xxxx



DKIP_0231_xxxx



DKIP_0233_xxxx



All Variants

I _L [A]	L ₀ [mH]	R _{DC} [mΩ]	Tripped Power Dissipation [W]	f _{RES} [MHz]	Copper ø [mm]	Weight [g]	Housing	Packing unit [pcs.]	Order Number
10	5	18	3.6	0.35	1.25	145 g	29-2W	12	DKIP-0229-1005
15	2	8	3.6	0.6	1.6	145 g	29-2W	12	DKIP-0229-1502
20	1.1	6	4.8	2.5	1.8	145 g	29-2W	12	DKIP-0229-2001
10	12	40	8	0.15	1.25	477 g	31-2W	2	DKIP-0231-1012
15	5	17	7.6	0.33	1.6	525 g	31-2W	2	DKIP-0231-1505
20	3	10	8	0.55	1.8	506 g	31-2W	2	DKIP-0231-2003
30	5	12.5	22.5	0.26	2.24	1600 g	33-2W	1	DKIP-0233-3005
40	3	6	19.2	0.3	1.5 x 4.5	1830 g	33-2W	1	DKIP-0233-4003
50	2	5	25	0.25	1.5 x 4.5	1865 g	33-2W	1	DKIP-0233-5002

Most Popular:

Availability for all products can be searched real-time:<https://www.schurter.com/en/Stock-Check/Stock-Check-SCHURTER>

06.03.2022

The specifications, descriptions and illustrations indicated in this document are based on current information. All content is subject to modifications and amendments. Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, users should independently evaluate the suitability and test each product selected for their own applications.

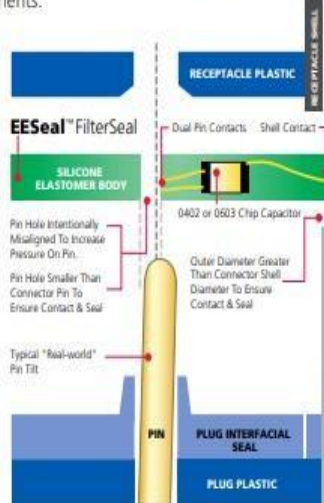
EMC Products | SCHURTER | 3 |

EK A6. EESeal03kodlu Quell konnektör filtresi

How it Works

The secret behind EESeal™ FilterSeals is Quell's innovative electronic packaging technology. Our patented Elastomeric Body and Adaptive Interconnect System suspends, isolates and protects discrete electrical components:

- Entire assembly is resilient and can radically change shape and size in response to external forces (it easily compresses, expands, twists, stretches, etc.)
- Individual components and interconnections move as the body changes shape while maintaining electrical and mechanical integrity.
- Body acts as conformal coat & electrical isolation for suspended components.
- Natural compressive forces exploited to activate re-usable electrical contacts that can withstand extreme abuse (e.g. severe misalignments, vibration, even wrong pin sizes).
- Two gold-plated contacts per pin.
- Many gold-plated peripheral shell contacts.
- Environmental seal created for the host connector.

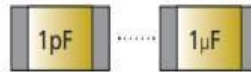


Shapes

EESeal™ FilterSeals will fit in just about any connector:

- MIL-C-38999 series 1, 2, 3 & 4
- MIL-C-26482 series 1 & 2
- MIL-C-5015
- MIL-C-83723
- MIL-C-26500
- ARINC 600
- ARINC 404
- Subminiature D
- High Density & Double Density D
- Micro D (MDM)
- DIN
- mini-DIN
- Custom Connectors

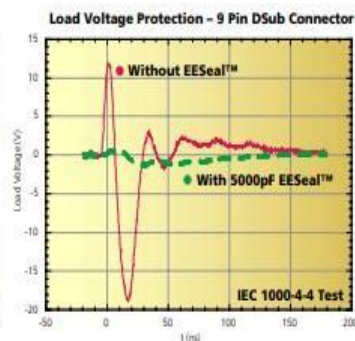
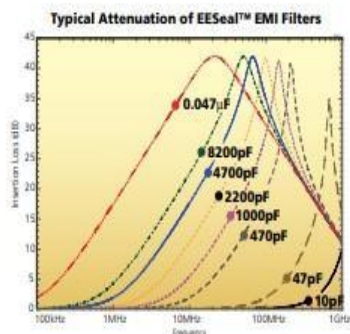
Components



Ceramic Chip Capacitors

Voltage ratings to 1000wvdc, depending on capacitance value. Most capacitors X7R dielectric. Selected pins may be any capacitance value, shorted or open. Most standard values in stock.

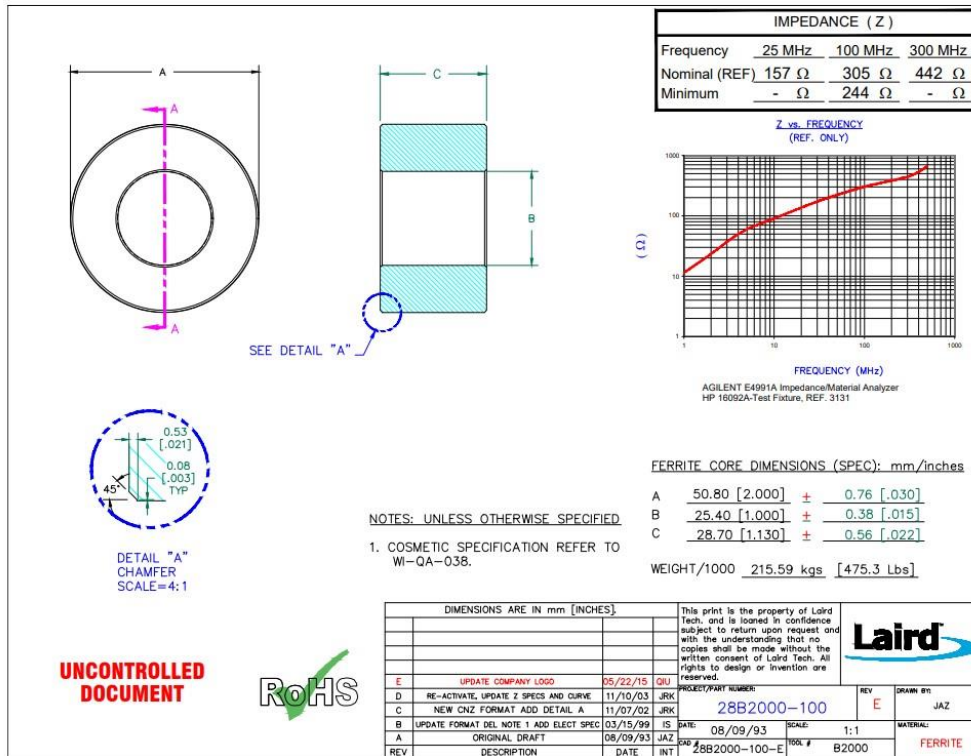
Or choose from a wide range of AVX Transguard® Voltage Suppressors.



56398 Jefferson NE
Albuquerque, New Mexico 87109
(505) 243-1423 Fax (505) 243-9772
www.eeseal.com

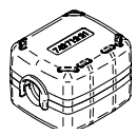
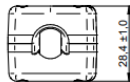
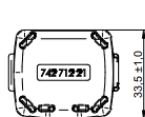
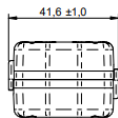
U.S. Patent No. 5,686,687 and International Patents Pending
© 2002 Quell Corporation
REV 12/02 02-QS-102

EK A7. 28B2000-100 kodlu ferit



EK A8. 74271221S kodlu ferit

Dimensions: [mm]

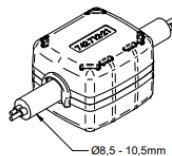


Scale - 1:1.5

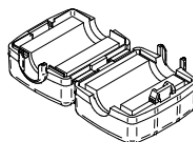
Additional Features:

Safety Key to unlock	74271
----------------------	-------

Applicable Cable Diameter: [mm]



Scale - 1:1.5



Scale - 1:1.5

Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Impedance @ 25 MHz 1 turn	Z 25 MHz	151	Ω	±25%
Impedance @ 100 MHz 1 turn	Z 100 MHz	270	Ω	±25%
Impedance @ 25 MHz 2 turns	Z 25 MHz	641	Ω	typ.
Impedance @ 100 MHz 2 turns	Z 100 MHz	783	Ω	typ.

Certification:

RoHS Approval	Compliant [2011/65/EU&2015/863]
REACH Approval	Conform or declared [IEC1907/2006]
Halogen Free	Conform [IEDEC JS7098]
Halogen Free	Conform [IEC 61249-2-21]

General Information:

Temperature during mounting process	+15 °C up to +35 °C
Operating Temperature	-25 up to +105 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C; < 75 % RH
Storage Conditions (for single parts)	15 °C up to + 35 °C; 45 % up to 65 % RH

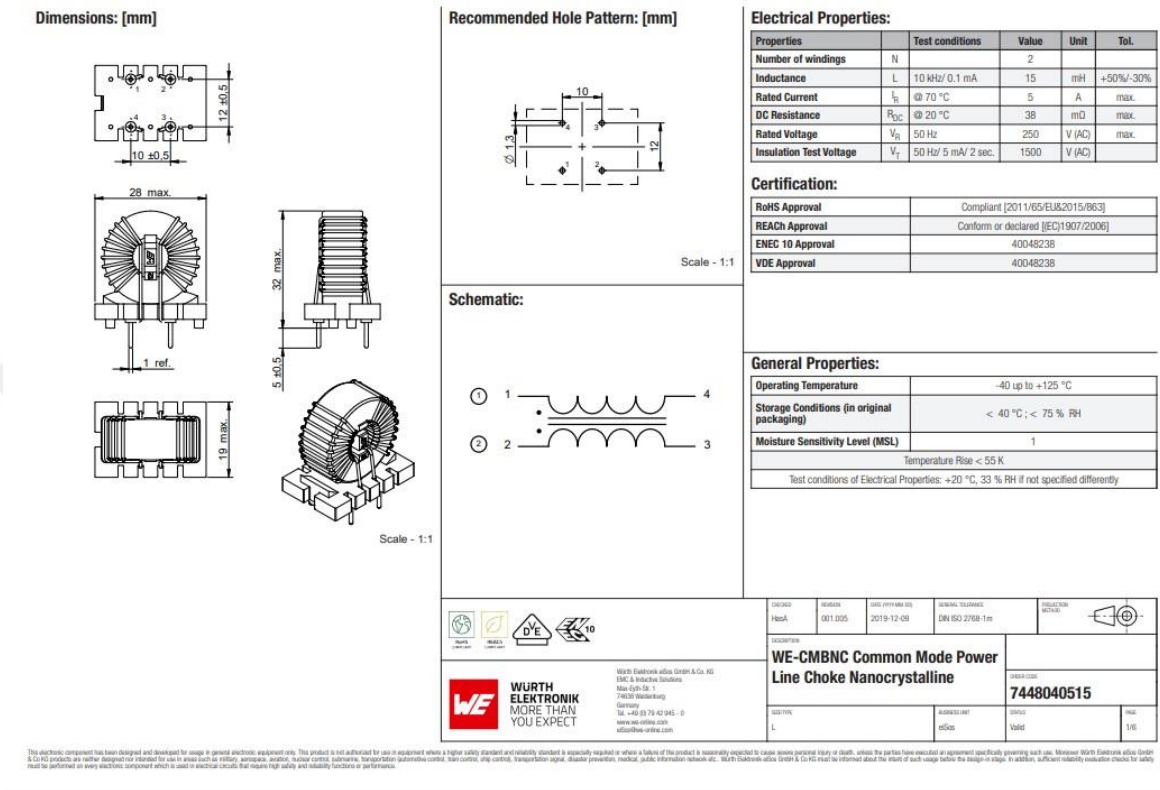
Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 33 % RH if not specified differently

DESIGNED BY	DESIGNED	DATE (YYYY-MM-DD)	GENERAL TOLERANCE	PROJECTION METHOD
NFI	008.001	2021-05-10	DIN ISO 2768-1c	1:1
DESCRIPTION				
WE-STAR-TEC Snap Ferrite with safety key technology				
WURTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT				
Wurth Elektronik Africa GmbH & Co. KG EMC & Inductive Solutions Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany Tel: +49 (0) 7142 945-0 www.wi-wireless.com eSales@wi-wireless.com				
WURTH ELEKTRONIK				
74271221S				
WURTH ELEKTRONIK				
74271221S				
WURTH ELEKTRONIK				
74271221S				

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have concluded an agreement specifically governing such use. Moreover Wurth Elektronik Africa GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, ship control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Wurth Elektronik Africa GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design is stage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

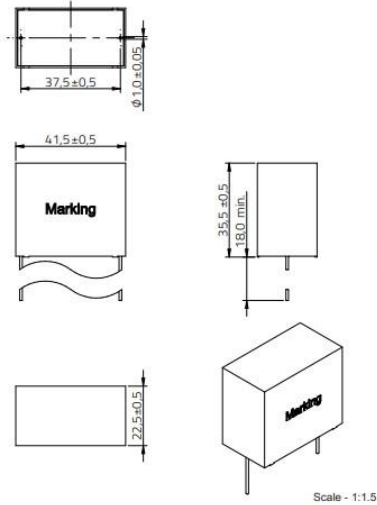
EK B. Ses Haberleşme Sistemi Cihazına Ait Ekler

EK B1. 7448040515 KODLU 15mH CMC

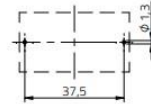


EK B4. 890334028008 kodlu 6.8 µF kapasitör

Dimensions: [mm]



Recommended Hole Pattern: [mm]



Scale - 1:1.5

Schematic:



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Capacitance	C	6.8	µF	±10%
Rated Voltage	V _R	310	V (AC)	max.
Rated Voltage	V _R	630	V (DC)	max.
Rated Voltage	V _R	560	V (DC)	max.
Insulation Resistance	R _{IS}	1.47	GΩ	min.
Dissipation Factor	DF	0.1	%	max.
Dissipation Factor	DF	0.7	%	max.
Dissipation Factor	DF	3	%	max.
Rate of Voltage Rise	dV/dt	110	V/µs	max.
Dielectric Strength Pin to Pin	1 min./+20 °C	1333	V (DC)	max.
Dielectric Strength Pin to Case	1 min./+20 °C	2000	V (AC)	max.

General Information:

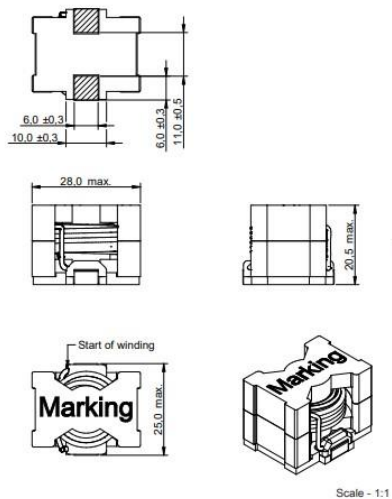
X2-Safety Class Capacitor; MKP - Metallized Polypropylene	
Operating Temperature	-40 up to +105 °C
Storage Conditions (in original packaging)	5 °C up to +35 °C; 10 % up to 75 % RH
Maximum Selfheating (Rated)	7 °C
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1
Climatic Category	40/105/56/B
Test conditions of electrical properties: +20 °C, 35 % RH if not specified differently	
FIT according to separate documentation	
Only designed to be used in parallel to the mains, not approved for series applications.	

DESIGNED BY	REVISION	DATE (YY/MM/DD)	GENERAL TECHNIQUE	REVISION
WFE	002.000	2022-10-08	DN ISO 2768-1m	
DESCRIPTION		TECHNICAL DOCUMENT		
WCAP-FTXX Film Capacitors		M00P375685K310ASP605000		
PART NO.		890334028008		
Pitch 37.5 mm		Valid		

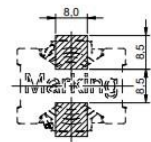
This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically guaranteeing such use. Moreover Würth Elektronik also GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aerospace, nuclear safety, submarine, transportation, automotive control, train control, ship control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik also GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design or usage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

EK B5. 74437429203101 kodlu 100µH bobin

Dimensions: [mm]



Recommended Land Pattern: [mm]



Scale - 1:1

Schematic:



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	100	µH	±20%
Rated Current	I _R 50K	8.8	A	max.
Performance Rated Current ¹⁾	I _{PR} 60K	8.2	A	max.
Saturation Current @ 10%	I _{SC} 10%	7.5	A	typ.
Saturation Current @ 30%	I _{SC} 30%	9.7	A	typ.
DC Resistance	R _{DC}	35.9	mΩ	typ.
DC Resistance	R _{DC}	39.49	mΩ	max.
Self Resonant Frequency	f _{RS}	4.3	MHz	typ.

¹⁾ refer to IEC 62024-2:2020

General Information:

Ambient Temperature (referring to I _b)	-40 up to +75 °C
Operating Temperature	-40 up to +125 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C; < 75 % RH
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1
Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 33 % RH if not specified differently	
Test conditions of Performance Rated Current: refer to IEC 62024-2, Class D (PCB Copper Width: 40 mm; PCB Copper Thickness: 1000 µm)	
Temperature rise is highly dependent on many factors including PCB land pattern, trace size, and proximity to other components. Therefore, temperature rise should be verified in application conditions.	

Product Marking:

Marking	74437429203101 (Date code (YYWW))
---------	-----------------------------------

DESIGNED BY	REVISION	DATE (YY/MM/DD)	GENERAL TECHNIQUE	REVISION
WFE	003.001	2022-06-07	DN ISO 2768-1m	
DESCRIPTION		TECHNICAL DOCUMENT		
WE-HCF Litz Wire SMT High Current Inductor		74437429203101		
PART NO.		Valid		

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have executed an agreement specifically guaranteeing such use. Moreover Würth Elektronik also GmbH & Co KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aerospace, nuclear safety, submarine, transportation, automotive control, train control, ship control, transportation signal, disaster prevention, medical, public information network etc. Würth Elektronik also GmbH & Co KG must be informed about the intent of such usage before the design or usage. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.

EK B6. CM8663Z161B-10 kodlu CMC

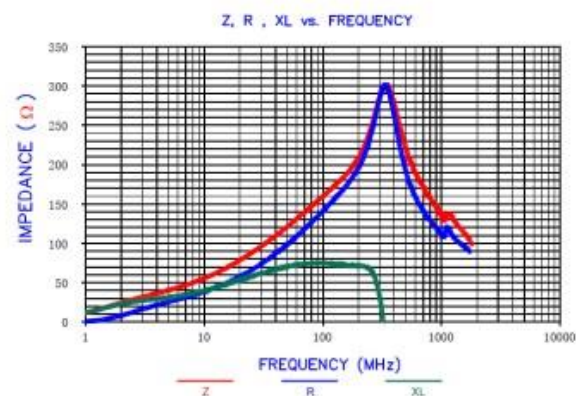
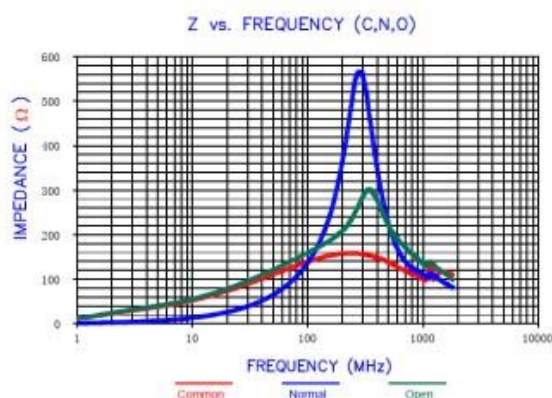


High Current Power Line Common Mode Choke CM8663 Series

PART NUMBER SYSTEM EXAMPLE

CM	8663	Z	161	R	-10
Common Mode	Part Size	Rated Current	Impedance	Packing	Standard or Custom
Chokes	Code	Code	(Z)	Code	Part

TYPICAL CHARACTERISTICS



USA: +1.423.308.1690
Europe: +42.0.4885.7511.1
Asia: +86.757.2563.8860

www.lairdtech.com

MCP-DS-HIGH CURRENT POWER LINE CMC 1015

Any information furnished by Laird Technologies, Inc. and its agents is believed to be accurate and reliable. All specifications are subject to change without notice. Responsibility for the use and application of Laird Technologies materials rests with the end user. Laird Technologies makes no warranties as to the fitness, merchantability, suitability or non-infringement of any Laird Technologies materials or products for any specific or general use. Laird Technologies shall not be liable for incidental or consequential damages of any kind. All Laird Technologies products are sold pursuant to the Laird Technologies' Terms and Conditions of sale in effect from time to time, a copy of which will be furnished upon request. © Copyright 2015 Laird Technologies, Inc. All Rights Reserved. Laird, Laird Technologies, the Laird Technologies Logo, and other marks are trademarks or registered trademarks of Laird Technologies, Inc. or an affiliate company thereof. Other product or service names may be the property of third parties. Nothing herein provides a license under any Laird Technologies or any third party intellectual property rights. Version A01

EK B7. Rshn 2006 6A ve 2010 10A kodlu TDK filtre

TDK-Lambda

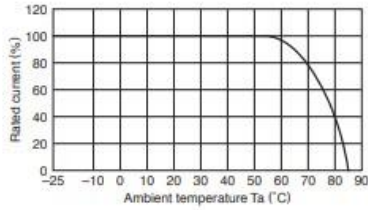
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Part No.	Rated voltage (AC/DC)	Rated current (AC/DC)	Withstand voltage	Insulation resistance	Leakage current	Operating temperature range	With derating over	DC resistance (mΩ)	Attenuation frequency range (MHz)			Weight (kg)
									Common mode	Differential mode		
									at 25dB	at 10dB	at 25dB	
RSHN-2003	250V	3A	AC 2500V	100MΩ min. [DC 500V/ 1min] [Between line to ground]	1.0mA max. [250V/60Hz]	-25 to +85°C	55°C	350 max.	0.1 to 10	-	0.2 to 30	0.19
RSHN-2006		6A						140 max.	0.1 to 10	-	0.2 to 30	0.24
RSHN-2010		10A						60 max.	0.1 to 30	-	0.3 to 30	0.24
RSHN-2016		16A						35 max.	0.2 to 30	-	0.3 to 30	0.35
RSHN-2020		20A						22 max.	0.2 to 30	-	0.4 to 30	0.35
RSHN-2030		30A						12 max.	0.3 to 30	-	0.6 to 30	0.35
RSHN-2040		40A						10 max.	0.2 to 30	-	0.1 to 30	1.50
RSHN-2050		50A						8 max.	0.3 to 30	-	0.2 to 30	1.40
RSHN-2060		60A						6 max.	0.3 to 30	-	0.3 to 30	1.40
RSHN-2080		80A					50°C	7 max.	0.2 to 8	-	0.1 to 30	5.50
RSHN-2100		100A						6 max.	0.2 to 8	-	0.1 to 30	6.00
RSHN-2150		150A						4 max.	0.2 to 7	-	0.1 to 30	9.00
RSHN-2200		200A						3 max.	0.4 to 7	-	0.1 to 30	13.00
RSHN-2250		250A						2 max.	-	0.4 to 10	0.1 to 30	13.00
RSHN-2300		300A						1.5 max.	-	1 to 7	0.1 to 30	13.00

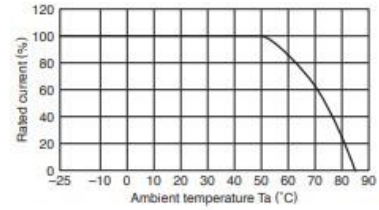
Part No.	Rated voltage (AC/DC)	Rated current (AC/DC)	Withstand voltage	Insulation resistance	Leakage current	Operating temperature range	With derating over	DC resistance (mΩ)	Attenuation frequency range (MHz)		Weight (kg)
									Common mode	Differential mode	
									at 25dB	at 25dB	
RSHN-2003L	250V	3A	AC 2500V	100MΩ min. [DC 500V/ 1min] [Between line to ground]	100 μA max. [250V/60Hz]	-25 to +85°C	55°C	350 max.	0.2 to 10	0.2 to 30	0.19
RSHN-2006L		6A						140 max.	0.2 to 10	0.2 to 30	0.24
RSHN-2010L		10A						60 max.	0.3 to 10	0.3 to 30	0.24
RSHN-2016L		16A						35 max.	0.3 to 30	0.3 to 30	0.35
RSHN-2020L		20A						22 max.	0.4 to 30	0.4 to 30	0.35
RSHN-2030L		30A						12 max.	0.6 to 30	0.6 to 30	0.35

DERATING GRAPHS

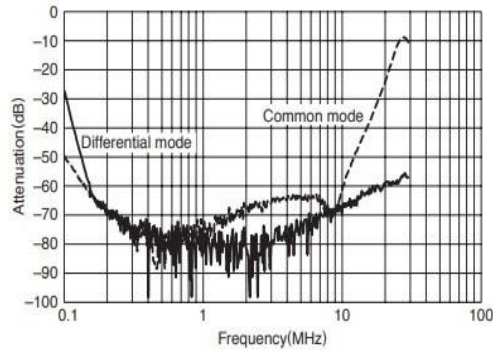
RSHN-2003/2006/2010/2016/2020/2030/
2040/2050/2060



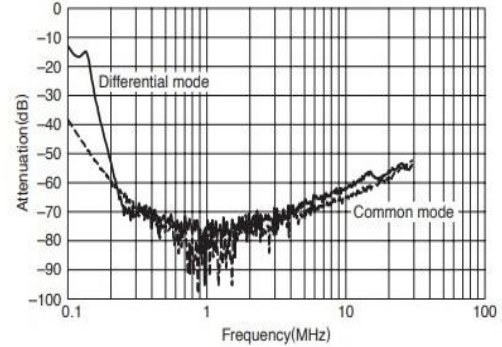
RSHN-2080/2100/2150/2200/2250/2300



RSHN-2006



RSHN-2010





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Musa ŞAGAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Karabük Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
%100 İngilizce

MESLEKİ DENEYİM

- 2019-2021 EMC Test ve Kontrol Hizmetleri A.Ş. - Test Mühendisi
- 2021-2023 Pavotek - Test Grup Lideri
- 2023 Panod - Test Müdürü (devam)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Sagar, M., Arifoğlu, U., & Hızarcı, H. (2022). MIL-STD 461-G Standardı için Bağlantı Yollu Elektromanyetik Gürültülerin Bastırılma Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme. 1st International Conference on Scientific and Academic Research, 605–613.