



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **PCIe ETHERNET KART TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

---

EMRE KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. Yaşar BİRBİR

İSTANBUL, 2023

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **PCIe ETHERNET KART TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

---

EMRE KAYA

523120016

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Yaşar BİRBİR

**İSTANBUL, 2023**

---

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Emre KAYA'nın  
"PCİe Ethernet Kart Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi" başlıklı tez çalışması .....  
tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Yaşar BİRBİR (Danışman)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Doç.Dr. Kazım YILDIZ (Danışman)

Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Nihan ALTINTAŞ (Danışman)

Yıldız Teknik Üniversitesi ..... (İMZA).....

**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
.....sayılı kararı ile Emre KAYA'nın Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim  
Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması  
onanmıştır.

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

## **ÖNSÖZ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği konusunda üzerimde emekleri bulunan bölüm hocalarıma, bu tezin danışmanlığını üstlenen ve lisans çalışmalarımda net eleştirilerini benimle paylaşan hocam Prof. Dr. Yaşar BİRBİR'e teşekkür ederim.

2016 yılından bu yana, beraber, onlarca başarıya imza attığımız Ufuk Dursun başta olmak üzere, tez sürecinde bilgilerini benden esirgemeyen Pavotek Ar-Ge ekibine teşekkür ederim. Sancılı tez sürecinde maddi ve manevi destekleri için eşim Pınar Alioğulları'na ve her zaman varlığını hissettiren aileme teşekkür ederim.

**Emre KAYA**  
**İSTANBUL, 2023**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Peripheral Component Interconnect Express (PCIe)	2
1.2. PCIe Tarihçesi	2
1.3. PCIe Ethernet Arayüzü	3
1.4. PCIe Ethernetin Tarihçesi	5
1.5. Ethernet ve Tarihçesi	5
1.6. İnternet ve Tarihçesi	6
1.7. Ethernet ile İnternet Arasındaki Fark	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM	8
2.1. PCIe Ethernet Yapısı	8
2.2. PCIe Ethernet Kart Tasarımı Çalışmaları	10
2.3. Blok diyagramının oluşturulması ve çizim programına eklenmesi	10
2.3.1. PCIe arayüz konnektörünün devre şeması	12
2.3.2. Clock buffer (saat arabelleği) yapısının devre şeması	14
2.3.3. Ethernet PHY entegresinin devre şeması	16
2.3.4. RJ45 ethernet trafosunun devre şeması	18

2.3.5.	RJ45 konnektörünün devre şeması	20
2.3.6.	Güç hattının devre şeması	23
2.3.7.	PCIe ethernet kartının pcb tasarımı	25
2.4.	PCIe Ethernet Kartının Prototipi	27
3.	TESTLER	33
3.1.	Sunucuya Bağlantı Testi	33
3.2.	Ping Testi	38
3.3.	Mekanik Uyumluluk Testi	38
4.	SONUÇ	40
	KAYNAKLAR	42
	EKLER	45
	ÖZGEÇMİŞ	46

## ÖZET

## PCIe ETHERNET KART TASARIMI VE

## GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada sunucu sistemlerine uyumlu PCIe Ethernet kartlarının tasarım, üretim ve doğrulama süreçlerini ele almaktadır.

PCIe Ethernet kartları, yüksek hızlı ağ iletişimine olan talebin arttığı modern sunucu altyapıları için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, sunucu sistemlerine sorunsuz bir şekilde entegre edilebilen ve yüksek performans sağlayabilen PCIe Ethernet kartlarının tasarım ve üretim aşamaları detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Tez, PCIe yapısının anlatımı ve donanım materyalinin tanıtımı ile başlar. LAN7430 Ethernet PHY (Physical Layer) entegresi kullanılarak PCIe Ethernet kartının ana bileşenleri ve bağlantıları anlatılmıştır.

Tasarım ve üretim süreçleri, makalenin merkezinde yer almaktadır. Tasarım aşaması, kartın temel özelliklerini ve işlevselliğini belirlerken üretim aşaması, PCB üretimi ve bileşen entegrasyonunu içermektedir. Her aşama, yüksek kalite ve uyumluluk standartlarını karşılamak için titizlikle uygulanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma, sunucu sistemleri için kritik bir bileşen olan PCIe Ethernet kartlarının tasarım ve üretim süreçlerini ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Tasarımın ve üretimin başarıyla tamamlanması, yüksek performanslı sunucu altyapıları için güvenilir ve uyumlu PCIe Ethernet kartlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, sunucu sistemleri ve ağ altyapılarına ilgi duyan araştırmacılar ve mühendisler için önemli bir kaynak olacaktır.

## **ABSTRACT**

# **PCIe ETHERNET CARD DESIGN AND IMPLEMENTATION**

This study discusses the design, production and verification processes of PCIe Ethernet cards compatible with server systems.

PCIe Ethernet cards are critical for modern server infrastructures where demand for high-speed networking increases. In this study, the stages of design and production of PCIe Ethernet cards, which can be seamlessly integrated into server systems and provide high performance, are examined in detail.

The study begins with the explanation of the PCIe structure and the introduction of the hardware material. The main components and connections of the PCIe Ethernet card are explained using the LAN7430 Ethernet PHY (Physical Layer) integrated.

Design and production processes are at the center of the article. The design phase determines the basic features and functionality of the board, while the manufacturing phase includes PCB fabrication and component integration. Each stage has been meticulously implemented to meet high standards of quality and compliance.

In conclusion, this article discusses in detail the design and manufacturing processes of PCIe Ethernet cards, which are a critical component for server systems. Successful completion of design and production contributes to the development of reliable and compatible PCIe Ethernet cards for high-performance server infrastructures.

This study will be an important resource for researchers and engineers interested in server systems and network infrastructures.

## **SEMBOLLER**

A	: Amper
Hz	: Hertz
Gb/s	: Gigabit Bölü Saniye
Mb/s	: Megabit Bölü Saniye
RX	: Seri Haberleşme Alıcı Hat
TX	: Seri Haberleşme Gönderici Hat

## **KISALTMALAR**

1U	: 1 Unit (1 Birim)
2D	: 2 Dimensional (2 Boyut)
3D	: 3 Dimensional (3 Boyut)
AGP	: Accelerated Graphics Port (Hızlandırılmış Grafik Bağlantı Noktası)
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
CBC	: Current Balancing Control
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
EMC	: Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)
EMI	: Electromagnetic Interference (Elektromanyetik Girişim)
GBPS	: Gigabit Per Second (Saniyedeki Veri Hızı)
I/O	: Input/Output (Giriş Çıkış)
PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)
PCIe	: Peripheral Component Interconnect Express (Çevre Bileşeni Ekspres Ara Bağlantısı)
PHY	: Ethernet Physical Layer (Ethernet Fiziksel Katmanı)
PNIN	: Predictable Network Interface Names (Tahmin Edilebilir Ağ Arayüzü Adları)
SBY	: Standby Voltage
SSD	: Solid State Driver (Katı Hal Sürücüsü)
Wi-Fi	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Örnek Sunucu Sistemlerine Uyumlu PCIe Ethernet Kart Gösterimi [27] .....	2
Şekil 1.2. PCIe Kartı ve Slotu [28].....	2
Şekil 1.3. PCIe Tarihçesi [29] .....	3
Şekil 1.4. PCIe Slotları [30] .....	4
Şekil 1.5. Ethernet Kablolarının Kategorileri [31] .....	6
Şekil 2.1. Microchip Ethernet PHY Entegresi [32].....	8
Şekil 2.2. Intel Ethernet PHY Entegresi [33] .....	9
Şekil 2.3. Microchip Ethernet PHY Blok Diyagramı.....	9
Şekil 2.4. PCIe Ethernet Kartı Blok Diyagramının Devre Şeması.....	11
Şekil 2.5. PCIe Arayüz Konnektörünün Devre Şeması .....	13
Şekil 2.6. Saat Arabelleği Yapısının Devre Şeması .....	15
Şekil 2.7. Ethernet PHY Entegresinin Devre Şeması.....	17
Şekil 2.8. RJ45 Ethernet Trafosunun Devre Şeması .....	19
Şekil 2.9. 4 Port Varyasyonlu RJ45 Konnektörünün Devre Şeması .....	21
Şekil 2.10. 8 Port Varyasyonlu RJ45 Konnektörünün Devre Şeması .....	22
Şekil 2.11. Güç Hattının Devre Şeması.....	24
Şekil 2.12. PCIe Ethernet Kart PCB Katman Yığını.....	25
Şekil 2.13. PCIe Ethernet Kart PCB 2D Gösterimi.....	26
Şekil 2.14. PCIe Ethernet Kart PCB 3D Gösterimi.....	27
Şekil 2.15. PCIe Ethernet Kartının Önden Gösterimi .....	28
Şekil 2.16. PCIe Ethernet Kartının Üstten Gösterimi .....	29
Şekil 2.17. PCIe Ethernet Kartının Üst Yandan Gösterimi .....	30
Şekil 2.18. PCIe Ethernet Kartının Yandan Gösterimi .....	31
Şekil 2.19. PCIe Ethernet Kartının Alttan Gösterimi .....	32
Şekil 3.1. PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucunun Linux Terminalindeki IP Konfigürasyonunun Gösterimi .....	33
Şekil 3.2. PCIe Ethernet Kartının 1. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu .....	34
Şekil 3.3. PCIe Ethernet Kartının 1. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri.....	34
Şekil 3.4. PCIe Ethernet Kartının 2. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen	

İnternet Bağlantısı Durumu .....	35
<b>Şekil 3.5.</b> PCIe Ethernet Kartının 2. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri.....	35
<b>Şekil 3.6.</b> PCIe Ethernet Kartının 3. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu .....	36
<b>Şekil 3.7.</b> PCIe Ethernet Kartının 3. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri.....	36
<b>Şekil 3.8.</b> PCIe Ethernet Kartının 4. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu .....	37
<b>Şekil 3.9.</b> PCIe Ethernet Kartının 4. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri.....	37
<b>Şekil 3.10.</b> PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucunun Linux Terminalinde Gösterilen Ping Atma Parametreleri.....	38
<b>Şekil 3.11.</b> PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucu Cihazları Gösterimi .....	38
<b>Şekil 3.12.</b> Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzlerinin Gösterimi .....	39
<b>Şekil 3.13.</b> Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzüne Yarım Takılan PCIe Ethernet Kart Gösterimi .....	39
<b>Şekil 3.14.</b> Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzlerine Tam Takılan PCIe Ethernet Kart Gösterimi .....	39

## **TABLO LİSTESİ**

<b>Tablo 1.1.</b> PCIe Hız Tablosu [6].....	4
<b>Tablo 2.1.</b> PCIe Ethernet Kart İşlevsel Test Tablosu .....	27

# 1. GİRİŞ

Peripheral Component Interconnect Express (PCIe), Intel Corporation tarafından geliştirilen Peripheral Component Interconnect (PCI), neredeyse tüm masaüstü bilgisayarlarda bulunan endüstri standardı, yüksek hızlı bir veri yoludur. PCI yuvaları Grafik veya Ekran kartları, Ses kartları, Ağ kartları gibi çok çeşitli genişleme kartları takılmasına olanak tanır. PCIe, mevcut PCI programlama kavramlarını ve iletişim standartlarını kullanan ancak performansı modern bilgisayarların artan hızlarına uyacak şekilde geliştiren yeni nesil PCI'dir. PCIe, orijinal PCI veri yolundaki veri aktarım hızlarını ikiye katlar.

Bu çalışmada ise sunucu sistemlerine uyumlu PCIe Ethernet Kartı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

PCIe arayüzünden Ethernet arayüzüne çevrilen kartlarda verimlilik çok önemlidir. Bir arayüzden diğerine dönüştürmede devre yolunda oluşan gerilim düşümü, anahtarlama kayıpları gibi olumsuz etkenler meydana gelebilmektedir. Bu kayıpları en az seviyeye indirmek için kartı tasarlarken bazı kurallara dikkat etmek gerekmektedir. Ayrıca kartın, üzerinde kullanılan diferansiyel yolların kurallarına göre çizilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kayıpları en aza indirmek ve verinin verimini arttırmak amacıyla çok katmanlı PCB dizaynı yapılmıştır.

Piyasada bulunan PCIe Ethernet kartlar genelde PC'ye uyumlu yapıdadır. Sunucu sistemler için piyasada çok az sayıda kart bulunmaktadır. **Şekil 1.1**'de sunucu sistemler için kullanılan PCIe Ethernet kart gösterilmiştir. Sunucu sistemlerinde bu gibi kartları kullanmak isteyen kullanıcılar için tedarik sorunu oluşabilmektedir. Ayrıca kullanıcı temin ettiği PCIe Ethernet kartının devamlılığı konusunda problemler yaşayabilir. Bu tasarım sayesinde kullanıcı kendi kartını tasarlayabilecek ve tedarik problemlerini ortadan kaldıracaktır.

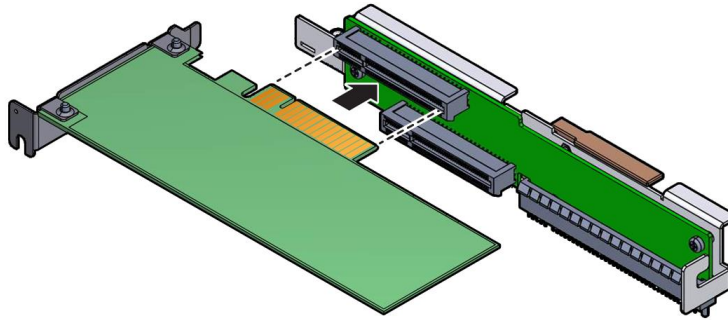


**Şekil 1.1.** Örnek Sunucu Sistemlerine Uyumlu PCIe Ethernet Kart Gösterimi [27]

### 1.1. Peripheral Component Interconnect Express (PCIe)

PCIe, bilgisayar bileşenlerinin birbirine bağlanmasını sağlayan bir yüksek hızlı veri yoludur. PCIe, özellikle masaüstü bilgisayarlarda anakartlar, ekran kartları, ses kartları, ağ kartları, depolama cihazları gibi bileşenleri bağlamak için kullanılır. PCIe, PCI ve AGP gibi önceki veri yolu standartlarına göre daha hızlı ve verimli bir iletişim sağlar.

PCIe, seri veri yolu tabanlı bir arayüzdür ve genellikle x1, x4, x8 veya x16 gibi farklı genişliklerde mevcuttur. Bu genişlikler, veri transferi hızını etkiler ve PCIe'nin yüksek bant genişliği sağlamasına yardımcı olur. Örneğin, x1 PCIe veri yolu 250MB/s'ye kadar veri transfer hızlarına ulaşabilirken, x16 PCIe veri yolu 16GB/s'ye kadar veri transfer hızlarına ulaşabilir. PCIe ethernet arayüzünün hız tablosu **Tablo 1.1**'de verilmiştir. Ayrıca **Şekil 1.2**'de örnek PCIe Kartı ve Slotu gösterilmektedir.



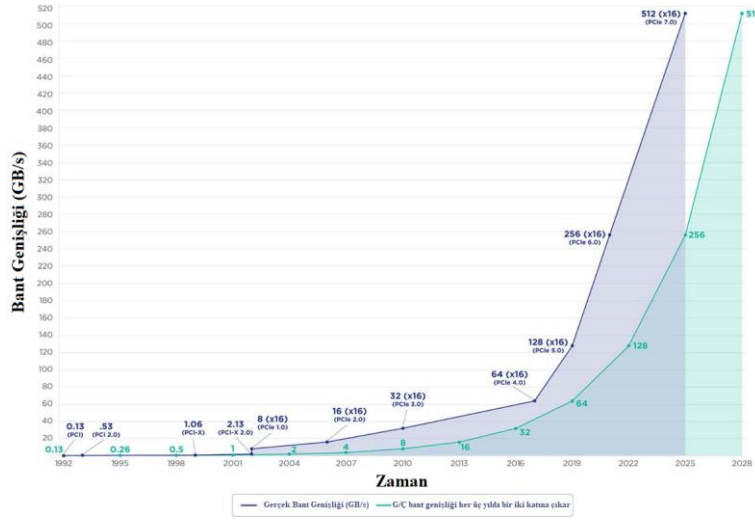
**Şekil 1.2.** PCIe Kartı ve Slotu [28]

### 1.2. PCIe Tarihçesi

PCIe, bilgisayar bileşenlerinin birbirine bağlanması için kullanılan bir arayüz standardıdır. PCIe'nin geliştirilmesi, öncüsü olan PCI standardının yetersiz kalması sonucu ortaya çıktı.

PCI, 1992 yılında Intel tarafından tanıtılan bir arayüz standardıdır ve o dönemdeki

bilgisayar bileşenlerinin ihtiyaçlarını karşılamak için yeterliydi. Ancak zamanla, yüksek performanslı grafik kartları, sabit diskler, ses kartları ve diğer bileşenler için daha fazla bant genişliği ihtiyacı ortaya çıktı. Bu nedenle, 2004 yılında PCIe standardı tanıtıldı. **Şekil 1.3'**de PCIe Tarihçesi gösterilmektedir. PCIe, daha yüksek hızlar, daha fazla bant genişliği ve daha iyi performans sağlamak için tasarlanmıştır. PCIe'nin ilk sürümü, veri hızlarında 2.5 Gbps'ye kadar destek sağladı. Daha sonra sırasıyla 5 Gbps, 8 Gbps, 16 Gbps, 32 Gbps ve en son sürümde 64 Gbps hıza ulaşıldı.



Şekil 1.3. PCIe Tarihçesi [29]

### 1.3. PCIe Ethernet Arayüzü

PCIe Ethernet, Ethernet kartının PCIe arayüzüyle birleştirilmesidir. PCIe, bilgisayar donanımı arasındaki yüksek hızlı bir seri veri yolu standardıdır. PCIe Ethernet kartları, bilgisayarınıza Ethernet bağlantısı sağlamak için kullanılır.

PCIe Ethernet kartları, özellikle yüksek hızlı veri aktarımı gerektiren uygulamalar için idealdir. Bu kartlar, yüksek hızlı veri transferi için özel olarak tasarlanmış yüksek bant genişliği sağlar. Ayrıca, PCIe Ethernet kartları, yüksek performanslı sunucular ve iş istasyonları gibi veri yoğun iş yüklerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

PCIe Ethernet kartlarının farklı boyutlarda ve bağlantı hızlarında çeşitleri vardır. PCIe 2.0 ve PCIe 3.0 standartları en yaygın olanlarıdır. Bu kartlar genellikle Gigabit Ethernet veya 10 Gigabit Ethernet bağlantılarını destekler.

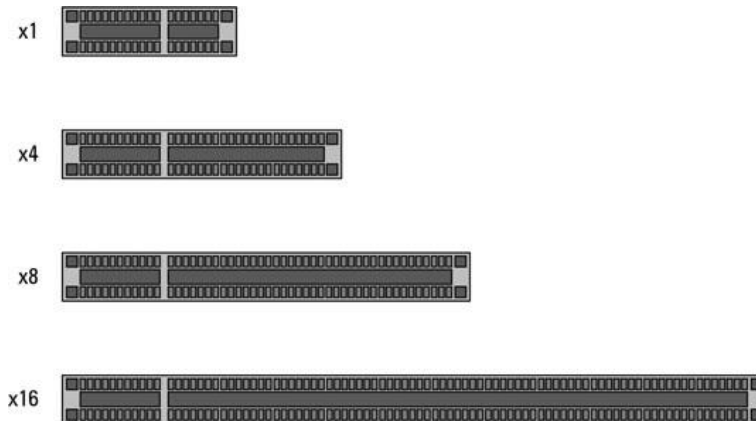
Resmi olarak PCIe olarak kısaltılan PCIe, eski PCI, PCI-X ve AGP veri yolu standartlarının yerini alacak şekilde tasarlanmış yüksek hızlı bir seri bilgisayar genişletme veri yolu standardıdır. Kişisel bilgisayarların grafik kartları, sabit disk sürücüsü ana bilgisayar adaptörleri, SSD'ler, Wi-Fi ve Ethernet donanım bağlantıları için ortak anakart

arabirimidir. PCIe, daha yüksek maksimum sistem veri yolu verimi, daha düşük I/O pin sayısı ve daha küçük fiziksel ayak izi, veri yolu cihazları için daha iyi performans ölçeklendirme dahil olmak üzere eski standartlara göre çok sayıda iyileştirmeye sahiptir. PCIe ethernet arayüzü ilk olarak PCIe 1.0 sürümü ile 2003 yılında Intel mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. PCIe sürümleri, farklı uygulamalar ve kullanım senaryoları için ölçeklenebilirlik ve performans sağlar. Yeni sürümler, daha hızlı veri transferi ve daha yüksek bant genişliği sunarak daha fazla veri işleme kapasitesi sağlar. Bu nedenle, PCIe sürümleri, bilgisayar donanımı ve ağ cihazları geliştikçe sürekli olarak güncellenir. PCIe ethernet arayüzünün farklı sürümlerdeki hız bilgilerinin tablosu **Tablo 1.1**'de verilmiştir.

**Tablo 1.1.** PCIe Hız Tablosu [6]

Sürüm	Tarih	Hız	x1	x16
1.0	2003	2.5 GT/s	0.250 GB/s	4.000 GB/s
2.0	2007	5.0 GT/s	0.500 GB/s	8.000 GB/s
3.0	2010	8.0 GT/s	0.985 GB/s	15.754 GB/s
4.0	2017	16.0 GT/s	1.969 GB/s	31.508 GB/s
5.0	2019	32.0 GT/s	3.938 GB/s	63.015 GB/s
6.0	2022	64.0 GT/s	7.563 GB/s	121.000 GB/s
7.0	2025	128.0 GT/s	15.125 GB/s	242.000 GB/s

PCIe kartlarının bağlantısı için gereken arayüz konektörü belirli standartlara göre tasarlanmalıdır. **Şekil 1.4**'de PCIe kartlarının takılabileceği örnek slotlar gösterilmiştir. Günümüzde PCIe slotları 1x PCIe, 2x PCIe, 4x PCIe, 8x PCIe, 16x PCIe ve 32x PCIe standartlarındadır.



**Şekil 1.4.** PCIe Slotları [30]

#### **1.4. PCIe Ethernetin Tarihçesi**

PCIe Ethernet kartları, Ethernet teknolojisi ve PCIe arayüzünün birleşmesiyle ortaya çıktı.

Ethernet teknolojisi ilk olarak 1970'lerin sonlarında Xerox, Intel ve DEC (Digital Equipment Corporation) tarafından geliştirildi. İlk Ethernet kartları, 1980'lerin başlarında piyasaya sürüldü ve orijinal 10 Mbps hızında çalışıyordu. Daha sonra, Ethernet kartları hızlı bir şekilde gelişti ve Gigabit Ethernet ve 10 Gigabit Ethernet gibi yüksek hızlı sürümleri ortaya çıktı.

PCIe arayüzü ise 2004 yılında tanıtıldı. PCIe, önceki PCI arayüzünün yerini alan daha hızlı bir arayüzdür ve yüksek hızlı seri veri transferi için tasarlanmıştır. PCIe Ethernet kartları, bu arayüzü kullanarak bilgisayar sistemine yüksek hızlı Ethernet bağlantısı sağlar.

Günümüzde, PCIe Ethernet kartları, yüksek hızlı veri transferi gerektiren uygulamalar için idealdir. Özellikle, sunucu ve iş istasyonları gibi yüksek performanslı sistemlerde kullanılırlar. PCIe Ethernet kartları, Gigabit Ethernet ve 10 Gigabit Ethernet gibi yüksek hızlı Ethernet bağlantılarını destekler ve birçok farklı boyutta ve hızda mevcuttur.

#### **1.5. Ethernet ve Tarihçesi**

Ethernet bir ağ teknolojisi olup, bilgisayar ve cihazların birbirleriyle iletişim kurmasına olanak tanır. İlk olarak, Xerox, Intel ve (DEC) şirketleri tarafından 1970'li yıllarda geliştirilmiştir.

Ethernet, birçok farklı hız ve form faktörleriyle mevcuttur. En yaygın Ethernet hızları arasında 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps ve 40 Gbps yer alır. Hızın yanı sıra, Ethernet kabloları Cat5, Cat6 ve Cat7 kabloları gibi farklı kategorilerde kablo türleri vardır.

Ethernet, verileri bir bilgisayardan diğerine iletmek için bir protokol kullanır. Ethernet protokolü, verilerin paketler halinde ağ üzerinden iletilmesini sağlar. Bu paketler, bir hedef cihazın MAC adresine göre yönlendirilir. Ethernet ağında her bir cihazın bir benzersiz MAC adresi vardır.

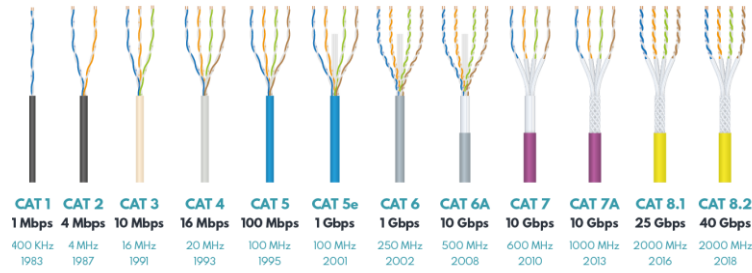
Ethernet ağları, birçok farklı topolojide olabilir. En yaygın topolojiler arasında yıldız topolojisi ve otobüs topolojisi yer alır. Yıldız topolojisinde, tüm cihazlar bir anahtar veya ana bilgisayara bağlanır. Otobüs topolojisinde ise, tüm cihazlar tek bir veri yolunda (bus) bağlıdır.

Ethernet teknolojisi günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, evlerde, ofislerde ve veri merkezlerinde yaygın olarak kullanılır. Ethernet teknolojisi aynı zamanda internet bağlantısı için de kullanılır ve birçok cihazın internete bağlanmasını sağlar.

İlk Ethernet ağları, 1970'lerin başında, Xerox Palo Alto Research Center (PARC)'te Bob Metcalfe tarafından geliştirildi.

Metcalfe, ağın verimliliğini artırmak için, kablolar üzerindeki veri transfer hızını artırmak için yeni bir Ethernet versiyonu geliştirdi. Bu yeni versiyon, 1980'lerin başında 10 Mbps hızında yaygınlaşmaya başladı.

1980'lerin sonlarında, Ethernet teknolojisi, bağımsız şirketler tarafından da geliştirilmeye başlandı. Bu şirketler arasında Intel, DEC ve Xerox gibi şirketler yer alıyordu. Bu şirketlerin geliştirdiği Ethernet teknolojisi, daha hızlı veri transfer hızlarına ve farklı kablo türlerine sahip oldu. **Şekil 1.5'**de ethernet kablolarının kategorileri gösterilmektedir.



**Şekil 1.5.** Ethernet Kablolarının Kategorileri [31]

## 1.6. İnternet ve Tarihçesi

İnternet bir dünya genelindeki bilgisayar ağlarının birbirine bağlanmasıyla oluşan, milyarlarca cihazın birbirleriyle iletişim kurmasını sağlayan bir ağıdır. İnternet, insanların dünya çapında bilgi, iletişim ve eğlenceye erişim sağlamalarına olanak tanır.

İnternetin tarihi, Soğuk Savaş döneminde Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından bir araştırma projesi olarak başladı. Proje, farklı bilgisayarların birbirleriyle iletişim kurabildiği bir ağ oluşturmak amacıyla geliştirildi. İlk İnternet bağlantısı 1969 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki UCLA Üniversitesi ve Stanford Araştırma Enstitüsü arasında gerçekleştirildi.

İnternet, temel olarak iletişim protokolleri ve standartlarına dayanmaktadır. İnternet Protokolü (IP) adı verilen bir protokol, cihazların birbirleriyle iletişim kurabilmesi için gereken adresleme ve yönlendirme işlemlerini sağlar. İnternet aynı zamanda, hızlı ve

etkili veri transferi için TCP/IP protokollerini kullanır.

İnternet, her türlü bilgiye erişim sağlar. İnternet sayesinde, insanlar dünya genelindeki haberlere, eğitim kaynaklarına, sosyal ağlara, e-postalara, video ve müziklere, e-ticaret sitelerine ve daha birçok kaynağa erişebilirler.

İnternet, 1960'ların sonlarında ARPANET adıyla ABD Savunma Bakanlığı tarafından başlatıldı. 1970'lerde ARPANET, akademik ve askeri ağlarla büyüdü. 1980'lerde NSFNET ile daha geniş bir ağ haline geldi. 1990'ların başında web tarayıcılarıyla halka açıldı. Bugün, dünya çapında bilgi ve iletişim aracıdır.

### **1.7. Ethernet ile İnternet Arasındaki Fark**

Ethernet ve İnternet, bilgisayar ağları dünyasında iki farklı kavramdır. Ethernet, yerel ağ (LAN) teknolojisidir ve bilgisayarlar arasında veri iletişimini sağlar. İnternet ise, dünya genelinde birbirine bağlı milyarlarca cihazın oluşturduğu global bir ağıdır ve internet protokolleri (IP) kullanılarak veri iletişimi yapılır.

Ethernet ve İnternet arasındaki temel fark, Ethernet'in bir LAN teknolojisi olduğu ve doğrudan kablolu bağlantılarla sınırlı olduğudur. Diğer yandan, İnternet dünya çapında bir ağıdır ve kablolu ve kablolu bağlantılarla iletişim kurabilir.

Ethernet, yerel ağlar için temel veri iletişim protokolüdür ve çeşitli cihazlar arasında veri paylaşımını sağlar. Ethernet, çeşitli hızlarda çalışabilen bir dizi standart protokole sahiptir ve günümüzde genellikle 10/100/1000 Mbps hızlarda çalışan Ethernet adaptörleri kullanılır.

İnternet ise, birçok farklı protokol kullanarak dünya çapında cihazların birbirine bağlanmasını sağlar. İnternet protokolleri (IP) kullanılarak veri paketleri gönderilir ve alınır. İnternet, başlangıçta askeri ve bilimsel amaçlar için tasarlanmıştı, ancak günümüzde dünya çapında her türlü bilgi ve veri için kullanılıyor.

Ethernet ve İnternet, aynı zamanda farklı veri iletişim protokollerini kullanır. Ethernet, çerçeve tabanlı bir protokolken, İnternet, paket tabanlı bir protokoldür. Ethernet çerçeveleri doğrudan bir bilgisayardan diğerine gönderilirken, İnternet paketleri birçok farklı ağ arasında yönlendirilir.

Sonuç olarak, Ethernet ve İnternet, farklı amaçlar için tasarlanmış iki ayrı teknolojidir. Ethernet, yerel ağlarda kullanılan temel bir veri iletişim protokolüdür, İnternet ise dünya çapında bir ağıdır ve milyarlarca cihazın birbirine bağlanmasını sağlar.

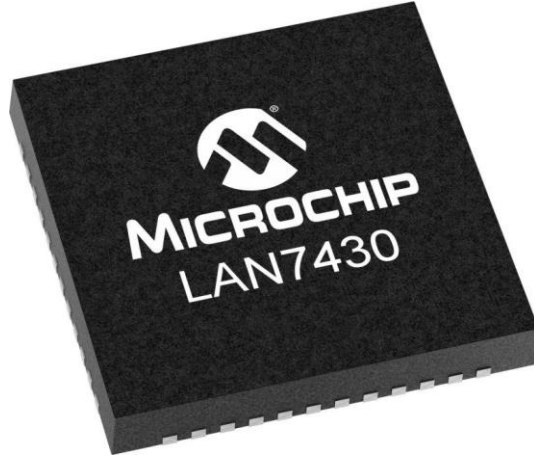
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, sunucu sistemleri için uyumlu PCIe Ethernet kartının tasarım ve gerçekleştirmesini incelemektedir. Bu bağlamda PCIe Ethernet yapısı ve donanım tasarım aşamaları açıklanmıştır.

### 2.1. PCIe Ethernet Yapısı

Yapılan bu çalışma ile endüstrinin ihtiyaçları doğrultusunda gerekli olan PCIe Ethernet Kartının geliştirilmesi ve üretimleri hakkında yeniliklerden yararlanarak en verimli bir PCIe Ethernet Kartı geliştirilmiştir. Hem 4 Port 1 Gbps Ethernet hem 8 Port 1 Gbps Ethernet için uygun tasarım yapısı belirlenmiştir. Bu sayede aynı PCB kart üzerinde iki farklı opsiyon sağlanması mümkün olmuştur [1, 2, 3].

Sistemde PCIe arayüzünü internet arayüzüne çevirmesi için Ethernet PHY (Physical Layer) entegresi kullanılmıştır. **Şekil 2.1**'de Microchip firmasının PHY entegresi, **Şekil 2.2**'de ise Intel firmasının PHY entegresi gösterilmiştir. Tasarımın sade olması ve herhangi bir programlama gerektirmemesi sayesinde tasarımın karmaşık yapıda olmasının önüne geçilmiştir [4, 5, 6].



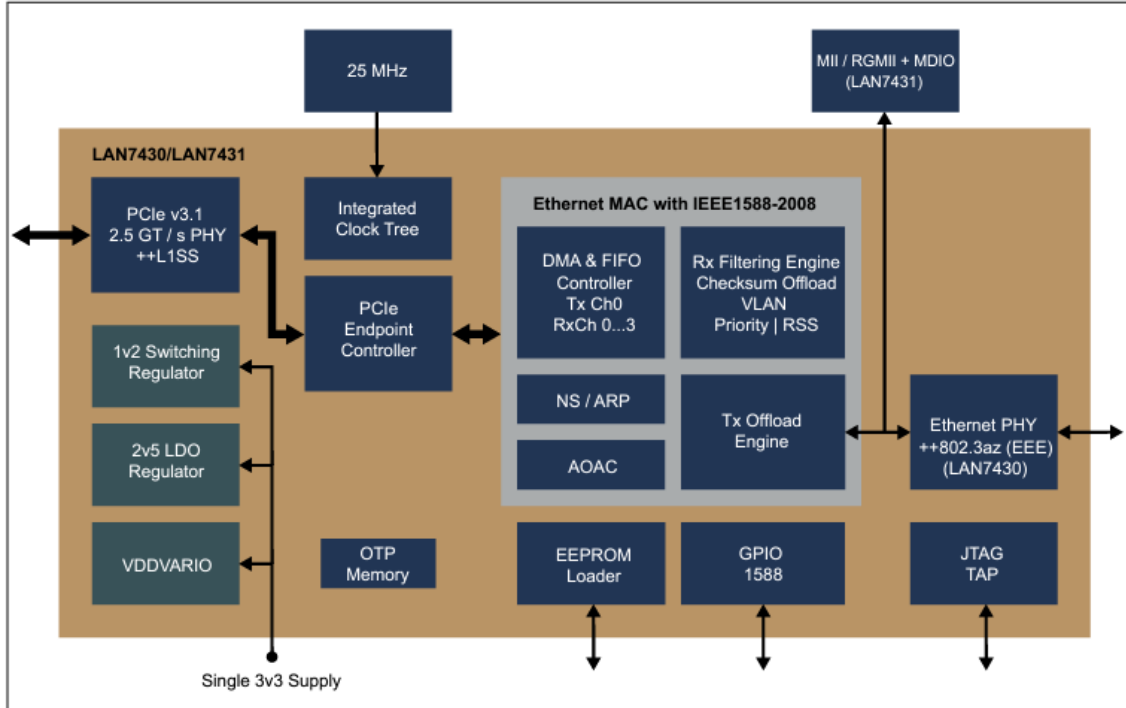
**Şekil 2.1.** Microchip Ethernet PHY Entegresi [32]



Şekil 2.2. Intel Ethernet PHY Entegresi [33]

Tasarlanan ve geliştirilen PCIe Ethernet Kartının mekaniği, 1U'luk rack kabinette kullanılan sunuculara takılabilecek yapıdadır. Ayrıca tak-çalıştır özelliğiyle, herhangi bir driver kurulumu gerektirmeksizin hızlı bir şekilde kullanıcılara cevap verebilmektedir [7, 8].

Geliştirilen kart, 1U'luk Rack kabinete uyumlu sunucu ile çalışan firmalarda kullanılmaktadır. Bu sayede ürünün piyasaya tanıtımının yapılması hedeflenmektedir. Microchip firmasının LAN7430 PHY entegresinin blok diyagramı Şekil 2.3'de gösterilmiştir [9, 10].



Şekil 2.3. Microchip Ethernet PHY Blok Diyagramı

## 2.2. PCIe Ethernet Kart Tasarımı Çalışmaları

PCIe Ethernet Kartının tasarımı için Altium Designer programı kullanılmıştır. Altium Designer, elektronik tasarım sürecinde kullanılan bir yazılım programıdır. Bu program, elektronik devre tasarımı, PCB tasarımı, simülasyon, veri yönetimi ve üretim hazırlığı gibi birçok farklı işlevi bir arada sunar.

Altium Designer, kullanıcılarına özelleştirilebilir arayüz seçenekleri sunar ve bu sayede tasarım sürecini daha verimli hale getirir. Programın arayüzü, elemanların yerleştirilmesi, bağlantıların çizilmesi, kütüphane yönetimi, simülasyon ve sinyal bütünlüğü analizi gibi işlemleri kolaylaştıran araçlar içerir.

Sonuç olarak, Altium Designer, elektronik tasarım sürecinde kullanılan kapsamlı bir programdır. Kullanıcıların tasarım sürecini kolaylaştıran özelleştirilebilir arayüzü ve birçok işlevi bir arada sunması ile öne çıkar [11, 12, 13].

## 2.3. Blok diyagramının oluşturulması ve çizim programına eklenmesi

Kartın şematik çiziminde Blok Diyagram seviyesinde tasarım yapılmıştır. Altium Designer programında blok diyagramı tasarlamak, elektronik tasarım sürecinde birçok avantaj sağlar.

**Kavramsal Tasarımın Kolaylaştırılması:** Blok diyagramları, tasarımın kavramsal yapısını ve işlevlerini gösterir. Bu sayede, tasarımcılar, projenin bütünü anlamak için blok diyagramlarına başvurabilirler.

**Tasarımın Parçalara Ayrılması:** Blok diyagramları, tasarımın farklı parçalarının birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu ve iletişim kurduğunu gösterir. Bu, tasarımın parçalara ayrılmasını ve her bir parçanın ayrı ayrı ele alınmasını sağlar. Böylece, tasarım süreci daha yönetilebilir hale gelir.

**Test ve Doğrulama Sürecinin Kolaylaştırılması:** Blok diyagramları, tasarımın test edilmesi ve doğrulanması için de kullanılabilir. Tasarımın blok diyagramı, doğrulama sürecinde kullanılan test senaryolarının belirlenmesine yardımcı olur.

**İletişimi Kolaylaştırma:** Blok diyagramları, tasarımın farklı bileşenlerinin nasıl bir araya geldiğini ve birbirleriyle nasıl etkileşimde bulunduğunu açıkça gösterir. Bu, tasarım sürecindeki iletişimi kolaylaştırır. Tasarımcılar, blok diyagramlarına başvurarak, tasarımın hangi aşamada olduğunu ve ne yapılması gerektiğini net bir şekilde anlayabilirler [14, 15]. **Şekil 2.4'**de PCIe Ethernet Kartın Altium Designer elektronik tasarım programı ile tasarlanmış blok diyagramı gösterilmiştir.



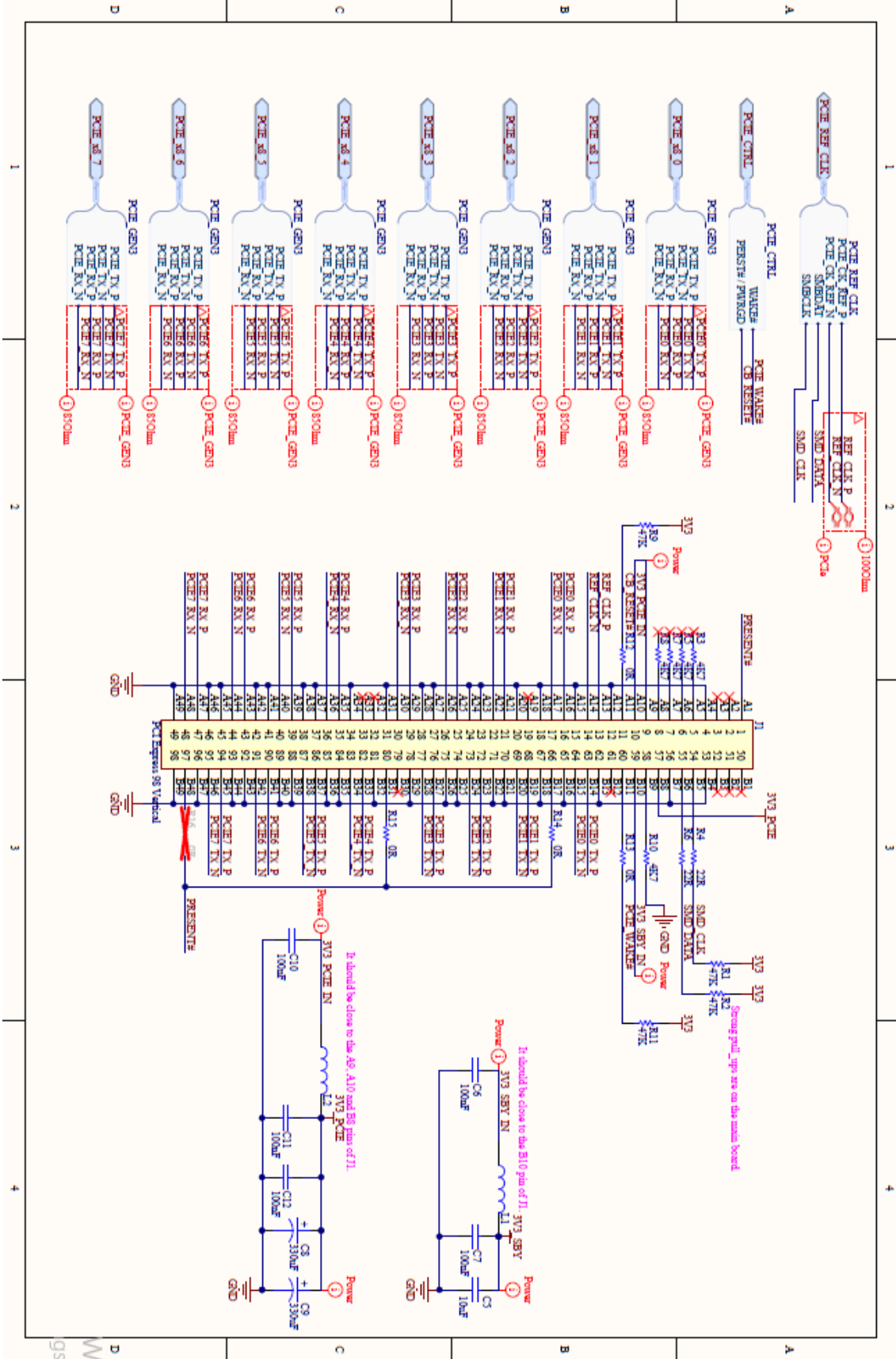
### 2.3.1. PCIe arayüz konnektörünün devre şeması

PCIe arayüz konnektörü, bilgisayar bileşenleri arasında yüksek hızlı veri transferi sağlayan bir bağlantı noktasıdır. PCIe, özellikle anakartlar, ekran kartları, sabit diskler ve diğer donanımlar arasında yüksek hızlı veri transferi yapmak için kullanılır.

PCIe arayüz konnektörleri, farklı boyutlarda ve hızlarda mevcuttur. Her PCIe bağlantı noktası, belirli bir sayıda veri yolu içerir. PCIe 1.x sürümlerinde her veri yolu, 250 MB/sn (megabayt/sn) hıza kadar desteklerken, PCIe 2.x sürümlerinde bu hız 500 MB/sn'ye çıkar. PCIe 3.x sürümlerinde ise hız 1 GB/sn'ye kadar çıkar. PCIe 4.x sürümlerinde ise hız 2 GB/sn'ye kadar çıkar. Tasarımda kullanılan Ethernet PHY entegresinin desteklediği hız PCIe 3.1 olduğu için PCIe arayüz konnektörünün PCIe 3.x sürümü kullanılmıştır.

Tasarlanan PCIe kartı 2 farklı varyant(opsiyon) olarak tasarlanmıştır. Kullanıcının isteğine göre hem 4 Port hem de 8 Port ethernet çıkışlı bir kart tasarımı yapılabilir. 4 Portlu ethernet çıkışı için tasarlanan kart 4x PCIe arayüzü ile, 8 Portlu ethernet çıkışı için tasarlanan kart ise 8x PCIe arayüzü ile çalışmaktadır.

Her iki tasarımı içermesi amacı ile 8x PCIe arayüzüne uyumlu bir konnektör yapısı seçilmiştir. **Şekil 2.5'**de 8x PCIe arayüz konnektörünün şematik çizimi gösterilmiştir [19].



Şekil 2.5. PCIe Arayüz Konnektörünün Devre Şeması

### 2.3.2. Clock buffer (saat arabelleği) yapısının devre şeması

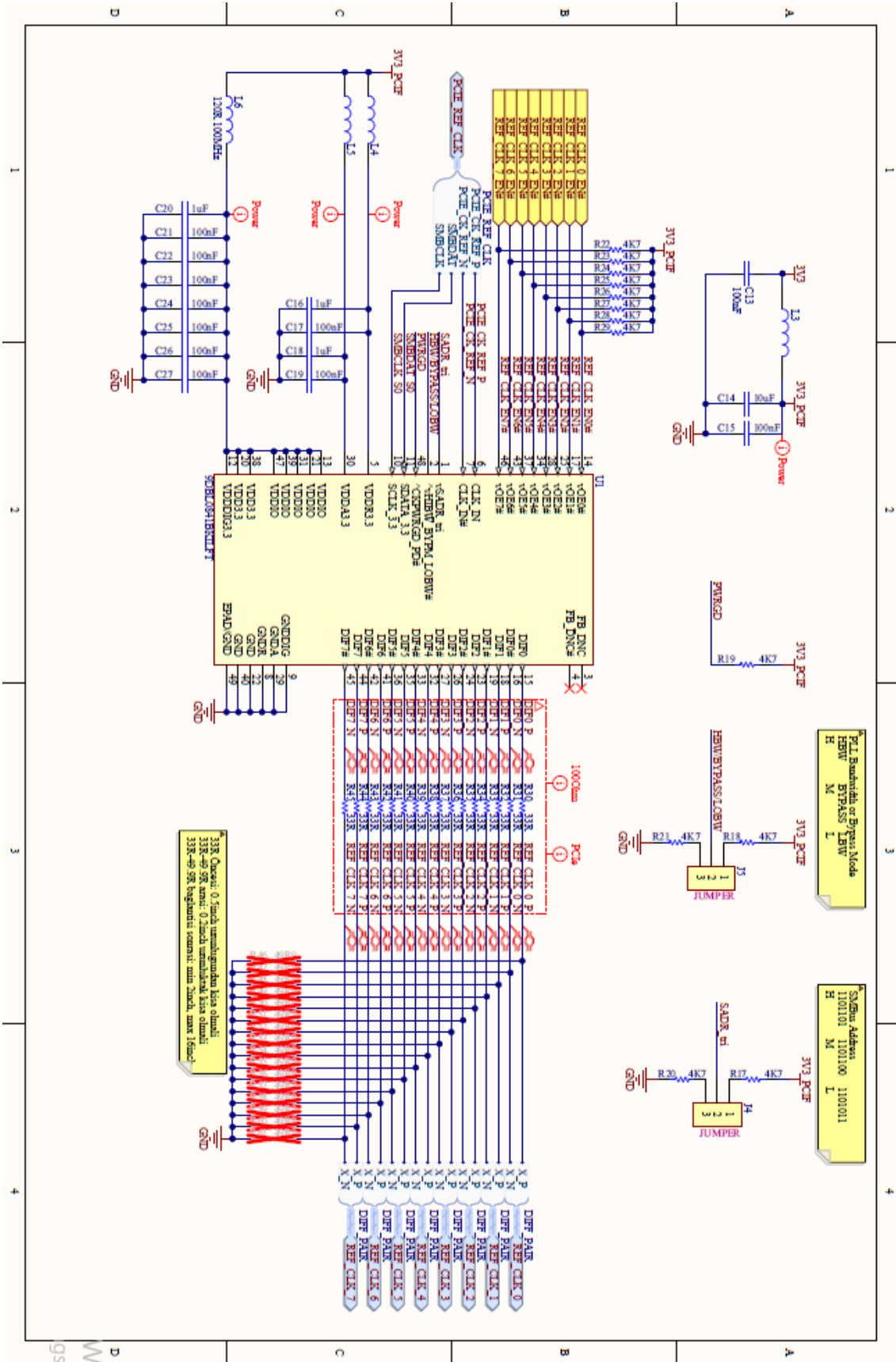
Clock Buffer, bir giriş sinyalini bir veya daha fazla çıkış sinyaline dağıtan ve çıkış sinyallerinin giriş sinyaline tamamen kararlı bir şekilde senkronize olmasını sağlayan bir tür entegredir.

Genellikle büyük sistemlerde, yüksek hızlı saat sinyallerinin birçok bileşene dağıtılması gerektiğinde kullanılırlar. Bu bileşenler arasındaki senkronizasyon, sistem performansını etkileyebilir ve veri hatası, jitter (sinyal dalgalarında yaşanan bozulma) ve gürültü gibi sorunlar ortaya çıkarabilir.

Clock Buffer entegreleri, bu sorunların önüne geçmek için kullanılır. Giriş sinyali, bir Clock Buffer entegresinin girişine bağlanır ve entegre, bu giriş sinyalini tüm çıkışlara dağıtır. Bu sayede, her bileşen aynı senkronize saat sinyalini alır ve sistem performansı artar.

Sonuç olarak, Clock Buffer entegreleri, yüksek hızlı sistemlerde veri hatası, jitter ve gürültü gibi sorunların önüne geçerek, sistem performansını artıran ve bileşenler arasında senkronizasyon sağlayan önemli bir bileşendir.

8x PCIe hattında 1 adet Clock sinyali bulunmaktadır. Tasarlanan kartta Microchip firmasının PHY entegresinden 8 adet kullanılmıştır. Her entegre için 8 ayrı Clock sinyali gerekmektedir. Bu sinyalleri elde etmek için Clock Buffer entegresi kullanılmıştır. Kullanılan Clock Buffer entegresi 8x PCIe hattından gelen 1 adet Clock Sinyalini 8 adet Clock Sinyaline dönüştürmektedir. Bu sayede her bir PHY entegresinin 8 ayrı Clock Sinyali ile tetiklenmesi sağlanmıştır. **Şekil 2.6**'da Clock Buffer yapısının devre şeması gösterilmiştir [16, 17].



Şekil 2.6. Saat Arabelleği Yapısının Devre Şeması

### 2.3.3. Ethernet PHY entegresinin devre şeması

Ethernet PHY, bir Ethernet ağındaki veri iletiminin fiziksel katmanını yöneten bir cihazdır. Ethernet kablosu üzerinden veri paketlerinin iletimini ve alımını sağlar ve Ethernet standardında belirlenen farklı veri hızlarına uyumlu bir şekilde çalışabilir.

PCIe'den Gigabayt Ethernet kontrolcü, bilgisayar sistemlerinin PCIe arabirimini kullanarak hızlı, güvenilir ve yönetilebilir bir Gigabit Ethernet bağlantısı sağlayan bir kontrol cihazıdır. Bu cihaz, yüksek performans, güvenlik ve yönetim özellikleri sunar ve kablosuz ağ bağlantılarına göre daha iyi bir seçenek olabilir.

PHY entegresinin çizimi için Microchip firmasının LAN7430 PHY entegresinin referans şemasından yardım alınmıştır. **Şekil 2.7'**de 1 Blok LAN7430 için devre şeması gösterilmiştir [18, 19]. Tasarımda bu yapıdan 8 adet kullanıldığı **Şekil 2.4'**de *30\_LAN7430.SchDoc* bloğunda gösterilmiştir.

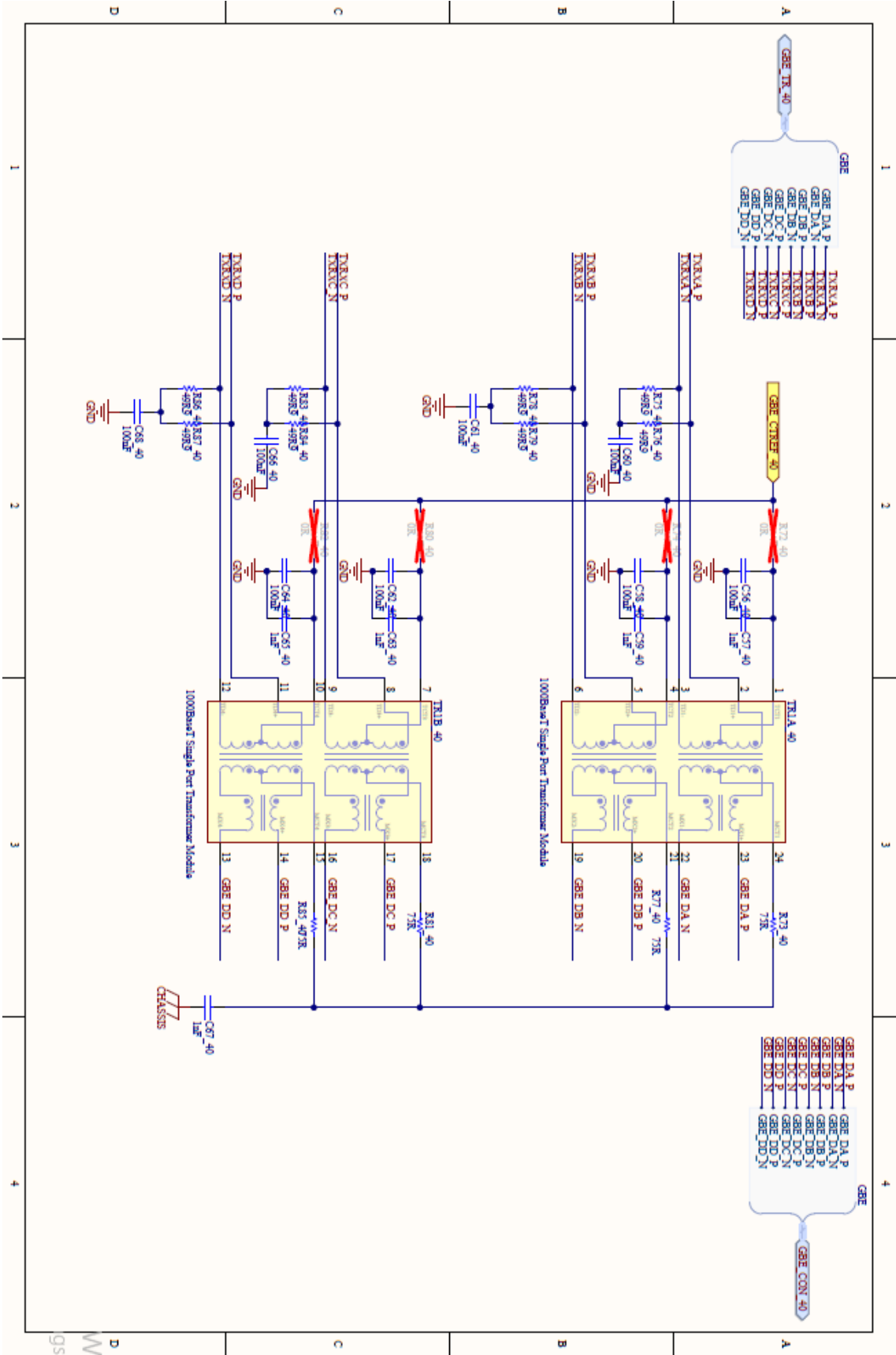


#### 2.3.4. RJ45 ethernet trafosunun devre şeması

Ethernet trafosu, Ethernet veri sinyallerini transformatörlü bir tasarım kullanarak bir Ethernet arabiriminden kablolama üzerinden aktaran bir cihazdır. Ethernet trafoları, Ethernet veri sinyallerinin kablolama üzerinde iletilmesine, alınmasına ve yüksek performanslı veri iletiminin sağlanmasına yardımcı olur.

Ethernet trafosu, Ethernet arabirimindeki veri sinyallerini yalıtır ve özellikle Ethernet kablolama standardına uygun olarak belirli bir şekilde eşleştirir. Bu, Ethernet veri sinyallerinin kablolama üzerinde daha iyi iletilmesine ve alınmasına yardımcı olur. Ayrıca, Ethernet trafosu, transformatörlü bir tasarım kullanarak cihazlar arasında yüksek hızlı veri iletimini sağlar.

Bazı Ethernet Konnektörlerinin içeriğinde Ethernet Trafolar da dahil olarak üretilmiştir. Fakat bu konnektörlerinin piyasada az sayıda bulunmasından dolayı ayrık bir tasarım seçilmiştir [20, 21]. **Şekil 2.8**'de Ethernet Trafosunun devre şeması gösterilmiştir. Tasarımda bu yapıdan 8 adet kullanıldığı **Şekil 2.4**'de *40\_Transformer\_Module.SchDoc* bloğunda gösterilmiştir.



Şekil 2.8. RJ45 Ethernet Trafosunun Devre Şeması

### 2.3.5. RJ45 konnektörünün devre şeması

RJ45, ağ kablolarını ve Ethernet arabirimlerini birbirine bağlamak için kullanılan bir standart konnektördür. RJ45 konnektörleri, Ethernet kablolamasında veri aktarımı için sıkça kullanılan bir tür konnektördür.

RJ45 konnektörleri, kablolama üzerindeki sinyal gürültüsünü azaltmak ve veri sinyallerini daha güvenilir bir şekilde iletmek için tasarlanmıştır. RJ45 konnektörleri, Ethernet kablosunun her iki ucuna takılır ve Ethernet kablosunu Ethernet arabirimine bağlamak için kullanılır.

RJ45 konnektörleri, birçok farklı Ethernet ağ kablosu türü için uygun olan standart bir bağlantıdır. Cat5, Cat5e, Cat6 ve Cat6a Ethernet kablolama standartları, RJ45 konnektörleriyle kullanılır.

Sonuç olarak, RJ45 konnektörü, Ethernet kablolamasında veri aktarımı için kullanılan standart bir konnektördür. RJ45 konnektörleri, Ethernet kablosunun her iki ucuna takılır ve Ethernet cihazları arasında veri iletimi sağlamak için kullanılır.

Ethernet trafosundan geçen Ethernet sinyalini dış arayüze ulaştırmak için RJ45 Ethernet konnektörleri kullanılmıştır. 1 Gbps İnternet hızları için bu konnektörler kullanılmaktadır [22, 23]. **Şekil 2.9**'da 4 Port versiyonlu RJ45 Ethernet konnektörünün devre şeması, **Şekil 2.10**'da ise 8 Port versiyonlu RJ45 Ethernet konnektörünün devre şeması gösterilmiştir.



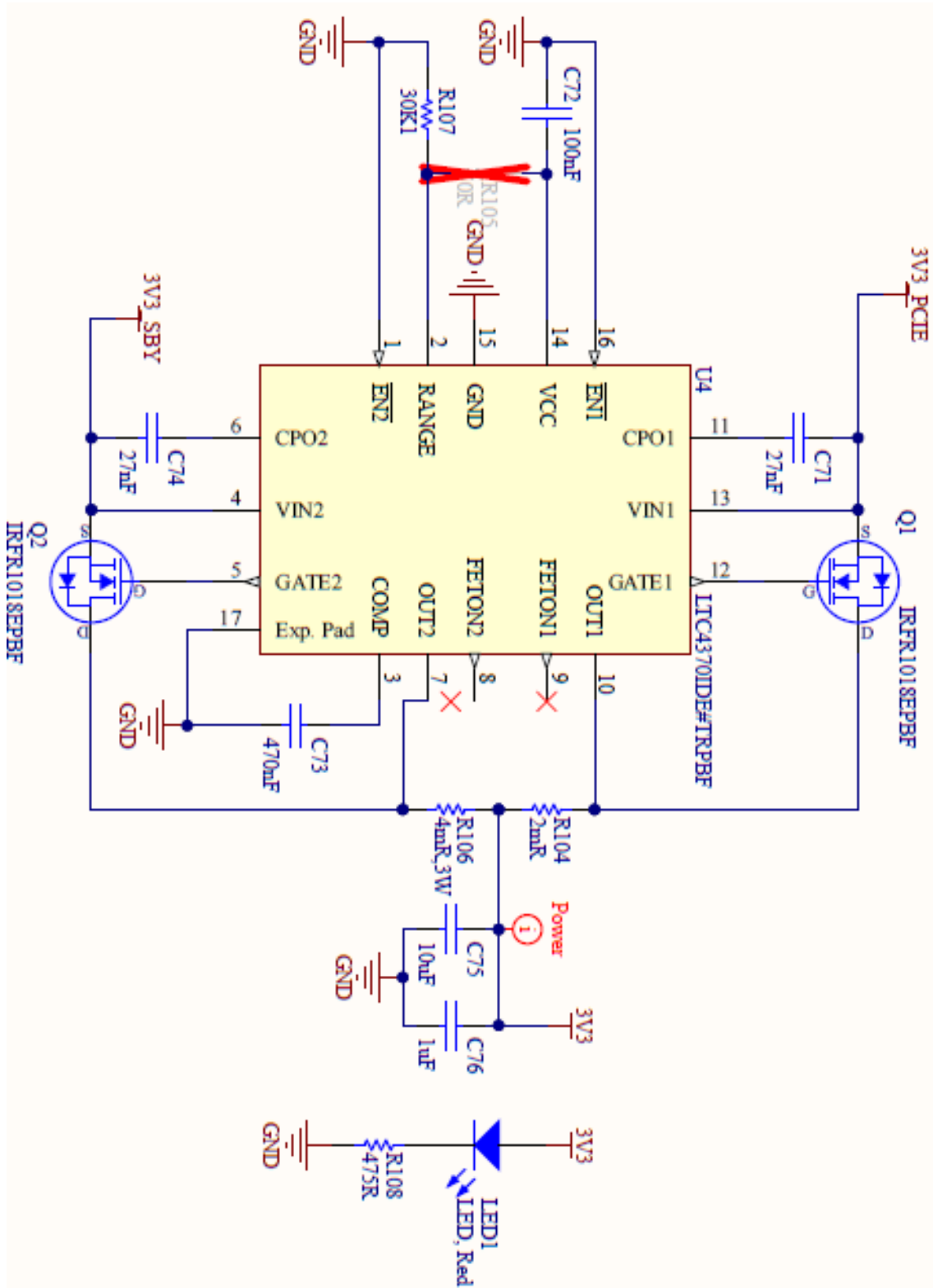


### 2.3.6. Güç hattının devre şeması

Current Balancing Controller (CBC), birden fazla güç kaynağı kullanılarak beslenen bir sistemde, kaynaklardan gelen akımları dengelemek için kullanılan bir kontrol cihazıdır. CBC, güç kaynakları arasındaki akım eşitliğini koruyarak, daha yüksek bir sistem verimliliği ve güç dengesi sağlar.

PHY entegrelerinin çalışması için gereken 3.3 Voltluk gerilimi PCIe Arayüzü sağlamaktadır. PCIe arayüzünden 3V3\_PCIe ve 3V3\_SBY gerilimleri alınmaktadır.

PHY entegrelerinin giriş gerilimlerinin stabil olması çok önemlidir. Herhangi bir enerji kesintisi veya dalgalanması kartın düzgün çalışmamasına sebep olabilir. Bu tasarımda İki Beslemeli Akım Dengeleme Kontrolünü sağlayan bir kontrolcü kullanılmıştır. 3V3\_PCIe ve 3V3\_SBY gerilimlerini balans ederek PHY entegresinin girişinde kullanılacak 3V3 çıkış gerilimi oluşturmaktadır. Bu sayede PHY Entegrelerinin gerilim dalgalanmalarından dolayı düzgün çalışmamasının önüne geçilmiştir [24]. **Şekil 2.11**'de Akım Dengeleme Kontrolünü sağlayan kontrolcünün devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Güç Hattının Devre Şeması

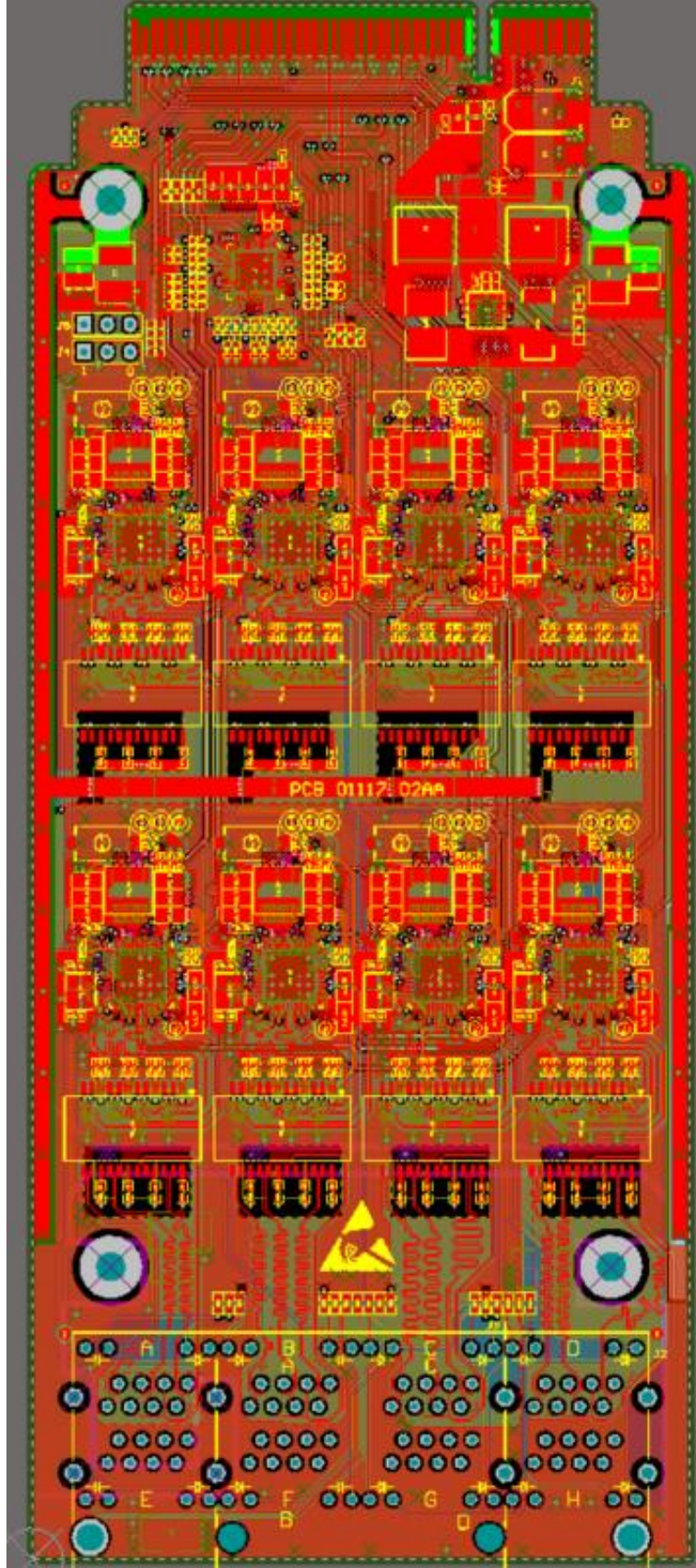
### 2.3.7. PCIe ethernet kartının pcb tasarımı

PCIe Ethernet Kartının şematik tasarımından sonra PCB tasarımına geçilmiştir. PCB tasarımına başlamadan önce kartın kaç katlı olacağı ve tasarım kuralları belirlenmiştir. Hattın çok fazla sinyal hattı içermesi ve bu sinyallerin yüksek hızlı olması sebebiyle çok katmanlı PCB tasarımı yapılmıştır.

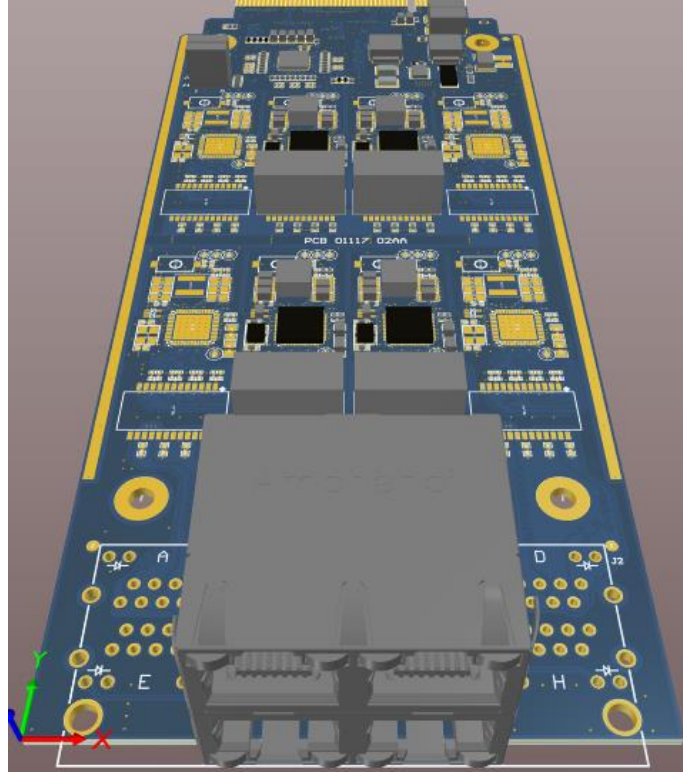
PCIe Ethernet kartı için 8 katmanlı bir tasarım uygun görülmüştür. PCB üretici firmaları ile de görüşülecek 8 katmanlı kart tasarımı için Stack-Up bilgileri alınmış ve tasarıma eklenmiştir. Şekil 2.12’de PCB Layer Stack çıktısı gösterilmiştir. Şekil 2.13’de PCIe Ethernet Kart PCB 2D, Şekil 2.14’de ise PCIe Ethernet Kart PCB 3D çıktıları gösterilmiştir.

#	Name	Material	Type	Thickness	Weight	Dk
	Top Overlay		Overlay			
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask	0,026mm		3,8
1	Top Layer		Signal	0,037mm	1oz	
	Dielectric1	FR-4	Prepreg	0,07mm		3,8
2	Internal Plane 1		Plane	0,018mm	1/2oz	
	Dielectric 3	FR-4	Core	0,125mm		4,2
3	Signal Layer 1		Signal	0,018mm	1/2oz	
	Dielectric 4	FR-4	Prepreg	0,14mm		3,8
4	Internal Plane 2		Plane	0,035mm	1oz	
	Dielectric 2	FR-4	Core	0,71mm		4,2
5	Internal Plane 3		Plane	0,035mm	1oz	
	Dielectric 6	FR-4	Prepreg	0,14mm		3,8
6	Signal Layer 2		Signal	0,018mm	1/2oz	
	Dielectric 7	FR-4	Core	0,125mm		4,2
7	Internal Plane 4		Plane	0,018mm	1/2oz	
	Dielectric 5	FR-4	Prepreg	0,07mm		3,8
8	Bottom Layer		Signal	0,037mm	1oz	
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask	0,026mm		3,8
	Bottom Overlay		Overlay			

Şekil 2.12. PCIe Ethernet Kart PCB Katman Yığını



Şekil 2.13. PCIe Ethernet Kart PCB 2D Gösterimi



Şekil 2.14. PCIe Ethernet Kart PCB 3D Gösterimi

#### 2.4. PCIe Ethernet Kartının Prototipi

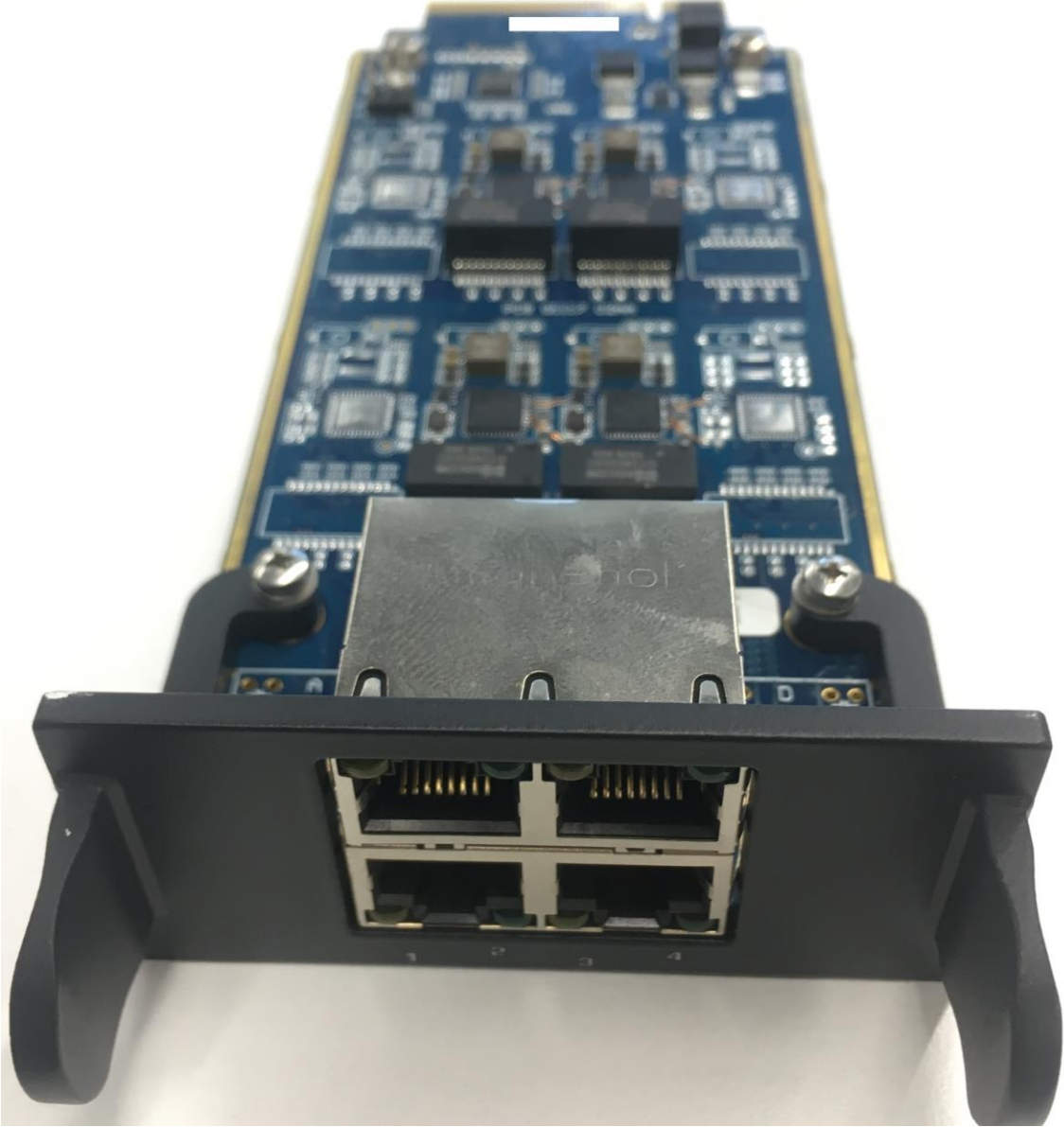
PCIe Ethernet Kartının ilk prototipinin tasarımı için Pavotek firmasının Elektronik kart dizgi hatları kullanılmıştır. Tasarımdan alınan üretim çıktıları üretim birimindeki ilgili kişilere ulaştırılmış ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretimi tamamlanan kartın işlevsel testleri yapılmış ve raporlanmıştır. **Tablo 2.1**'de PCIe Ethernet Kart İşlevsel Test Tablosu gösterilmiştir.

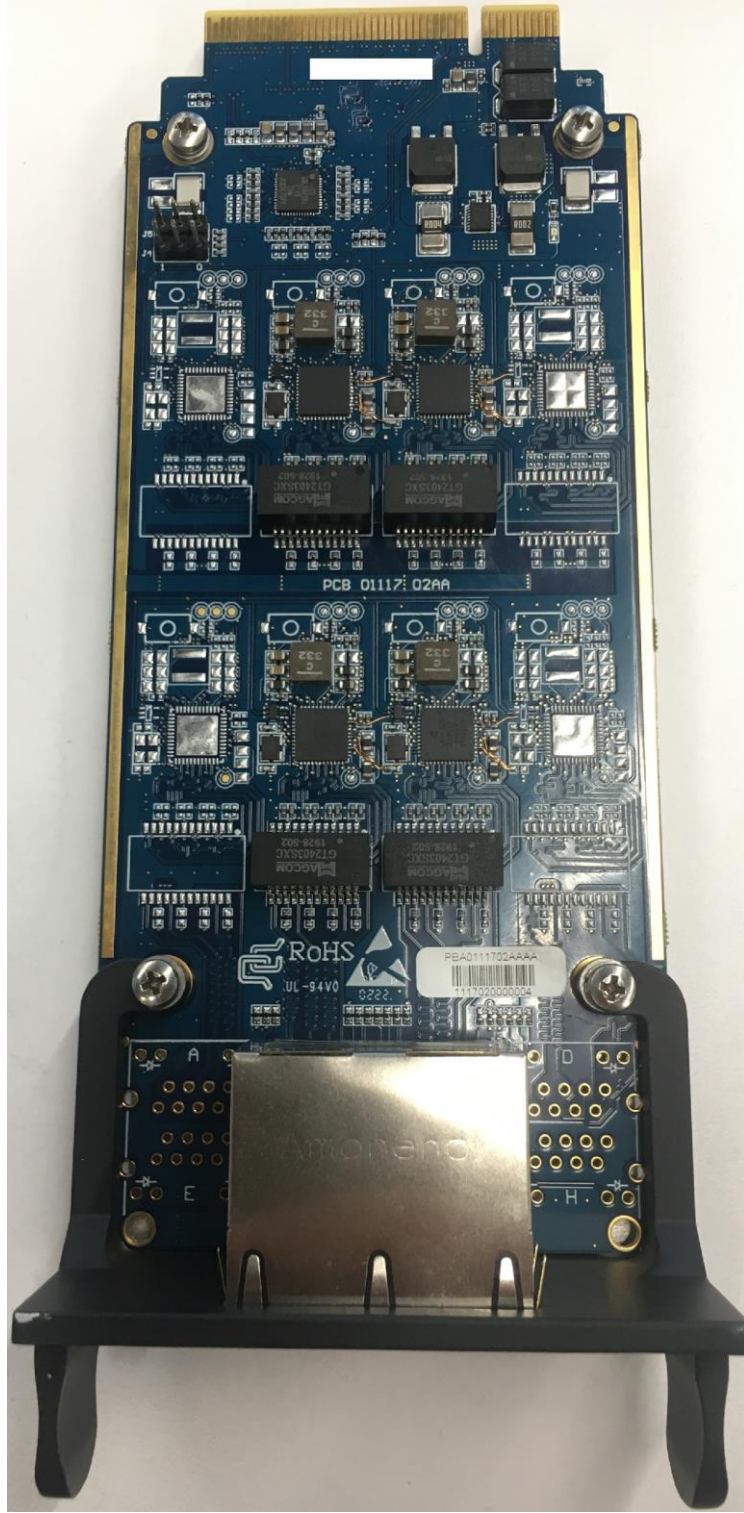
**Tablo 2.1.** PCIe Ethernet Kart İşlevsel Test Tablosu

No	Test Adı	Ölçüm	Birim	Sonuç
1	Kısa Devre (3V3_PCIE)	5000	Ohm	Geçti
2	Kısa Devre (3V3_SBY)	5000	Ohm	Geçti
3	Kısa Devre (3V3)	5000	Ohm	Geçti
4	Gerilim Doğrulama (3V3_PCIE)	3.302	Volt	Geçti
5	Gerilim Doğrulama (3V3_SBY)	3.305	Volt	Geçti
6	Gerilim Doğrulama (3V3)	3.303	Volt	Geçti
7	Ping Testi	1	Gözlem	Geçti

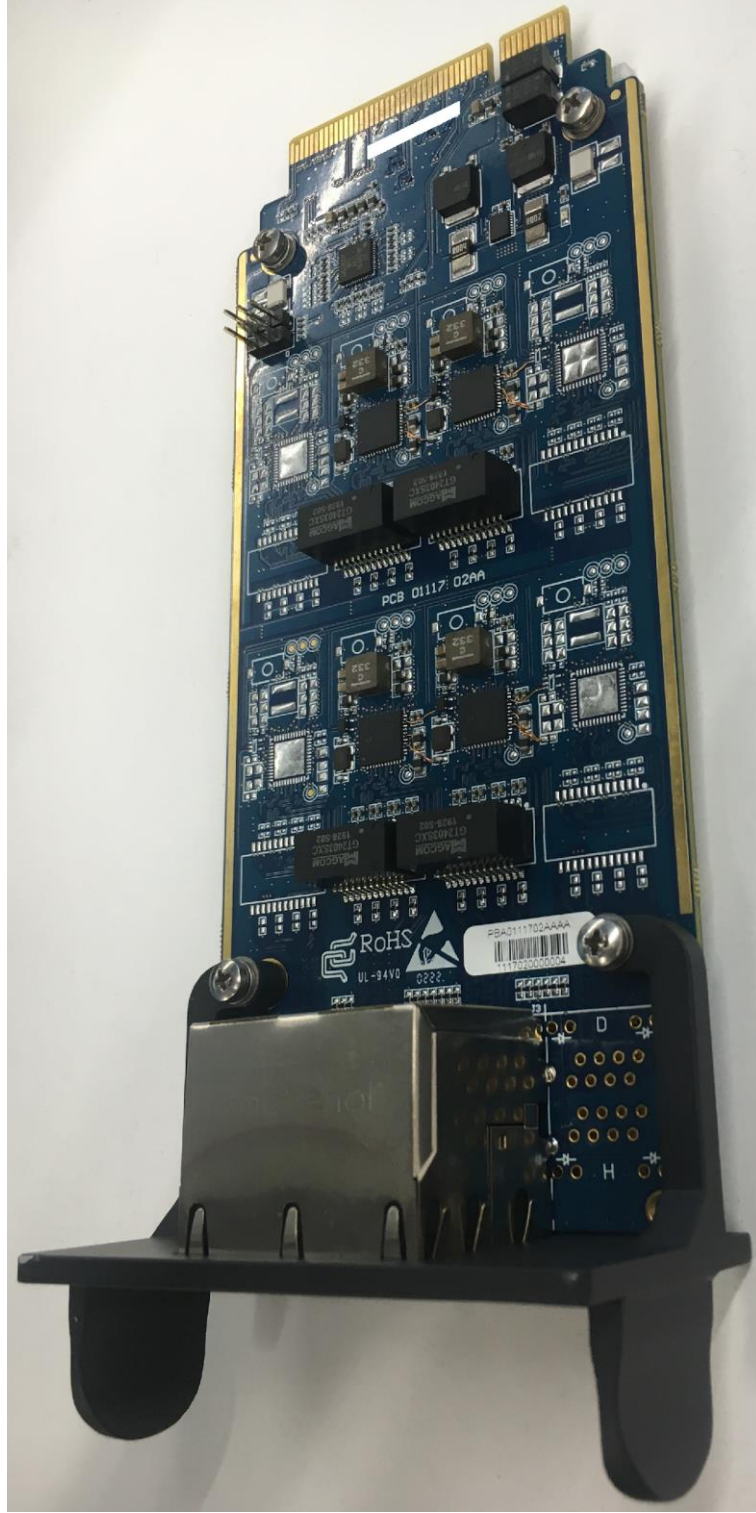
Elektronik tasarımı, üretimi, elektronik komponentlerin lehimlenmesi ve elektronik testleri tamamlanmış PCIe Ethernet Kartının Şekil 2.15, Şekil 2.16, Şekil 2.17, Şekil 2.18 ve Şekil 2.19’da fotoğrafları gösterilmiştir.



**Şekil 2.15.** PCIe Ethernet Kartının Önden Gösterimi



Şekil 2.16. PCIe Ethernet Kartının Üstten Gösterimi



Şekil 2.17. PCIe Ethernet Kartının Üst Yandan Gösterimi



**Şekil 2.18.** PCIe Ethernet Kartının Yandan Gösterimi



**Şekil 2.19.** PCIe Ethernet Kartının Alttan Gösterimi

### 3. TESTLER

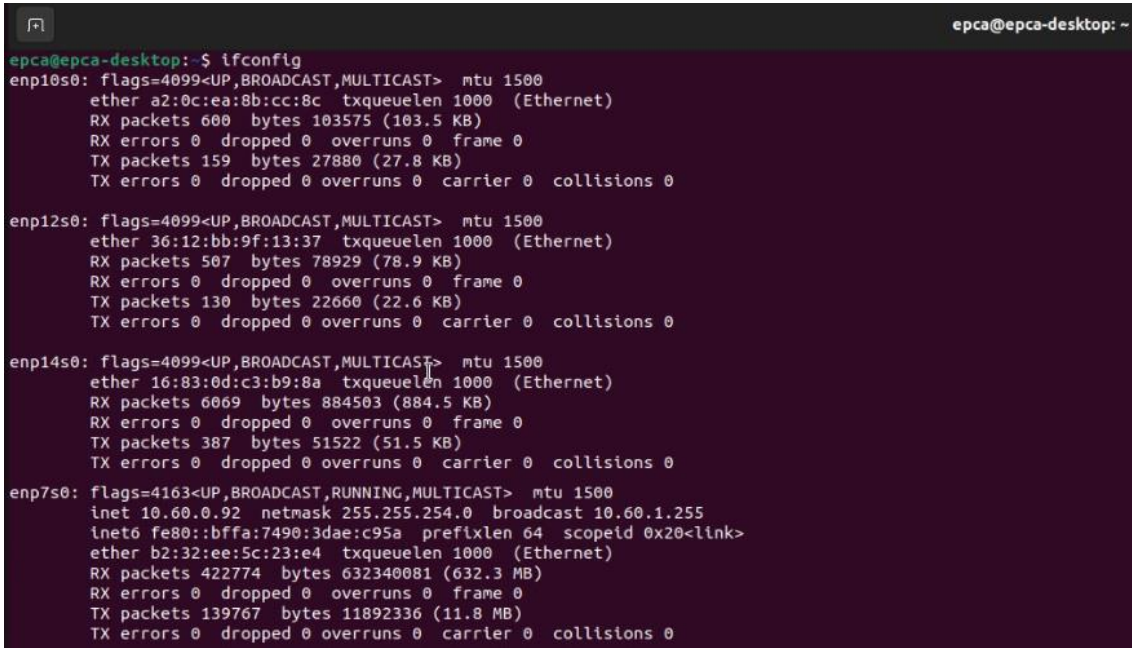
#### 3.1. Sunucuya Bağlantı Testi

PCIe Ethernet Kartı, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de gösterildiği gibi Linux işletim sistemi ile çalışan sunucu sistemine takılmış ve sistem açılmıştır.

“*ifconfig*” komutu, Linux işletim sisteminde ağ ayarlarını görüntülemek veya yapılandırmak için kullanılır. Önceki Linux sistemlerinde, ağ arabirimleri genellikle "eth0", "eth1" gibi basit isimlerle adlandırılırdı. Ancak modern Linux dağıtımları, systemd tarafından sağlanan Predictable Network Interface Names (PNIN), Tahmin Edilebilir Ağ Arayüzü Adları adlı bir özellik kullanarak daha tutarlı ve öngörülebilir isimlendirme benimsemiştir.

Şekil 3.1’de sunucu sisteminin terminal ekranındaki ethernet arayüzleri gösterilmiştir.

Şekilde “*enp7s0*, *enp10s0*, *enp12s0* ve *enp14s0*” 4 Portlu PCIe Ethernet Kartının ethernet arayüzleri gösterilmiştir [25, 26].



```
epca@epca-desktop: ~
epca@epca-desktop: $ ifconfig
enp10s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
        ether a2:0c:ea:8b:cc:8c txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 600 bytes 103575 (103.5 KB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 159 bytes 27880 (27.8 KB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp12s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
        ether 36:12:bb:9f:13:37 txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 507 bytes 78929 (78.9 KB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 130 bytes 22660 (22.6 KB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp14s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
        ether 16:83:0d:c3:b9:8a txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 6069 bytes 884503 (884.5 KB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 387 bytes 51522 (51.5 KB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp7s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
        inet 10.60.0.92 netmask 255.255.254.0 broadcast 10.60.1.255
        inet6 fe80::bffa:7490:3dae:c95a prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
        ether b2:32:ee:5c:23:e4 txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 422774 bytes 632340081 (632.3 MB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 139767 bytes 11892336 (11.8 MB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Şekil 3.1. PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucunun Linux Terminalindeki IP Konfigürasyonunun Gösterimi

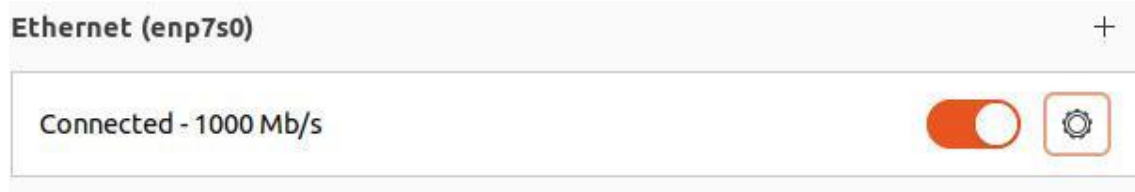
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de enp7s0 arayüzünün internet bağlantı durumu ve parametreleri gösterilmiştir.enp7s0 ismi şu şekilde açıklanabilir:

en: Ethernet’i temsil eder.

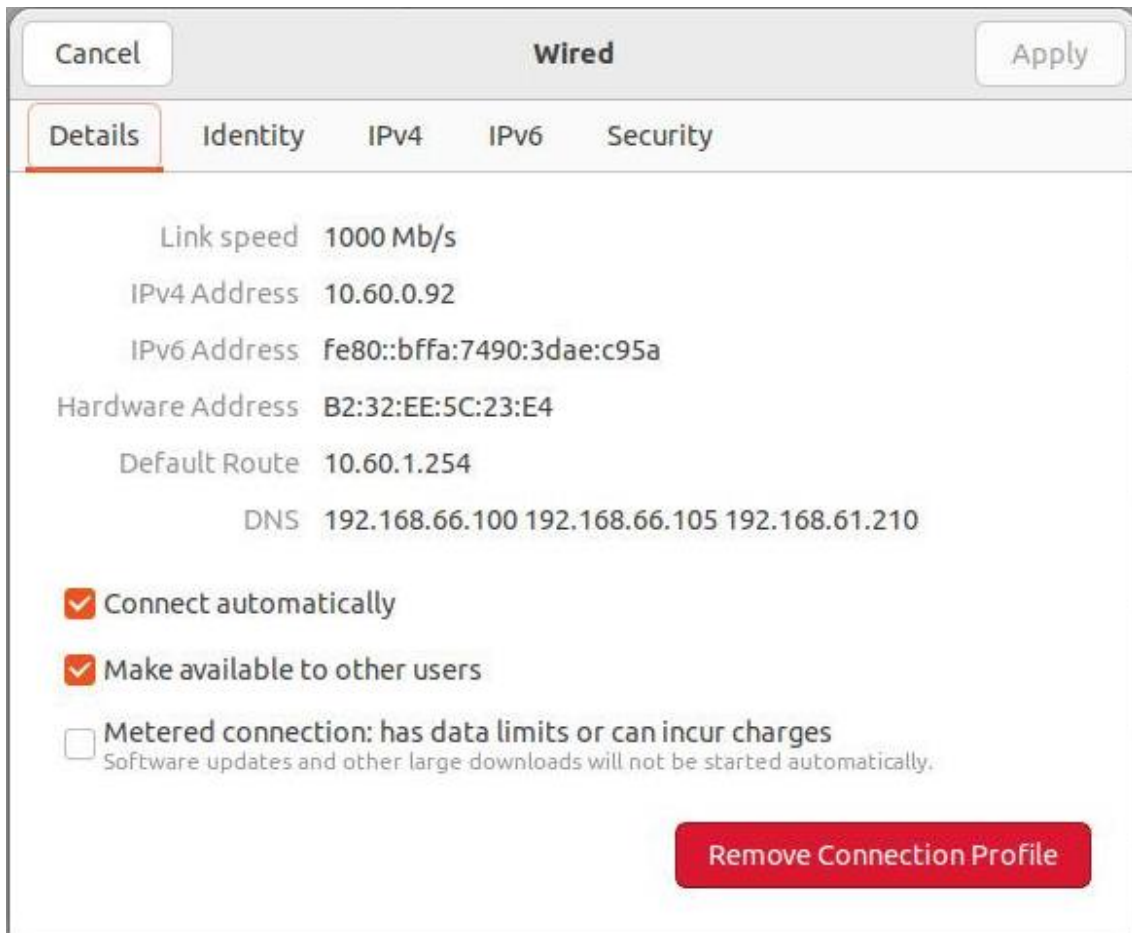
p7: PCI (Peripheral Component Interconnect) veriyolu numarasını belirtir.

s0: Bağlantı noktasının (slot) sıfır (0) numaralı bağlantı noktası olduğunu belirtir.

Bu isimle, ağ arayüzünün Ethernet olduğu, PCI veriyolu üzerinde bulunduğu ve sıfır numaralı bağlantı noktasına bağlı olduğu anlaşılır.



Şekil 3.2. PCIe Ethernet Kartının 1. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu



Şekil 3.3. PCIe Ethernet Kartının 1. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de enp10s0 arayüzünün internet bağlantı durumu ve parametreleri gösterilmiştir. Enp10s0 ismi şu şekilde açıklanabilir:

en: Ethernet’i temsil eder.

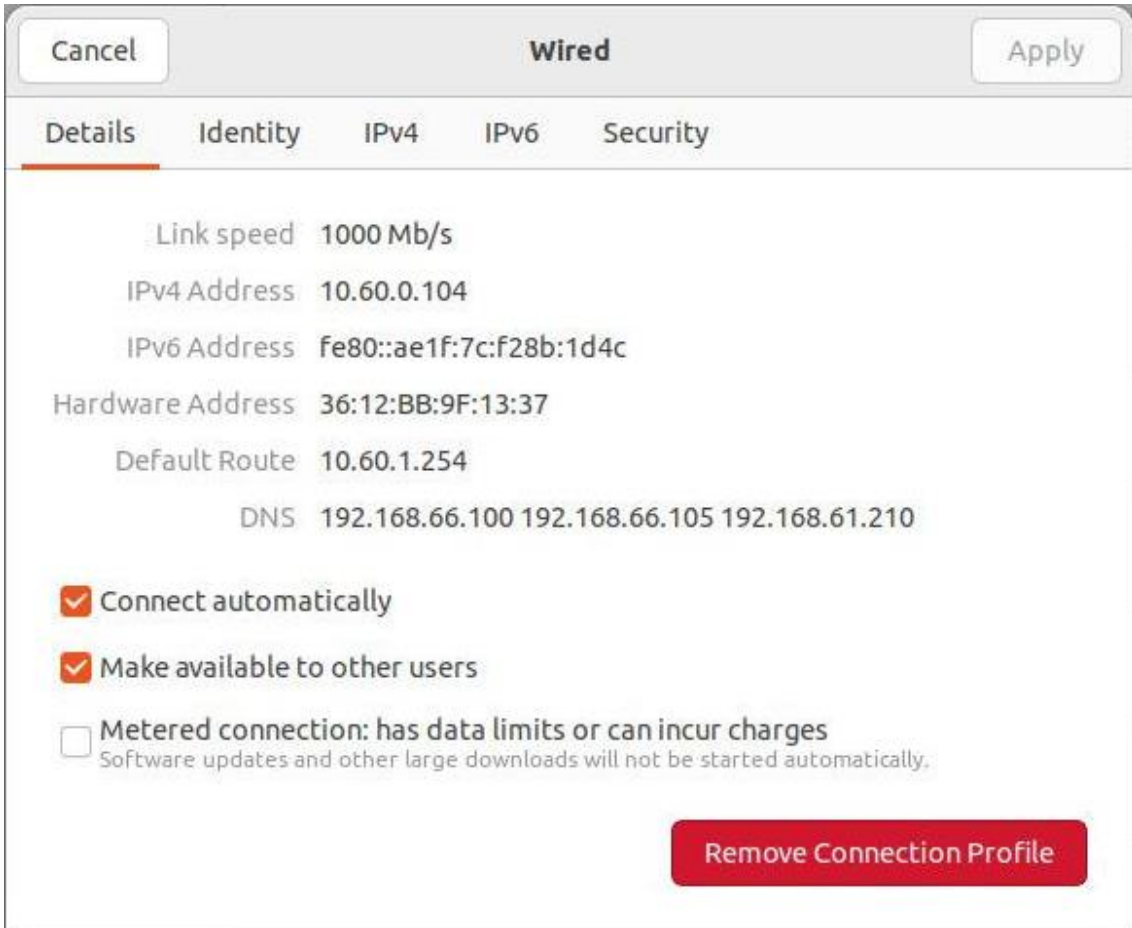
p10: PCI (Peripheral Component Interconnect) veriyolu numarasını belirtir.

s0: Bağlantı noktasının (slot) sıfır (0) numaralı bağlantı noktası olduğunu belirtir.

Bu isimle, ağ arayüzünün Ethernet olduğu, PCI veriyolu üzerinde bulunduğu ve sıfır numaralı bağlantı noktasına bağlı olduğu anlaşılır.



Şekil 3.4. PCIe Ethernet Kartının 2. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu



Şekil 3.5. PCIe Ethernet Kartının 2. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de enp12s0 arayüzünün internet bağlantı durumu ve parametreleri gösterilmiştir. Enp12s0 ismi şu şekilde açıklanabilir:

en: Ethernet’i temsil eder.

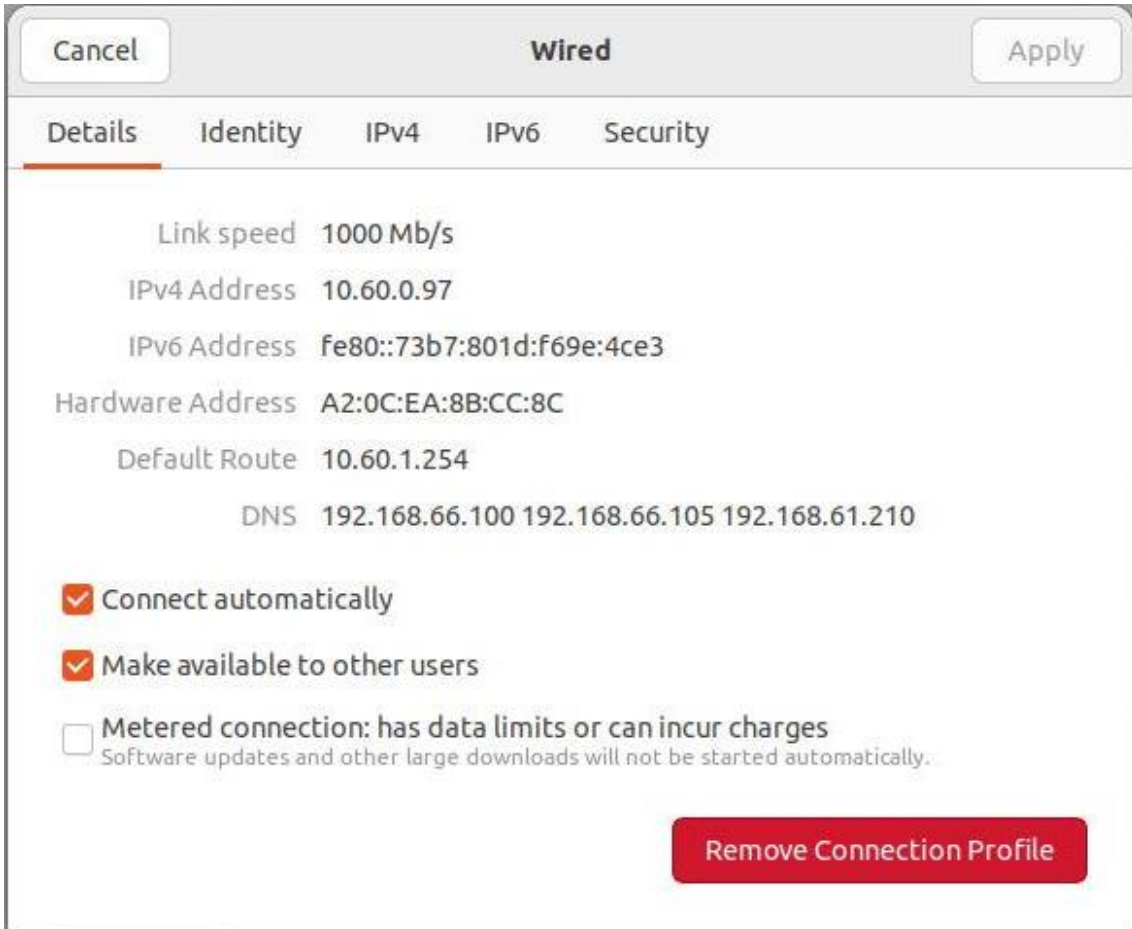
p12: PCI (Peripheral Component Interconnect) veriyolu numarasını belirtir.

s0: Bağlantı noktasının (slot) sıfır (0) numaralı bağlantı noktası olduğunu belirtir.

Bu isimle, ağ arayüzünün Ethernet olduğu, PCI veriyolu üzerinde bulunduğu ve sıfır numaralı bağlantı noktasına bağlı olduğu anlaşılır.



Şekil 3.6. PCIe Ethernet Kartının 3. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu



Şekil 3.7. PCIe Ethernet Kartının 3. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri

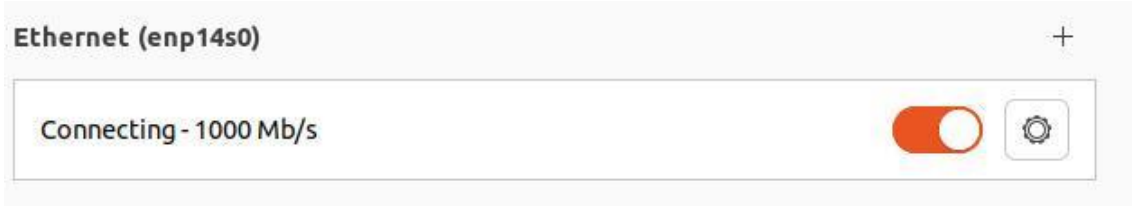
Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da ise enp14s0 arayüzünün internet bağlantı durumu ve parametreleri gösterilmiştir. Enp14s0 ismi şu şekilde açıklanabilir:

en: Ethernet’i temsil eder.

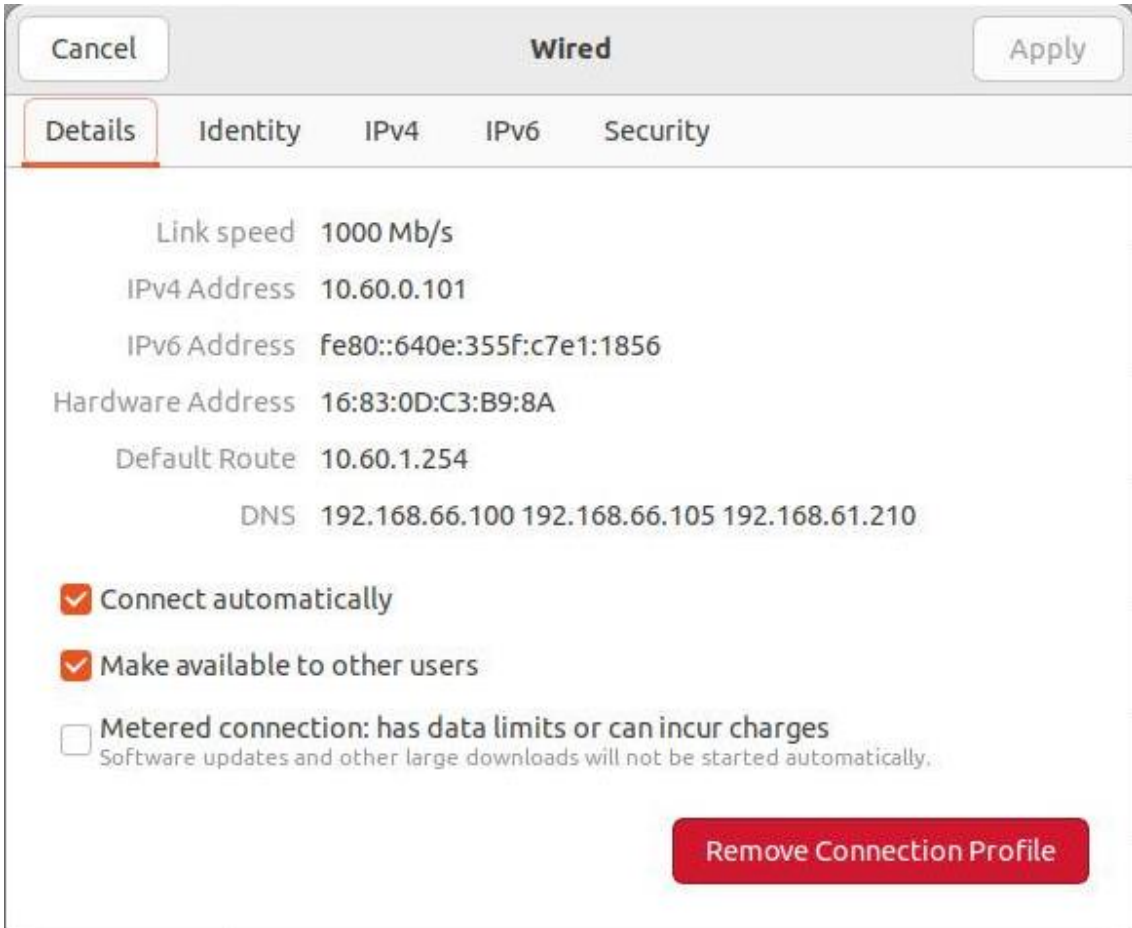
p14: PCI (Peripheral Component Interconnect) veriyolu numarasını belirtir.

s0: Bağlantı noktasının (slot) sıfır (0) numaralı bağlantı noktası olduğunu belirtir.

Bu isimle, ağ arayüzünün Ethernet olduğu, PCI veriyolu üzerinde bulunduğu ve sıfır numaralı bağlantı noktasına bağlı olduğu anlaşılır.



Şekil 3.8. PCIe Ethernet Kartının 4. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısı Durumu



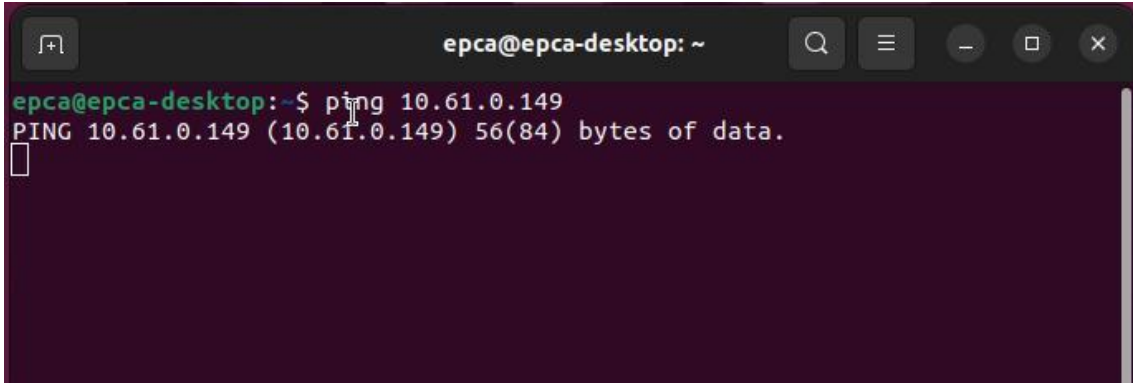
Şekil 3.9. PCIe Ethernet Kartının 4. Portu ile Sunucunun Linux Sisteminde Gösterilen İnternet Bağlantısının Parametreleri

### 3.2. Ping Testi

Ping komutu, bir ağdaki bir cihaza veya sunucuya erişilebilirliği kontrol etmek için kullanılan bir ağ aracıdır. Genellikle, hedef cihaza bir ICMP (Internet Control Message Protocol) ECHO\_REQUEST paketi gönderilir ve hedef cihazın bu paketi alıp geri gönderip göndermediği kontrol edilir. Ping komutu, ağdaki bir hedefe ulaşılp ulaşılamadığını ve ağ üzerindeki gecikmeyi (ping süresi) ölçmek için kullanılır.

Ping komutu, sunucunun PCIe Ethernet Kartı ile ağ üzerinden iletişim kurabildiğini doğrulamanın basit bir yolu olarak kullanılmıştır.

Şekil 3.10'da PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucunun Linux Terminalinde Gösterilen Ping Atma Parametreleri gösterilmiştir.



```
epca@epca-desktop: ~  
epca@epca-desktop: ~$ ping 10.61.0.149  
PING 10.61.0.149 (10.61.0.149) 56(84) bytes of data.  
█
```

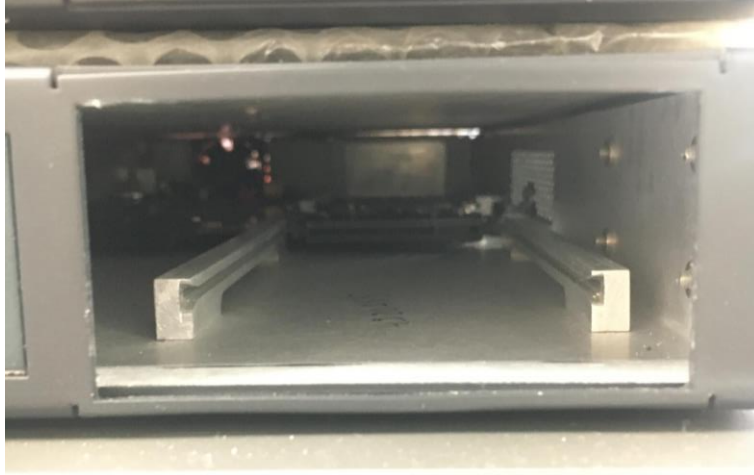
Şekil 3.10. PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucunun Linux Terminalinde Gösterilen Ping Atma Parametreleri

### 3.3. Mekanik Uyumluluk Testi

Tasarlanan PCIe Ethernet Kartı Rack Kabinelerde kullanılan 1U sunucuların mekaniğe uygun şekilde tasarlanmıştır. Tasarımın prototipi 1U sunucularda kullanılmış ve tasarım doğrulanmıştır. Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucu Cihazlarının fotoğrafları gösterilmiştir.



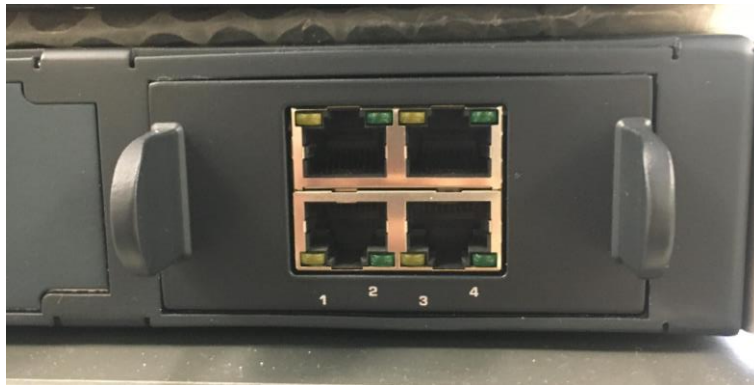
Şekil 3.11. PCIe Ethernet Kartı Takılan Sunucu Cihazları Gösterimi



**Şekil 3.12.** Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzlerinin Gösterimi



**Şekil 3.13.** Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzüne Yarım Takılan PCIe Ethernet Kart Gösterimi



**Şekil 3.14.** Sunucu Sistemlerinin Genişleme Arayüzlerine Tam Takılan PCIe Ethernet Kart Gösterimi

## 4. SONUÇ

Bu çalışma, sunucu sistemlerine uyumlu PCIe Ethernet kartlarının özgün bir tasarımını sunar. Bu tasarım, sunucu sistemlerinin yüksek hızlı ağ bağlantılarına olan ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde özel olarak geliştirilmiştir.

Çalışmanın özgün olmasının yanı sıra, bu gibi teknolojik ürünler için yurt dışından gelebilecek amborgalara karşı önemli bir kaynak olmaktadır. Sunucu sistemlerine uyumlu ethernet kartları ne kadar yaygın olsa da termin süreleri uzun olabiliyor. Bu da ihtiyaç halinde hızlı bir şekilde elde edilmesinin önüne geçiyor. Bu çalışma sayesinde PCIe Ethernet kartına ihtiyaç olduğu durumda hızlı bir şekilde elde edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan PHY entegresi Microchip firmasının üretmiş olduğu entegredir. Bu entegre, PCIe ethernet yapısını tanımak ve bu yapı ile alakalı bir alt yapı oluşturmak amacıyla seçilmiştir. Bu yapının avantajları arasında hızlı tasarım, kısa arge süresi ve düşük maliyet gibi etkenler vardır. Materyal ve Yöntemler kısmında da gösterilen Intel PHY entegresi, Microchip firmasının entegresine göre daha iyi özelliklere sahip bir entegredir. Microchip PHY entegresi, 1xPCIe sinyalinin 1xEthernet sinyaline dönüştürmektedir. Yani 8xEthernet çıkışı istenen bir PCIe Ethernet Kart için, 8xPCIe çıkışına sahip sunucunun PCIe yapısını, işlemcinin BIOS ekranında 8 adet 1xPCIe olarak ayarlanması gerekmektedir. Bazı işlemcilerde bunu yapmak mümkün olmayabilir. Ayrıca bu yapı, güç hattını direkt PCIe hattından almaktadır. Herhangi bir koruma yapısı olmaması olumsuz yönleridir. Bu çalışmada koruma yapısı olarak Current Balancing Controller yapısı eklenmiştir. Bu sayede yedekli güç girişiyle yapıya güç koruması özelliği eklenmiştir. Intel PHY entegresi ise, 4xPCIe sinyalinin 4xEthernet sinyaline çevirmektedir. Yani 8xEthernet çıkışı istenen bir PCIe Ethernet Kart için, 8xPCIe çıkışına sahip sunucunun PCIe yapısını, işlemcinin BIOS ekranında 2 adet 4xPCIe olarak ayarlamak yeterli olacaktır. Bir çok işlemcide bunu yapmak mümkündür. Bu da kullanıcılar için büyük esneklik sağlamaktadır. Ayrıca yapı içerisinde bir çok güç koruma devreleri içermektedir. Bu da kullanıcılar tarafından seçilmesini sağlamaktadır. Piyasa satılan bir çok PCIe Ethernet kartları bu entegre ile tasarlanmıştır. İlk aşamada bu entegre ile tasarım yapılmamasının sebebi, uzun arge süresi ve maliyet olmuştur. Bu çalışmada kullanılan Microchip entegresi PCIe Ethernet yapısının tanınması açısından çok büyük fayda sağlamıştır. Hızlı ve uygun maliyetli tasarımı ile sunucu sistemlere uygun PCIe Ethernet Kart tasarımında kullanılması tercih edilmiştir.

Bir çok şirketin bilgi işlem merkezinde sunucular bulunmaktadır. Şirket içi dataların tutulduğu bu sunucular, dataların alış verişinde ethernet bağlantısı kullanır. Bu sunuculara ethernet özelliği kazandırmak için PCIe slotuna takılan Ethernet kartları kullanılır. Bu çalışma da PCIe Ethernet Kart tasarımını içermektedir. Bir çok yerli firma bu kartları yurtdışından temin etmektedir. Yerli olarak bu kartın tasarımı ve satışı yapılmamaktadır. PAVO grup, bir çok savunma sanayi projesini yürütmektedir. Yerli ve milli olarak bir çok askeri tasarımı vardır. Askeri ürünlerin yanı sıra sivil projelerde de büyük adımlar atmaktadır. Bunlardan en önde gelenleri sunucu sistemleridir. PAVO grup kendi bünyesinde sunucu tasarımı yapabilmiş nadir firmalardandır. Sunucu sistemlerini kendi bünyesindeki bilgi işlem merkezinde kullanmaktadır. Ayrıca sunucu sistemlerine entegre edilebilen ürünlerin de tasarımı için çalışmalar başlatmaktadır. Bu tezde yapılan PCIe Ethernet kart tasarımı da PAVO grubun hedeflediği ve gerçekleştirdiği bir projedir. Bu sayede yurtdışından satın alım yapılan ürünleri kendi bünyesinde tasarlayarak ve üreterek yerli ve milli projelere katkı sağlamaktadır.

Çalışma, tasarım ve üretim süreçlerini sunucu sistemlerine uyumlu bir şekilde gerçekleştirmiştir. Kart, sunucu sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, sunucu sistemlerinin hızlı büyüdüğü ve ağ iletişiminin kritik bir rol oynadığı günümüzde, sunucu sistemlerinin gereksinimlerini karşılamak ve yüksek performanslı ağ bağlantıları sunmak için önemli bir katkı sağlar. Ayrıca bu çalışma, benzer tasarım gereksinimlerine sahip araştırmacılar ve mühendisler için bir kılavuz olarak kullanılabilir ve PCIe Ethernet kartlarının tasarımı ve üretimi konusunda rehberlik eder.

## KAYNAKLAR

- [1] Zeng, M., Chen, C. (2023). Design of High-speed Data Transmission System Based on Fiber-PCIE. *Frontiers in Business, Economics and Management*. 7. 84-89. 10.54097/fbem.v7i3.5397.
- [2] Lin, Y., Jeng, J., Liu, Y., Huang, J. (2022). A Review of PCI Express Protocol-Based Systems in Response to 5G Application Demand. <https://doi.org/10.3390/electronics11050678>, *Electronics* 2022, 11(5), 678
- [3] Lanxu, J., Xiaoping, Y., Rikun, W., Leping, J. (2021). Design of PCIe-Gigabit Ethernet High-speed Data Interaction System Based on FPGA. 2021 Asia-Pacific Conference on Communications Technology and Computer Science (ACCTCS), Shenyang, China, 2021, pp. 138-142
- [4] PCI Express Base Specification, 5.0. Available online: <https://pcisig.com/specifications> (accessed on 20 July 2021)
- [5] Meng, E., Bu, X. (2020). Design and Implementation of High-Speed Transmission Link Based on PCI-E. 2020 Information Communication Technologies Conference (ICTC), Nanjing, China, 2020, pp. 188-191
- [6] Pci-e. (2022). Wikipedia. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Pci-e>
- [7] Chandra, K., Jagtap, A. P., Ranjan, N., Srivastava, S. (2019). Design of PCIe-DMA bridge interface for High Speed Ethernet Applications. 2019 Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP), Gangtok, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICACCP.2019.8882929.
- [8] Li, Y. (2022). A Coarse-Grained Reconfigurable Array Based Ethernet Reliable Transmission Design. 2022 IEEE 5th International Conference on Electronics and Communication Engineering (ICECE), Xi'an, China, 2022, pp. 61-64, doi: 10.1109/ICECE56287.2022.10048609.
- [9] Low Power PCIe to Gigabit Ethernet Controller with Integrated Ethernet MAC / PHY Datasheet, (2019). Microchip Technology Inc, June 25, 2019
- [10] Kiet, T. (2016). Gigabit Ethernet Design Guide, Application Note, Microchip Technology Inc, 2016.
- [11] John, M. (2018). Ethernet Compliance Testing for 10BASE-T, 100BASE-TX, and 1000BASE-T, Application Note, Microchip Technology Inc, 2018.
- [12] Wilen, A., Schade, J., Thorburg, R. (2003). Introduction to PCI Express: A

Hardware and Software Developer's Guide. Intel Press, USA

- [13] Chen, C. (2012). PCI Express-based Ethernet Switch. Master's Thesis, Arizona State University, USA.
- [14] Muthaiah, R., Arun, R. (2013). Design of AXI-PCIE Interface for Industrial Ethernet Applications. *Journal of Artificial Intelligence*, 6(2), 168-174.
- [15] Narstad, H. (2015). Long-range RMDA over PCI Express. Master's Thesis, Department of Informatics University of Oslo, Norway
- [16] Choi, W., Kim, Y., Bae, S., Kim, W. (2015). Design of specialized communication module for PCI express network devices. In: *Proceeding of Korean Institute of Communications and Information Sciences*
- [17] Zhao, Y., Liu, X., Yang, J. (2019). A resource and timing optimized PCIe DMA architecture using FPGA internal data buffer. *IEICE Electron. Exp.* 16(1), 20180858 (2019)
- [18] Kim, Y., Learn, Y., Choi, W. (2015). Design and implementation of PCI express based system interconnection. *J Inst Elect Inf Eng* 52(8):74–85
- [19] Rojas, J., Verastegui, J., Milla, M. (2017). Design and implementation of a high-speed interface system over Gigabit Ethernet based on FPGA for use on radar acquisition systems. *2017 Electronic Congress*, November 2017.
- [20] Zhao, J., Zeng, X., Guo, Z. (2019). Design and implementation of high speed PCIe cipher card supporting GM algorithms. *Dianzi Yu Xinxu Xuebao/J. Electron. Inf. Tech.* 41(10), 2402–2408 (2019)
- [21] Lanxu, J., Xiaoping, Y., Rikun, W., Leping, J. (2021). Design of PCIe-Gigabit Ethernet High-speed Data Interaction System Based on FPGA. *2021 Asia-Pacific Conference on Communications Technology and Computer Science (ACCTCS)*, 22-24 January 2021
- [22] Zhou, B., Qiu, Z. (2017). Design of PCI express real-time measurement and control platforms for MEMS gyroscopes. *Qinghua Daxue Xuebao/J. Tsinghua Univ.* 57(12), 1310–1316 (2017)
- [23] Sun, X., Yang, J., Li, J., Wang, S. Tian, F. (2021). Research on High-Speed Data Acquisition System Based on PCIE. *Emerging Trends in Intelligent and Interactive Systems and Applications*, 826-835
- [24] Maestro, J.A., Reviriego, P. (2010). Energy efficiency in industrial Ethernet: The

Case of Powerlink. IEEE Indus. Electron. Trans., 57: 2896-2903.

[25] Shim, C., Shinde, R., Choi, M. (2019). Compatibility enhancement and performance measurement for socket interface with PCIe interconnections. Human-centric Computing and Information Sciences volume 9, Article number: 10 (2019)

[26] PCI Express Base Specification, 5.0. Available online: <https://pcisig.com/specifications> (accessed on 20 July 2021)

[27] Network Modülleri. (2023). Advantech. [https://www.advantech.com/tr-tr/products/network-modules/sub\\_e5e66f28-41d0-47f3-9810-9d3f0edfc44e](https://www.advantech.com/tr-tr/products/network-modules/sub_e5e66f28-41d0-47f3-9810-9d3f0edfc44e)

[28] Install a PCIe Card in PCIe Slot 3. (2023). Oracle. [https://docs.oracle.com/cd/E72372\\_01/html/E72376/gqwfp.html](https://docs.oracle.com/cd/E72372_01/html/E72376/gqwfp.html)

[29] PCI Express 7.0 On Track For Massive Bandwidth Fueling Ridiculously. (2022). Hothardware. <https://hothardware.com/news/pci-express-70-huge-bandwidth-gains-64gbs-ssds>

[30] All about PCIe. (2023). Elgato. <https://help.elgato.com/hc/en-us/articles/360059182072-All-about-PCIe-PCI-Express->

[31] Categories of Ethernet LAN Cables in History. (2023). Telecom. <https://telecom.samm.com/history-of-ethernet-lan-cables-categories>

[32] LAN7430. (2023). Microchip. <https://www.microchip.com/en-us/product/lan7430>

[33] Intel® Ethernet Controller I350-AM4. (2023). Intel. <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/52966/intel-ethernet-controller-i350am4.html>

## **EKLER**

# ÖZGEÇMİŞ

## EĞİTİM

Bölüm	Kurum	Derece	Mezuniyet Tarihi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	Yüksek Lisans	-
Mekatronik Mühendisliği	Afyonkocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi	Lisans	Haziran 2018
Haberleşme	Bağcılar Anadolu Teknik Lisesi	Lise	Haziran 2012

## MESLEKİ DENEYİM

Birim	Kurum	Pozisyon	Başlangıç Tarihi	Ayrılma Tarihi
Donanım Tasarım	Pavelsis Avionics	Uzman Donanım Tasarım Mühendisi	Kasım 2023	-
Donanım Tasarım	MCFLY Robot Teknolojileri A.Ş.	Kıdemli Donanım Tasarım Mühendisi	Ekim 2022	Eylül 2023
Donanım Tasarım	Pavotek	Donanım Tasarım Mühendisi	Eylül 2020	Ekim 2022
Donanım Tasarım	Gümüş Uzay Savunma Havacılık	Donanım Tasarım Mühendisi	Şubat 2019	Eylül 2020
Araştırma Geliştirme	Ozon Sağlık Sistemleri Ltd.	Gömülü Sistem Mühendisi	Ocak 2017	Ocak 2019