

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ HATLARI ÜZERİNDEN İLETİŞİM İLE AKILLI PRİZ
KONTROLÜ SAĞLAYABİLECEK GÖMÜLÜ SİSTEM
DONANIM TASARIMI

ÖNER HATİPOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ HATLARI ÜZERİNDEN İLETİŞİM
İLE AKILLI PRİZ KONTROLÜ
SAĞLAYABİLECEK GÖMÜLÜ SİSTEM
DONANIM TASARIMI

ÖNER HATİPOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. ERKAN ZERGEROĞLU

GEBZE
2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.01.2014 tarih ve 2014/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/02/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan ÖNER HATİPOĞLU'nun tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ÜYE

: Doç Dr. M. Hakan HOCAOĞLU

ÜYE

: Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Günümüz evleri, akıllı ev sistemlerinin kullanılması ile beraber güvenlik, konfor ve teknoloji açısından giderek gelişmektedir. Benzer olarak akıllı şebekelerin kurulması, elektrik enerjisinin dağıtımı ve tüketiminde daha akıllı kontrol tekniklerinin uygulanmasını sağlamaktadır. Alt yapıdaki bu gelişmeler ve ev içi akıllı uygulamaların birleşmesi ile kullanılan enerjinin verimliliği, izlenilebilirliği ve kontrol edilebilirliği ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada akıllı evlerin alt yapısının kurulmasında kullanılabilecek ve güç hatları üzerinden haberleşmenin sağlandığı yeni bir akıllı ev uygulaması olan iPlug sistem tasarımı üzerine çalışılmıştır. Tasarımı yapılan iPlug sistemi, mevcut evlerin minimum maliyet ile akıllı evlere dönüştürülmesini, ev içi cihazların kontrolünün yapılmasını ve ev içi güç tüketiminin izlenebilmesini sağlamaktadır. Tez çalışmasının içeriği iPlug sisteminin tasarlanması, sistemin performansının incelemesi ve elde edilen bulguların paylaşılması olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Hattı Haberleşmesi (PLC), TFT, Gömülü Sistem, Akıllı Ev, Akıllı Şebeke, CENELEC, FSK, iPLUG.

SUMMARY

Today's homes are developing in terms of technology, security and comfort with the use of smart home systems. Also, the establishment of smart grids ensure the implementation of intelligent control techniques in distribution and consumption of electrical energy. Thus, the efficiency, traceability and controllability of the usage energy are highlighted with the merge of the developments in infrastructure and the smart home applications.

In this work, the iPLUG sytem, a new smart home application, which is used in the establishment of the smart home structure and is provided the communciation on power line, is studied. The iPlug system provides that converting the existing homes to smart homes with minimum cost-up, controlling the inhouse devices and monitoring the power consumption. The content of thesis includes iPlug system design, system performance analysis and the sharing of the obtained datas.

Keywords: Power Line Communication (PLC), TFT, Embedded System, Smart Home, Smart Grid, CENELEC, FSK, iPLUG.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Erkan Zergeroğlu'na,

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımda bana yardımcı ve destek olan çalıştığım kurum Arçelik'e ve lisans arkadaşım Ceyhun Sezenoğlu'na,

Tezimin hazırlanmasında yanımda olan ve tez çalışmasının gömülü yazılım aktivitelerini gerçekleştiren YetişkanEliaçık'a,

Son olarak manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Arş. Gör. Gizem Hatipoğlu'na ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. AKILLI EVLER ve VERİ İLETİŞİMİ	3
2.1. Akıllı Evler ve Akıllı Şebekeler	3
2.2. Akıllı Evler ve Akıllı Şebekelerde Kullanılan Haberleşme Teknikleri	5
2.3. Güç Hatları Üzerinden Veri İletimi (PLC)	8
2.3.1. Güç Hatları Üzerinden Haberleşme Standartları	8
2.3.2. Güç Hatları Üzerinden Haberleşme Protokolleri	10
2.3.3. Güç Hatları Üzerinden Haberleşmede Kullanılan Özel Entegreler ve Çözümler	14
3. iPLUG SİSTEM TASARIMI	16
3.1. iPlug Sistem Kurgusu	16
3.2. iPlugVeri İzleme-Kontrol Panel Tasarımı (İİP)	18
3.2.1. Beaglebone Kontrol Birimi	18
3.2.2. TFT Ekran ve Kontrolü	20
3.3. iPlug Haberleşme Tasarımı	28
3.3.1. Birinci Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi	29
3.3.2. İkinci Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi	35
3.3.3. Üçüncü Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi	37
3.4. Ölçüm Devreleri Tasarımı	45
3.4.1. Gerilim Ölçüm Devresi	46
3.4.2. Akım Ölçüm Devresi	49
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54

4.1. Deney Düzeneği Tasarımı	54
4.2. Gürültü Deneyleri	56
4.2.1. Elektrik Isıtıcısı Deneyi	56
4.2.2. Saç Kurutma Makinesi Deneyi	58
4.2.3. Bulaşık Makinesi Deneyi	59
5. ANALİZ VE SONUÇLAR	61
5.1. Yüksüz Koşulda Yapılan Deney Sonucu	61
5.2. Elektrikli Isıtıcı Deneyi Performans Sonuçları	63
5.3. Saç Kurutma Makinesi Deneyi Performans Sonuçları	65
5.4. Bulaşık Makinesi Deneyi Performans Sonuçları	67
5.5. Performans Karşılaştırma ve Analiz	69
 KAYNAKLAR	 71
ÖZGEÇMİŞ	74
EKLER	75

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u> Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
AMM	: Automated Meter Management
AMR	: Automated Meter Reading
BPL	: Broadband Power Line
CATV	: Cable Television
CEBUS	: Consumer Electronic Bus
CENELEC	: European Committee for Electrotechnical Standardization
DLNA	: Digital Living Network Alliance
EHS	: The European Home Systems Protocol
EIA	: Industries Alliance
EIB	: The European Installation Bus
EMS	: Energy Management Service
ERDF	: Electricité Réseau Distribution France
FCC	: Federal Communications Commission
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Global Positioning System
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	: Internet Protocol Television
IT	: Information Technologies
İHB	: iPlug Haberleşme Ara Birimi
İİP	: iPlug izleme paneli
KNX	: KONNEX
NAN	: Nishnawbe Aski Nation
OC	: Over Current
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	: Open Source Initiative
OV	: Over Voltage
PM	: Protective Mode
PRIME	: PowerLine Intelligent Metering Evolution
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition

TFT : Thin Film Transistor
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: CENELEC tarafından oluşturulmuş PLC frekans bandı.	9
2.2: X10 haberleşme sinyalizasyonu.	11
3.1: iPlug sistemi ana blok yapısı.	17
3.2: iPlug izleme paneli görüntüsü.	18
3.3: Beaglebone kartı blok şeması.	19
3.4: TI AM3359 işlemci özellikleri.	19
3.5: TFT ekran kimyasal yapısı.	20
3.6: TFT ekran ana sürücü birimleri.	21
3.7: Truly TFT800480-59E 7" TFT teknik çizimi.	22
3.8: Beaglebone ekran haberleşme bağlantısı.	23
3.9: TFT cap gerilim ölçümleri başlangıç sıralaması.	25
3.10: TFT cap gerilim ölçümleri ortalama değerler.	25
3.11: Vcom sürücü devre şeması.	26
3.12: TFT backlight kontrol devresi.	27
3.13: TFT cap devresi.	27
3.14: TFT cap gerilim ölçümü.	28
3.15: iPlug sistem haberleşme seviyeleri.	28
3.16: İstemci birim veri gönderme paket yapısı.	29
3.17: İstemci birim veri alma paket yapısı.	30
3.18: İstemci ve bağımlı uç birim tarafından gönderilen veri okuma.	31
3.19: İstemci ve bağımlı uç birim tarafından gönderilen veri yazma.	32
3.20: İstemci ve bağımlı uç birim tüm ana veri kümesi okuma.	33
3.21: İplug cihazı yazılım akış diyagramı.	34
3.22: PLC modem girişi ve çıkışı sinyal grafiği.	36
3.23: Plc modem FSK modülasyon sinyal grafiği.	36
3.24: Alıcı ve verici plc modemler arasındaki haberleşme gecikmesi.	37
3.25: Kuplaj, alım ve gönderim filtre devresi.	38
3.26: Plc kuplaj devresi alıcı sinyal yönü.	39
3.27: Hat kuplaj devresi frekans cevabı.	40
3.28: Plc RX pasif filtre devresi.	41

3.29:	RX pasif filtre devresi frekans cevabı.	42
3.30:	Plc TX aktif filtre devresi.	43
3.31:	TX aktif filtre devresi frekans cevabı.	45
3.32:	Gerilim devresi şematik tasarımı.	47
3.33:	Gerilim devresi pspice analiz tasarımı.	47
3.34:	Gerilim devresi 150V Pspice programı analiz sonucu.	48
3.35:	Gerilim devresi 300V Pspice programı analiz sonucu.	48
3.36:	Akım devresi şematik tasarımı.	49
3.37:	Akım devresi Pspice analiz tasarımı.	50
3.38:	Akım devresi 14A 50hz Pspice programı analiz sonucu.	50
3.39:	Akım devresi 14A 50Hz ve 3. harmonik Pspice programı analiz sonucu.	51
3.40:	Akım devresi 0.5A 50hz Pspice programı analiz sonucu.	52
3.41:	Akım devresi 0.5A 50Hz ve 3. harmonik Pspice programı analiz sonucu.	52
4.1:	Deney düzeneği tasarımı.	54
4.2:	Performans testleri deney sistemi.	55
4.3:	İPP test ekranı arayüz görüntüsü.	56
4.4:	Deneylerde kullanılan Arçelik FLV KS 2000 ısıtıcı.	57
4.5:	Elektrikli ısıtıcı enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.	57
4.6:	Deneylerde kullanılan SINBO saç kurutma makinesi.	58
4.7:	Saç kurutma makinesi enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.	59
4.8:	Deneylerde kullanılan BEKO bulaşık makinesi.	60
4.9:	Bulaşık makinesi enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.	60
5.1:	Yüksüz durum paket sıklığına bağlı performans grafiği.	62
5.2:	Yüksüz durum bit sıklığına bağlı performans grafiği.	62
5.3:	Elektrikli ısıtıcı deneyi paket sıklığına bağlı performans grafiği.	64
5.4:	Elektrikli ısıtıcı deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiği.	64
5.5:	Saç kurutma makinesi paket sıklığına bağlı performans deney grafiği.	66
5.6:	Saç kurutma makinesi deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiği.	66
5.7:	Bulaşık makinesi deneyi paket sıklığına bağlı performans grafiği.	68

5.8:	Bulaşık makinesi deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiğı.	68
5.9:	Gürültü bazında paket sıklığı karşılaştırması.	69
5.10:	Gürültü bazında bit sıklığı karşılaştırması.	70

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa:</u>
2.1: Uzaktan akıllı şebeke haberleşme teknikleri karşılaştırması.	6
2.2: Kanal tipine bağlı haberleşme teknikleri.	7
2.3: Kablolü/kablosuz haberleşme karşılaştırması.	7
2.4: Cenelec standardı bant özellikleri.	9
2.5: Piyasadaki özel plc entegreleri.	14
3.1: TFT800480-59-E TFT teknik özellikleri.	23
3.2- TFT gerilim değerleri.	26
3.3: iPlug haberleşme birimi komut dizisi.	30
3.4: Bağımlı uç birimde kayıtlı olan veriler.	31
3.5: System status register veri içeriği.	32
3.6: Paket veri yapıları.	33
3.7: ST7540 sinyal ayarlaması.	35
4.1: Arçelik FLV KS 2000 elektrikli ısıtıcı teknik bilgileri.	57
4.2: Sinbo SHD 2693 saç kurutma makinesi teknik bilgileri.	58
4.3: Beko bulaşık makinesi teknik bilgileri.	60
5.1: Yüksüz durumda elde edilen cevap paket sayıları.	61
5 2: Yüksüz durumda hesaplanan performans değerleri.	61
5.3: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.	63
5 4: Elektrikli ısıtıcı deneyinde hesaplanan performans değerleri.	63
5.5: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.	65
5.6: Saç kurutma makinesi deneyinde hesaplanan performans değerleri.	65
5.7: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.	67
5.8: Bulaşık makinesi deneyinde hesaplanan performans değerleri.	67
5.9: Gürültü bazında performans tablosu.	69

1. GİRİŞ

İnsanlığın ilk çağlarında barınma ihtiyacı için kullanılan evler, artık günümüzde lüks seviyelere taşınan bir yaşam alanı halini almıştır. Özellikle insanların zamanının çok büyük kısmını evlerinde geçirdiği düşünülürse güvenlik, konfor ve teknolojik kullanılabilirlik evler için önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaçların karşılanması da günümüze akıllı ev çözümleri ile karşılanmaya çalışılmaktadır.

Akıllı evler basit olarak insanların konfor, güvenlik ve kişisel ihtiyaçlarının günümüz teknolojik seviyesinde karşılanmasını hedeflemektedir. Tasarlanan bir evin “akıllı ev” özelliği kazanması için insanların rutin ihtiyaçlarına pratik çözümler kazandırıyor, enerji harcamalarında tasarruf yaratıyor veya mevcut güvenlik durumunu üst seviyelere taşıyor olmalıdır. Örneğin yangın tehlikesi anında cep telefonuna mesaj atılması veya eve gelmeden önce klimanın uzaktan ayarlanabilmesi hayata geçmiş basit ev içi akıllı çözümlerdendir.

İnsan nüfusundaki artış ve doğal kaynakların azalması ile beraber birçok temel ihtiyaca olan talep beklenmedik şekilde artmaktadır. Günümüz dünyasının elektrikli cihazlar üzerine kurulu olduğu düşünülürse elektrik enerjisi de artış gösteren başlıca ihtiyaçlar arasındadır. Daha önceleri büyüyen sanayi nedeni ile azalmaya başlayan enerji kaynakları, normal yaşam alanlarının beklenmedik artışıyla daha fazla kullanılacaktır. Enerji kaynaklarının bu derece önem kazanması mevcut yaşam alanlarında da enerjinin tasarruflu cihazların kullanılmasını gerektirmektedir. Evlerde kullanılan standart sayılabilecek elektrikli ev aletlerini (beyaz eşya, televizyon, mutfak gereçleri, v.b.) giderek enerji verimli cihazlar haline gelse de daha akıllı enerji yönetimlerinin yapılması gerekmektedir.

Ülkeler, son yıllarda artan elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması ve yaşanan elektrik dağıtım altyapılarının onarılması problemlerine daha uzun vadeli bir çözüm bulma yoluna gitmişlerdir. Bu kapsamda ‘Akıllı Şebekeler’ olarak isimlendirilen yeni bir elektrik dağıtım altyapısı tasarlanmış ve birçok pilot bölgede uygulanmaya başlanmıştır. Akıllı şebekeler, enerji tüketiminin tepe yaptığı noktalarda kullanımı zamana yayılmasını sağlayarak, altyapının daha verimli kullanılmasını sağlayan bir sistemdir.

Artık şebekelerin daha akıllı olduğu günümüzde, ev içerisindeki cihazların enerji kontrollerinin yapılması ve enerji tüketiminin anlık, günlük ve aylık olarak takip edilmesi akıllı ev konseptleri içerisinde mümkün olan bir özelliktir. Fakat bu yetenekler, mevcut evlere ancak altyapıda köklü değişiklikler yapılarak kazandırılmaktadır.

Bu tez çalışması içerisinde mevcut evlerin, altyapıda değişiklik yapılmadan akıllı evlere dönüştürülmesini sağlayacak yeni bir sistem tasarımı üzerine çalışılmıştır. Tez çalışmasının içeriği akıllı priz (iPlug) sisteminin tasarlanması, sistem performansının incelemesi ve elde edilen bulguların paylaşılması olarak belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, akıllı evler ve akıllı şebekeler hakkında yapılan literatür çalışmasının sonuçları ve ilgili standartlar paylaşılmıştır. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, iPlug sistem tasarımının detayları verilerek elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, tasarlanan iPlug sisteminin performansının analiz edildiği deney düzeneği tasarımı ve kullanılan gürültü kaynaklarının tanıtımı yapılmıştır. Tez çalışmasının beşinci bölümünde, tasarlanan iPlug sistemi üzerinde yapılan deneyler, sistemin performans analizleri ve deneyler sonucunda elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

2. AKILLI EVLER ve VERİ İLETİŞİMİ

2.1. Akıllı Evler ve Akıllı Şebekeler

Akıllı ev (Smart Home) kavramı, 1960'lı yılların başlarında hobicilerin geliştirdikleri kablolu ev ağları ile çalışılmaya başlanmış olsa da ilk defa 1984 yılında “American Association of House Builders” tarafından kullanılması ile profesyonel hayata taşınmış bir kavramdır [1].

Akıllı evler insanların konfor, güvenlik ve kişisel ihtiyaçlarını teknolojik gelişmelere bağlı olarak karşılamaya çalışan sistemlerdir. Evin akıllı olması fikri, tasarlanan akıllı çözümlerden ileri gelmektedir. Örneğin yangın tehlikesi anında cep telefonuna mesaj atılması, eve gelmeden önce klimanın uzaktan ayarlanabilmesi, prizlere takılı olan cihazların otomatik kontrolü gibi birçok güncel kullanılan fikir sıralanabilir.

Akıllı ev teması, aynı zamanda ev otomasyonu kavramı ile de örtüşmektedir. Ev otomasyonu genel olarak aydınlatma, ısıtma-havalandırma, elektrikli ev aletleri, güvenlik için kapı, pencere, geçiş alanları ve enerji sağlayıcıların kontrolün yapılmasıyla insanlara konforlu, güvenli ve enerji verimliliği yüksek bir yaşam alanı sunmaktadır. Tablet ve akıllı telefonların kullanımı ile “Internet of Things” kavramının yangınlaşması, ev otomasyonu uygulamalarında dramatik bir şekilde artış gerçekleşmesini sağlamıştır [2].

Akıllı evler, ihtiyaçlarımız ve rahatlığımız doğrultusunda yaşam alanlarımızın daha akıllı ve duyarlı olarak gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Geleceğin akıllı evleri, farklı teknolojilerin adaptasyonu ve ev ağlarında yaratılan yeni servisler ile yaşam standardını yükseltecektir. Ev otomasyonu, E-Sağlık, Akıllı Enerji Harcaması ve kesintisiz eğlence tanımlamaları akıllı evlerin anahtar kelimeleridir. Ev içerisindeki farklı cihazlar ve sistemler arasındaki iletişim ağı, akıllı evlerin gelişmesini sağlayan “Ev Ağı” olarak tanımlanmaktadır. Birçok akıllı ev uygulaması, farklı özellikleri nedeni ile internet bağlantısına ihtiyaç duymaktadır, böylelikle akıllı evlerin gelişmesindeki en temel ihtiyaç, ev içerisindeki geniş bantlı veri ağının sağlanmasıdır [3].

Ev içerisinde enerjinin verimli kullanımı üzerinde son yıllarda aktif çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle küresel ısınma, insan nüfusundaki artış ve doğal

kaynakların azalması ile beraber su, elektrik ve doğalgaz gibi değer kazanan enerji kaynaklarının verimli kullanımı önem kazanmaktadır. Bu nedenle geleceğin akıllı ev konseptleri içerisinde, enerji verimliliği önemli bir paya sahiptir. Bu kapsamda “Akıllı Şebekeler” olarak adlandırılan, enerji yönetimini yük ihtiyacına ve kaynak kullanımına bağlı olarak ayarlayabilen otomatik sistemlerden bahsedilmektedir. Akıllı şebekeler (Smart Grid) en küçük enerji alt kümesinden başlayarak en geniş enerji dağıtım şebekesine kadar genişletilebilmektedir. Akıllı şebekeler ile akıllı evlerin kesiştiği ana nokta, ev içi uygulamalarda enerji yönetiminin farklı uygulamalar ile yönetilmesi üzerinedir.

Elektrik dağıtım altyapısının yeni ve gelişen dünya için yetersiz kalması, artan nüfus nedeni ile ihtiyaç duyulan elektrik gücünün artış göstermesi, elektrik üretiminde çevreye verilen zararın azaltılması, artan anlık güç taleplerinin karşılanabilmesi, esnek fiyatlandırma politikalarının getirilmesi ve daha ucuza enerji kullanımının sağlanması gibi sebeplerden dolayı akıllı şebekelere ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Akıllı şebekeler, bilgi ve elektriğin çift yönlü akışını sağlamasıyla öne çıkan otomatik güç dağıtım sistemleridir. Anlık yüksek güç ihtiyaçlarının kontrol edilebilmesi nedeni ile akıllı şebekeler çok ilgi çekici bir teknolojidir. Son zamanlarda, elektrik haberleşme ağındaki güç ihtiyacı hızlıca büyümektedir. Örneğin yönetim birimleri, elektrik güç dağılımının dinamik olarak ayarlanmasını gerçekleştirebilmek için sensörler veya akıllı sayaçlar ile gerçek zamanlı güç kullanım raporlarını alabilmektedir. Bu yüzden, akıllı şebekeler umut verici bir tekniktir [5]. Aynı zamanda akıllı şebekeler, ileri ölçüm altyapısı [6], ev ağı (Home area network) [7], SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [8], enerji yönetim servisi (Energy Management Service (EMS)) [8] ve dağıtım otomasyon sistemi [7] gibi farklı tip servisleri de destekleyebilmektedir.

Gelecekte akıllı şebekelerin benimsenmesi ile beraber evlerin enerji anlık tüketimi internet üzerinden gerçek zamanlı olarak takip edilebilecek, çamaşır makinesi gibi cihazların kontrolü basit bir tıklama ile sağlanabilecek ve elektrikli araçlar evlerin garajlarında şarj edilebilecektir. Böylelikle akıllı şebekeler hayatı daha rahat ve yeni teknolojilere bağlı kılacaktır [9].

Bu tez kapsamında, alt yapıda en az değişiklik yapılarak mevcut evlerin akıllı şebekelere uyumlu akıllı evlere dönüştürülmesini sağlayan yeni bir sistem üzerinde çalışılmıştır.

2.2. Akıllı Evler ve Akıllı Şebekelerde Kullanılan Haberleşme Teknikleri

Ev otomasyonu çalışmalarının başlangıcından günümüze kadar olan süre zarfında, birçok ev içi haberleşme standardı üzerinde durulmuştur. Otomasyon çalışmalarının en başında kablolu haberleşme teknikleri ile cihaz kontrolleri yapılırken günümüzde kablosuz haberleşme teknikleri de aktif olarak kullanılmaktadır.

Akıllı hücreler haberleşme ağı, gerçek anlamda ağların alt ağları şeklinde alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu ağlar üzerinde WiMax, kablolu/kablosuz LAN, Land Mobile Radio, Hücresel, Mikrodalga, Fiberoptik, anahtarlanabilen kablolu hatlar ve RS232/485 gibi seri linkler gibi çok yönlü veri ağlarının kombinasyonu kullanılmaktadır. Farklı akıllı hücreler, farklı kablolu/kablosuz ağlara sahip olabilmektedir. Fiber, kablosuz broadband ve power line broadband, verinin akıllı hücre içi ve dışı taşınmasını sağlayacak haberleşme alternatifleridir [10].

Akıllı ev dışında kullanılabilecek haberleşme seçenekleri Tablo 2.1’de özetlenmiştir. Klasik veri hatları üzerinde oluşturulan özel veri ağları, sahadaki cihazlarla bağlantı kurulmasında kullanılabilecek haberleşme alternatiflerinden sadece birisidir. Fakat bu tarz özel hatların kurulum ve kablolama maliyetleri yoğun kullanıma uygun değildir. Özel haberleşme hatlarının yanı sıra, kablosuz ağlar daha ucuz bir sistem alternatifidir. Kablosuz haberleşmede IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4 gibi farklı haberleşme standartları kullanılmaktadır. Kablosuz ağların en önemli avantajı kurulum sorunlarını ortadan kaldırması, dezavantajları ise çekim alanlarının dar kapsamlı olmasından kaynaklı hedef cihaza olabildiği kadar yakın konumlandırılması gerekliliğidir. Günümüzde en çok umut verici kablosuz haberleşme alternatifi cep telefon sistemleri için tasarlanan genel sistemler (GPS), genel radyo paket servisi (GPRS) veya Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik (WiMAX) gibi hücresel ağlardır. Eğer altyapı uygunsa, en kapsamlı ve kurulumu düşük maliyetli olan iletişim ağı hücresel ağlardır. Hücresel ağların genel bir dezavantajı servis sağlayıcı şirketlerin servis kalitesi ve haberleşme kanalı için ücret talep etmeleridir. Üçüncü olası alternatif de giderek ilgi çekiciliği artan güç hatları üzerinden veri iletişimi tekniğidir. Güç hatları üzerinden haberleşmek ek bir kablolama alt yapısı getirmesede, güç hattının kalitesiz olması kullanılan haberleşme tekniklerini karmaşıktırmaktadır [11].

Tablo 2.1: Uzaktan akıllı şebeke haberleşme teknikleri karşılaştırması.

Teknoloji	Avantaj	Dezavantaj
Özel Hat	Bağımsız, Kalıcı bağlantı, Yüksek Bant Genişliği	Yüksek altyapı kurulum ücretleri
POTS ISDN GSM	Kolay kurulum, Düşük dağıtıcı maliyeti, 64 Kbit/s (ISDN), 9.6Kbit/s (GSM)	Operatör bağımlı servisler, Erişilebilirlik, Kalıcı iletişim olmaması, Limitli bant genişliği
GPRS	Kolay kurulum, Düşük dağıtıcı maliyeti, Maliyet odaklı tarifeler, 56-114 Kbit/s	Operatör bağımlı servisler, Erişilebilirlik, Kalıcı iletişim olmaması, Ek güvenlik altyapıları gerekliliği, Limitli bant genişliği
TETRA	Bağımsız, Yüksek geçerlilik, Yüksek erişilebilirlik	Özel yapılanma kurulumu, limitli bant genişliği
WLAN WPAN	Bağımsız, Kalıcı bağlantı, Düşük malzeme maliyeti	Çok limitli aralık
PowerLine	Yüksek erişilebilirlik, kalıcı bağlantı, bağımsız	Yüksek teknik gayret

GPRS kullanımı, günümüzde otomatik sayaç okuma (Automated Meter Reading – AMR) sisteminin uzaktan haberleşmesi için ana çözümdür. Aynı zamanda 230Mhz'lik kablosuz özel ağlara endüstriyel ve ticari müşteriler için önemli uzaktan haberleşme tekniğidir. Yerel kanallar, darbantlı PLC, geniş bantlı PLC, RS485, kısa mesafeli kablolu ağ ve kablolu televizyon (CATV) hattı gibi farklı haberleşme tekniklerini içermektedir. Örnek olarak farklı yerel ağların haberleşme teknikleri ile ilgili bilgiler Tablo 2.2'de yer almaktadır [6].

Tablo 2.2: Kanal tipine bağı haberleşme teknikleri.

Kanal Tipi	RS485	Darbanlı PLC	Geniş Bant PLC	Wireless
Kurulum	Metrelerce kablo hattı döşenmelidir	Yeni bir kablo hattına gerek yoktur	Yeni bir kablo hattına gerek yoktur	Yeni kablo hattı yok, fakat karmaşık test gerekli
Güvenirlik	Çok yüksek	Orta	Çok yüksek	Düşük
Sürdürme/Bakım	Ağır işyükü	Az iş yükü	Az iş yükü	Orta iş yükü
Hız	1200-9600bit/s	<2400bit/s	>1Mbit/s	10-100 kbit/s
Erişim mekanizması	Yarı duplex, polling	Yarı duplex, polling	Tam duplex, çift yönlü	Yarı duplex, polling
Arızalanma faktörü	Hattın zarar görmesi ana etki	Güç hattı girişimleri ana etki	Güç hattı girişimleri ana etki	Elektromagnetik girişim, hava ve coğrafik durum ile sınırlı etkilenme
Tek zamanlı akıştaki başarı oranı	>%99	%97	>%99	%98

Mevcut sistemlerde kullanılan haberleşme teknikleri dikkate alındığında, daha güvenli ve ek haberleşme alt yapısı gerektirmemesi nedeni ile bu tez çalışması kapsamında, kablolu bir haberleşme tekniği olan PLC ana iletişim tekniği olarak kullanılmıştır. Kablosuz haberleşme teknikleri, Tablo 2.3'den [12] de görülebileceği gibi güvenilirliğin düşük olması ve uzun mesafelerde verimsizlik nedeni ile tez kapsamına alınmamıştır.

Tablo 2.3: Kablolu/Kablosuz haberleşme karşılaştırması.

	Kablolu Haberleşme	Kablosuz Haberleşme
Avantajlar	- Daha güvenilir - Daha hızlı - Daha az sinyal kaybı	- Sistem verimliliğinin artması - Sistem maliyetinin azalması - Artan esneklik ve taşınabilirlik.
Dezavantajlar	- Kablo kalabalıklığı	- Düşük güvenlik ve güvenilirlik - Uzun mesafede sinyal azalması

2.3. Güç Hatları Üzerinden Veri İletimi (PLC)

Güç hatları üzerinden veri iletişimi genel olarak uzaktan veri okumada ve iç ortam cihaz kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda yüksek gerilim hatları üzerinde koruma sinyalizasyonu gibi farklı amaçlar içinde kullanılmaktadır. PLC teknolojisi temel olarak haberleşme frekansına bağlı dar bantlı (narrowband) ve geniş bantlı (broadband) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dar bantlı veri iletişimi, kısa mesafede kontrol bilgilerinin iletildiği bir altyapıya sahipken, geniş bantlı PLC ise otel, apartman, site ve ev içi kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Şebeke hat empedansındaki değişkenlik, şebekelerdeki girişimler ve yansımalar PLC tekniğinin zayıf yönleridir [13].

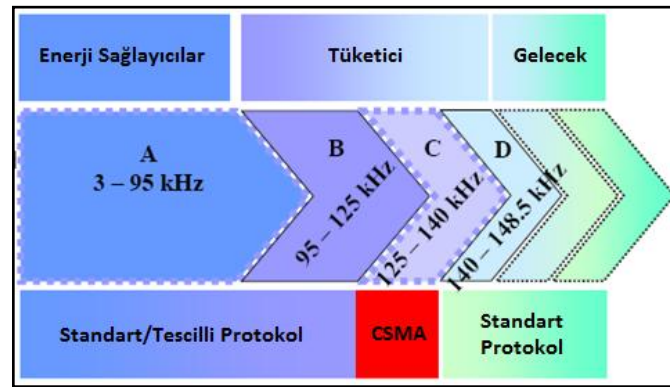
2.3.1. Güç Hatları Üzerinden Haberleşme Standartları

PLC teknolojisi, farklı amaçlar için ev içi ve ev dışı gibi farklı ortamlarda kullanılmaktadır. PLC teknolojisi, bilginin yüksek frekanslarda modüle edilerek şebeke gerilimi üstüne kuple edilmesiyle çalışmaktadır. Mevcut şebekelerin güvenliği, şebekeye bağlı cihazların zarar görmemesi ve standart bir haberleşme ağının yaratılması için PLC tekniği ile ilgili bazı standartlar oluşturulmuştur. Özellikle son yıllarda akıllı hücreler kavramının daha net oluşturulması ile beraber FCC, IEEE ve CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) benzeri komiteler bölgelere bağlı farklı standartlar üzerinde çalışmaktadırlar.

CENELEC farklı bölgelerde farklı haberleşme standartları oluşturmuştur. CENELEC haberleşmeyi, belirli bir frekans bandını beş farklı bölgeye ayırarak standardize etmiştir. CENELEC 50065 “3kHz-148.5kHz Arası Frekanslarda Düşük Gerilim Elektriksel Kurulumlardaki Sinyalleşme” olarak adlandırılan standartta haberleşme bandında kullanılan sinyallerin frekans ve çıkış gerilimleri limitlenmiştir. Kuzey Amerika tarafında Federal İletişim Komisyonu (Federal Communications Commission – FCC) güç hatları üzerinden veri iletişimini, sinyal gücü ve bant genişliği açısından farklı limitlemiştir. Avrupa limitlerinden daha geniş olarak 0-530kHz bant genişliği tanımlanmıştır [14].

Tablo 2.4: CENELEC standardı bant özellikleri.

Bant	Frekans	Limit (uV)	Kullanım
	3– 9 kHz	134 dB	Enerji sağlayıcı firmalara ayrılmıştır.
A	9– 95kHz	134-120 dB	Enerji sağlayıcı firmalar ve onların lisanslı sahiplerine ayrılmıştır.
B	95–125kHz	116 dB	Limitisiz olarak tüketici kullanımı için ayrılmıştır.
C	125– 140kHz	116 dB	Medya yayını ile beraber sadece tüketici kullanımı için ayrılmıştır.
D	140– 148.5kHz	116 dB	Enerji sağlayıcı müşterilerine ayrılmıştır. Herhangi bir protokol tanımlı değildir.



Şekil 2.1: CENELEC tarafından oluşturulmuş PLC frekans bandı.

Diğer bir önemli standart ise Home Plug Powerline Birliği'nin oluşturduğu ev için medya paylaşımı standartıdır. Bu standart ise günümüzde yaygın olarak kullanılan DLNA, IPTV, internet dağıtımı ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Homeplug standartları IEEE nin geniş bantlı veri iletişimi için oluşturulan 1901 kodlu standardına göre tanımlanmıştır [15].

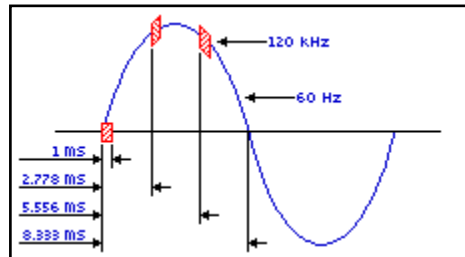
Dart bantlı PLC veri iletişimi CENELEC tarafından limitlenen A-B-C bantları ile sınırlandırılmıştır. Özellikle B-C bantları bina ve ev otomasyonu uygulamalarında kullanılmaktadır. Darbantlı veri iletişimi, şebeke gerilimi üzerine farklı metodolojiler kullanılarak haberleşme sinyallerinin kuple edilmesi ile sağlanmaktadır. Kullanılan en yaygın teknikler arasında ASK, FSK, BPSK ve OFDM yer almaktadır. ASK (Genlik Kayma Kodlaması) farklı bitlerin farklı genlik sinyalleri ile ifade edildiği

tekniktir. ASK sinyal zayıflaması karşısında avantajlı bir teknik değildir. BPSK, ASK tekniğine göre daha güçlü bir tekniktir fakat oluşturması ve geri çözmesi karmaşık olduğu için çok yaygın kullanılmamaktadır. FSK ise dar bantta her bite karşılık farklı frekans taşıyıcının kullanıldığı bir tekniktir [7].

2.3.2. Güç Hatları Üzerinden Haberleşme Protokolleri

Akıllı hücrelerin oluşturulmasından çok daha önceleri akıllı ev konseptleri çalışılmış ve ev içi kullanılan birçok farklı PLC protokolu türetilmiştir. Kullanılan protokollerden en eskisi X10 olmak ile beraber LonWork, CEBus, Konnex ve HomePlug yaygın kullanılan ev içi/dışı haberleşme protokolleridir [1].

X10 protokolü düşük bant genişliğine sahip uygulamalar için geliştirilmiştir. İlk olarak Pico Electronic isimli İskoç firması tarafından 1978 yılında ilk ürünün üretilmesi ile duyurulmuştur. X10 daha çok aydınlatma, termostat, garaj kapısı ve ses kuvvetlendirici kontrolü gibi akıllı ev uygulamalarında kullanılmaktadır. X10 protokolü sabit olarak 120 kHz taşıyıcı frekanslı bir sinyal ile çalışmaktadır. Şebekenin sıfır geçiş anına senkron olunarak alıcı tarafın gönderilen bilgiyi doğru alması sağlanmaktadır. İletişim verisi oluşturulurken lojik-1 için 1ms lik 120kHz sinyal gönderilmekte, logic-0 için o sıradaki 120 kHz lik sinyal gönderilmemektedir. Böylelikle alıcı tarafından hangi sıklıkta gönderileceği bilinen bilgi ayıklanabilmektedir. X10 haberleşme protokolü basit kontrol uygulamalarında avantajlı olmasına rağmen haberleşmenin yavaş ve bit derinliğinin az olmasından dolayı X10 protokolü, ses ve görüntü gibi yüksek veri içerikli dosya paylaşımlarında verimli bir protokol değildir [16]. Bunun yanı sıra X10 protokolü, kurulumunun kolaylığı, düşük maliyeti ve ticari uygulamalara uygulanabilirlik gibi avantajlara sahiptir [17].



Şekil 2.2: X10 haberleşme sinyalizasyonu.

X10 protokolü tek yönlü haberleşmeyi içerir ve diğer sistemlerin yanı sıra sekiz farklı kanal altında 256 cihaza kadar adreslenebilmektedir. X10 protokol kullanımı zamanla azalsa da, patent korumasının 1990 yılında sonlanması ile beraber protokol kullanımı ile ilgilenen tüm kullanıcılara açık hale gelmiştir [18].

INSTEON, SmartLabs Inc tarafından geriye dönük uyumlu olacak şekilde X10 prokolü üzerinden türetilmiştir. Haberleşme tekniği hem sinyal tekrarlayıcı görevi olan hem de kontrolü sağlanabilen cihazlarla iki yönlü haberleşmeyi içermektedir [18].

Insteon tekniğinin en önemli özelliği, özel bir protokol kullanılarak RF ile PLC tekniğini birleştirerek taşıma yapabilmesinden dolayı hızlı, dayanıklı ve kararlı bir yapı olmasıdır. Aynı zamanda kablosuz kanal üzerindeki veri ev içerisindeki her çeşit elektrikli cihazın yaydığı elektromanyetik gürültüye, güç hattı üzerinden taşınan veri ise şebeke üzerindeki cihazların sürekli olarak yaydığı gürültüye maruz kalmaktadır. Bir Insteon tabanlı çalışan cihaz, güç hattı üzerinden 131.65 kHz frekans bandında BPSK modülasyon tekniğini, RF fiziksel kanalı üzerinden 904 Mhz de FSK modülasyon tekniğini kullanarak verinin aynı anda taşınmasını sağlamaktadır. Güç hattı üzerinde INSTEON paket verisi, her şebeke sıfır geçişinin 0.8ms öncesinde başlayarak 240 kez 131.65 kHz olarak gönderilir ve yaklaşık 1.823 ms de sona erer. Özetle INSTEON tekniği, taşıyıcı frekansın farklı olması ve kablosuz kanalı da kullanması nedeni ile X10'dan daha hızlı bir tekniktir [17].

LONGWORKS, kontrol cihazları ile düğümler arasındaki haberleşmenin desteklenmesi için Echelon Corporation tarafından bulunmuş bir ağ protokolüdür. Tüm ağ, karmaşık bir kontrol uygulamasını içerir. Longworks tekniğinde önceleri Spread Spektrum modülasyon tekniği kullanılmıştır. Fakat bant genişliğinin darlığı ve haberleşme kalitesinin arttırılması için firma daha sonraki ürünlerinde BPSK modülasyona geçmiştir. BPSK modülasyonunda birincil olarak 125 kHz - 140 kHz bandı, ikincil olarak 110 kHz-125 kHz bandı kullanılmaktadır. Verici, birincil hattın dolu ve kalitesiz olması durumlarında ikinci banda geçmektedir. Bu teknik X10 tekniğinde kullanılandan daha hızlı ve kararlı bir modülasyondur [16].

Longworks tekniğinin kararlı, açık ve yönetilebilirlik avantajlarının yanı sıra, birçok ev cihazı sağlayıcısı akıllı evlerdeki çözümler için ev cihazlarında Echelon ile çalışmayı seçmiştir. Lonworks tekniği kullanılan hatlar yıldız, yüzük, ağaç veya hibrit gibi birçok farklı ağ topolojisini destekleyecek kapasitededir [17].

CEBUS (Tüketici Elektronik Hattı – Comsumer Electronic Bus) haberleşme protokolü, Elektronik Endüstri Komitesi (Industries Alliance - EIA) Tüketici Elektronik grubu tarafından ev içerisindeki tüketici cihazların kontrolünde bir standart oluşturmak amacı için 1984 yılında formülize edilmiştir. CEBus tekniğinde farklı taşıyıcı frekansları arasında değişim yapılarak verinin gönderilmesi sağlanmaktadır. CEBus haberleşme ptorokolünde 100-400 kHz arasında bant genişliğinde veri transferi sağlanmaktadır [16]. CEBus tekniğinin tüm detayları US standartları tarafından ev ağı için belirlenmiştir. CEBus haberleşmesi bazı kısıtlamaları ile beraber güç hatları, ethernet kabloları, kablosuz veya diğer ileticiler üzerinden iletişim kurulmasını içerecek şekilde yapılandırılmış açık kaynak kodu bir mimariye sahiptir [18].

HOMEPLUG protokolü, elektrik hattı üzerinde yüksek hızlı ağ teknolojilerinde ortak bir kullanım yaratmak için 13 farklı IT şirketi tarafından 2000 yılı Mart ayında oluşturulmuştur. Günümüzde 80 den fazla şirket komite üyesi olarak bu protokolün genişletilmesi için yazılım, donanım, ürün ve servis destekleri vermektedirler. HomePlug standartları yüksek hızlı veri iletişimi ihtiyacına yönelik oluşturduğu için X10, Longworks ve CEBus'dan çok daha fazla bant genişliğine sahiptir. Şuan HomePlug protokolünde aktif olarak kullanılan bant genişliği 4.49Mhz – 20.7Mhz dir. Homeplug protokolünde, diğer tekniklerde kullanılmayan OFDM modülasyonu kullanılmıştır. Homeplug tekniğinde, mevcut bandın eşit ve aralarında matematiksel olarak ortogonal olan alt bantlara bölünerek bant aralarındaki girişimin azaltılması sağlanmıştır [16].

OFDM, güç hattı üzerinden veri transferi sağlayan yöntemlerden biridir. Ana fikir mevcut geniş bandın alt dar bantlara bölünmesi ile oluşturulur. Böylelikle gönderilecek veri farklı frekanslardaki taşıyıcılar ile bölünerek gönderilir. OFDM tekniği, dar bant girişimlerini çok iyi minimize eder, yüksek bant genişliği ve verimliliğine sahiptir, yüksek veri transfer hızlarına çıkabilir ve farklı alt taşıyıcılara uyumludur [19].

OFDM tekniğinin alt taşıyıcıları olarak DQPSK ve DBPSK gibi farklı modülasyon teknikleri kullanılmaktadır. Gönderilecek olan veri, fourier dönüşümünün tersi alınarak kanala gönderir. Verinin tekrar geri dönüştürülmesindeki bütün işlemler alıcı tarafına bırakılmaktadır. Homeplug tekniği aynı zamanda değişken kanal parametrelerine adapte olabilmektedir. Haberleşme sırasında vericiden alınan cevaplara bağlı olarak modülasyon tekniğinin, haberleşme bandının

ve hata hesaplama tekniğinin değiştirilmesi gibi aktif güncellemeler otomatik olarak yapılmaktadır. Güncel olarak farklı sistemlerin farklı ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla HomePlug AV geliştirilmiştir. HomePlug AV çoklu medya ve veri dağıtımını destekleyecek yine bir standarttır [16].

KONNEX (KNX), ev otomasyonu için tanımlanan OSI tabanlı bir ağ protokol standartıdır. KNX aynı zamanda mevcut üç avrupa standardının yakınsamasıdır: “The European Home Systems Protocol (EHS)”, “BatiBUS” ve “The European Installation Bus (EIB)”. Diğer benzer teknolojilerle karşılaştırıldığında KNX birçok olası fiziksel haberleşme medyasını tanımlamış ve donanım platformundan bağımsız olarak tasarlanmıştır. KNX standardı, Konnex Association tarafından yönetilmektedir [18].

PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution), çoklu erişimi destekleyen açık ve genel güç hattı standardıdır. Advanced Digital Design, Landis+Gyr, ST Microelectronics, uSyscom ve ZIV Medida Prime standartının oluşumunda görev almış PLC teknolojisi ve akıllı ölçüm konusunda kapsamlı tecrübeye sahip firmalardır [20]. Prime, OFDM modülasyonunu kullanan açık kaynak kodlu bir tekniktir, fakat standardın ana odağı çoklu erişimin sağlanması üzerine kuruludur [21].

Prime birliği, PLC tabanlı NAN haberleşme için kişi bağımsız, yeni, açık ve çoklu erişilebilirliğe sahip olarak geliştirilen çoklu sağlayıcıların oluşturduğu bir birliktir. Prime, Cenelec-A bandında LV segmentinde, kullanılan modülasyon ve hata düzeltme algoritmalarına bağlı olarak 21.4kbps-128.6kbps arasında değişen performansıyla OFDM kullanımını hedeflemektedir. Prime tekniğinin tanımları 2011 yılında CLC/TS 50567-1 ve CLC/TS 52056-8-4 referansları ile CENELEC’e kaydedilmiştir [22].

Prime, gelecekteki piyasa ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için güncel teknolojiler ile oluşturulmuş fiziksel ve MAC katman standardı olarak tanımlanmaktadır [24]. Prime, bugünkü ve gelecek AMM (Automated Meter Managemet) fonksiyonlarını destekleyen, geleceğin elektrik ağlarını ve akıllı şebekelerin kurulmasını sağlayacak genel, açık ve kişiye özel olmayan telekomunikasyon mimarisini temsil etmektedir. Tanımlamalar kapsamlı ve yeterince detaylıdır, böylece hiçbir yeni katılımcı piyasadaki çoklu erişimi isteğini kendi başına sağlamak zorunda kalmayacaktır. Prime başlangıç olarak elektrik şebekelerindeki dar bantlı bir PLC haberleşmesinin düşük OSI katmanları olarak

tanımlanmıştır. Bütün mimari düşük maliyetli ve yüksek performanslı olarak tasarlanmıştır [23].

G3, Electricité Réseau Distribution France (ERDF)'ın ihtiyaçlarını karşılamak için Maxim tarafından yeni bir gelişmiş OFDM tabanlı PLC haberleşmesi sağlayan teknolojidir. G3 artık dünya geneline yayılmaktadır ve ITU, IEEE, IEC and ISO standartları komiteleri tarafından değerlendirilmektedir [25].

2.3.3. Güç Hatları Üzerinden Haberleşmede Kullanılan Özel Entegreler ve Çözümler

Güç hattı üzerinden haberleşme sağlayabilecek yeni bir cihaz tasarlanacağı zaman özel modem entegreleri kullanılmaktadır. Bu entegreler firmaların hedef piyasalarına göre uygun standartlarda haberleşecek şekilde tasarladıkları özel ürünlerdir. Piyasada bulunan PLC modem entegreleri farklı özellikleri temel alınarak incelenmiştir.

Tablo 2.5: Piyasadaki özel PLC entegreleri.

Firma	Entegre	Mod. Tipi	Taşıyıcı Frekansı	Standart
Onsemi	AMIS49587	S-FSK	9 - 95 kHz	IEC 61334-5-1CENELEC 50065-1
Onsemi	NCN 49597	S-FSK	95 - 125 kHz	IEC 61334-5-1CENELEC 50065-1
ST	ST7590	BDPSK QDPSK 8DPSK	9 - 95 kHz	PRIME
ST	ST7580	B-FSK	250 kHz	CENELEC 50065
		B-PSK		
		Q-PSK		
ST	ST7570	S-FSK	148.5 kHz	IEC 61334-5-1CENELEC 50065-1
ST	ST7540	FSK	132,5 kHz	CENELEC 50065-1
Cypress	CY8CPCL-20	FSK	133.3 kHz	CENELEC 50065-1
NXP	TDA5051A	ASK	132,5 kHz	CENELEC 50065-1
Atmel	ATPL220A	BDPSK QDPSK 8DPSK	9 - 95 kHz	PRIME
Atmel	ATPL100A	FSK	132,5 kHz	
Renesas	M16C/6S1	DCSK	9-125 khz	CENELEC 50065-1
Semitech	SM2400	BPSK, QPSK, 8PSK	5 - 500 kHz	IEEE 1901.2,G3-PLC,PRIME
Semitech	SM2200	BPSK, QPSK	5 - 500 kHz	CENELEC 50065-1
ON Semi	AMIS-30585	S-FSK	9 - 95 kHz	CENELEC EN 50065, IEC 1334-4-32, IEC 1334-5-1
ON Semi	NCN49599	S-FSK	9 - 95 kHz	CENELEC EN 50065-1
TI	AFE030	FSK, SFSK	9 - 140 kHz	CENELEC EN 50065-1, PRIME, G3
TI	AFE031	FSK, SFSK	9 - 140 kHz	CENELEC EN 50065-1, PRIME, G3

Piyasadaki modem entegreler ve tipik özellikleri Tablo 2.5'te yer almaktadır. Firmaların ürettikleri entegrelerin haberleşme frekanslarına bakıldığında firmaların geniş bant ve dar bant özeinde ürün ayırımına gittikleri görölmektedir. Sadece CENELEC A bandı için Onsemi AMIS49587/AMIS30585/NCN49599, ST ST7590 ve Atmel ATPL220A ürünlerini piyasaya sürmüştür. Bunun yanı sıra sadece dar bant haberleşme için kullanılacak CENELEC B-C bantları özelinde ST7570, ST7540, CY8CPCL20, ATPL100A entegreleri firmalar tarafından üretilmektedir. Bu entegrelerin yanı sıra görüntü transferlerinde, enerji sayaçlarının okunmasında ve dar bantlı veri iletişimde kullanılabilecek daha geбіş amaçlı SM2400, SM2200, AFE030 ve AFE031 entegreleri üretilmektedir. Tez çalışması kapsamında, incelenen özelliklerden yola çıkarak maliyet avantajı, tedarik kolaylığı ve yönetilebilirlik özelliklerinden kaynaklı ST firmasının ST7540 entegresi ile çalışmalara devam edilmiştir.

3. iPLUG SİSTEM TASARIMI

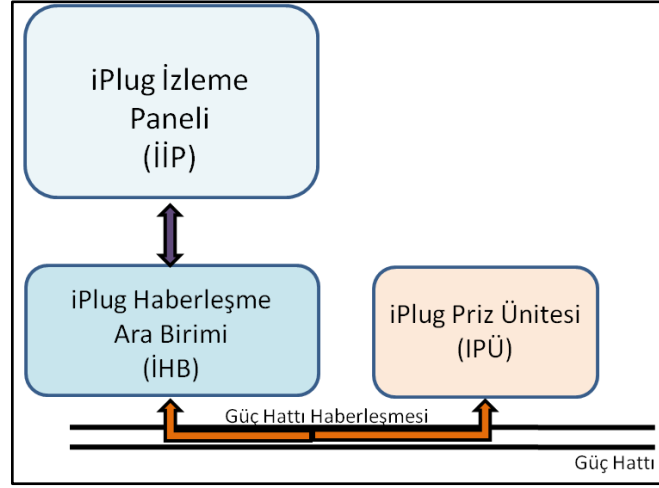
iPlug sistemi 2. Bölümde detaylandırılmış akıllı evlerin alt yapısının kurulmasında kullanılacak ve güç hatları üzerinden haberleşmenin sağlanacağı modülleri içeren bir akıllı ev uygulamasıdır. iPlug sistemi, mevcut evlerin minimum maliyet ile akıllı evlere dönüştürülmesini sağlamaktadır.

Tasarlanan iPlug sistemi, ev içi cihazların kontrolü ve ev içi güç tüketiminin izlenmesi/planlanması olmak üzere iki ana işleve sahiptir. Bu sistem ile ev içerisinde tanımlı cihazların güç tüketimlerinin görüntülenmesi ve kontrolü (ev içi ve ev dışı) sağlanabilecektir. Aynı zamanda sistem üzerinde farklı kullanıcı profilleri (tatil, ekonomik, çocuk kilidi, iş, v.b), ev içi güvenlik uygulamaları ve ekonomik kullanım modları gibi akıllı kontrol uygulamaları tanımlıdır.

iPlug üzerinden ev içi gibi enerji tüketiminin anlık, günlük, haftalık, aylık, yıllık olarak detaylı incelemesi yapılabilir. Enerji tarife ücretlerinin sisteme tanıtılması ile elektrik fatura tutarları anlık olarak takip edilecek ve bütçeye bağlı enerji kullanımı sağlanabilecektir. Böylelikle kullanıcının enerji kullanımı konusunda daha fazla bilgilendirilmesi, daha az enerji harcamasını sağlayabilecektir.

3.1. iPlug Sistem Kurgusu

iPlug sistemi genel hatlarıyla iPlug izleme paneli (İİP), iPlug haberleşme birimi (İHB) ve iPlug priz ünitesi (IPÜ) olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.1: iPlug sistemi ana blok yapısı.

Sistemde yer alan İİP, kullanıcının iPlug sistemiyle ilgili verileri takip edebileceği, sistemin gerek duyduğu bilgileri girebileceği ve İPÜ cihazlarını kontrol edebileceği bir ünedir.

İplug sisteminde yer alan İHB, İİP ile sisteme tanımlı olan İPÜ'lerin güç hattı üzerinden iletişimini sağlayan ara birimdir. Sistemde kullanılan PLC haberleşme tipi standart kullanımlar dikkate alınarak belirlenmiştir. iPlug sisteminde kullanılabilecek haberleşme tiplerinden kablosuz haberleşme, Bölüm 2.3.'te detaylandırılan özelliklerden dolayı tercih edilmemiştir. Aynı zamanda İPÜ'lerin güç kontrolü ve ölçümünün güç hatları üzerinden yapılması, modüller arasındaki haberleşmesinde güç hattı üzerinden sağlanması seçiminin yapılmasında rol oynamıştır.

İplug sisteminde yer alan İPÜ, ev için elektrikli aletlerin kontrolünün sağlanması ve ilgili tüketim veri ölçümlerinin görüntülenmesi için gerekli olan özel bir birimdir. Ana yapısı standart prizler ile benzer olarak geliştirilen İPÜ'lerin ana işlevleri prize bağlı ürünün çektiği elektriksel gücü ölçmek, gerektiğinde açma kapama alt yapılmasını sağlamak ve ilgili ölçüm/durum bilgilerini istendiği vakit kontrol birimine gönderilmesini sağlamaktır.

3.2. iPlug Veri İzleme-Kontrol Panel Tasarımı (İİP)

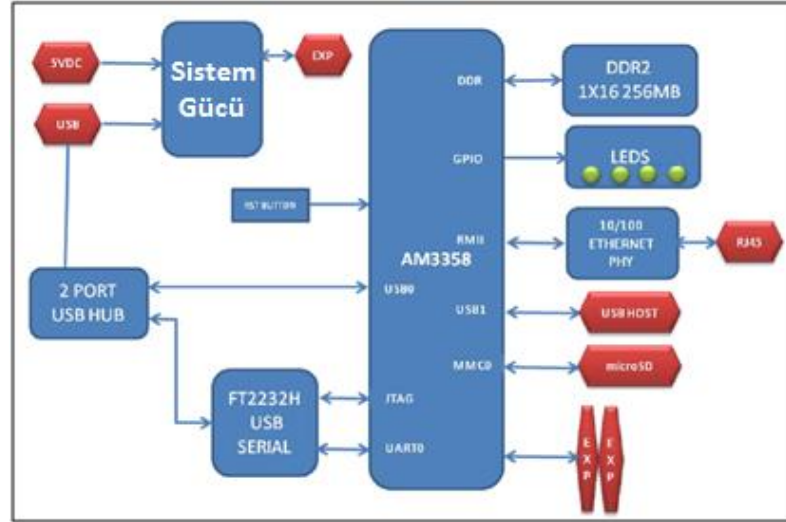
İİP, kullanıcının etkileşime geçebileceği, görsel öğelerin izlenebileceği ve ev içi/dışı veri paylaşımının yapılacağı bir ünedir. Aynı zamanda İİP 7" ekran boyutuna sahip ve üzerinde Linux işletim sistemi koşturulan bir paneldir. Şekil 3.2'te yer alan panelin ön kısmında 800x400 çözünürlüğünde bir TFT ekran, arka kısmında ise TFT sürücü devresi ve üzerinde işletim sistemi çalıştırılan ana kontrol sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.2: iPlug izleme paneli görüntüsü.

3.2.1. Beaglebone Kontrol Birimi

Beaglebone kontrol birimi, TI firmasının A8 işlemci mimarisinden AM335X ailesi üzerine kurgulanmış, 5.5cmx7.5cm boyutlarında ve çevresel çıkışları farklı uygulamalar geliştirilmek için kart kenarlara verilmiş bir geliştirme kartıdır. Beaglebone'un donanım tasarımının blok olarak anlatımı Şekil 3.3'te yer almaktadır. Kart üzerinde işletim sistemi dosyalarının yer aldığı SD kart, fiziksel işlemlerin yapıldığı DDR2 bellek, yüksek hızlı seri haberleşme için Ethernet ve USB portları gibi farklı özellikte çıkışlar ve işlemcinin birçok özelliğinin kullanılmasını sağlayacak P8 ve P9 olarak adlandırılan genişleme bağlantıları yer almaktadır.



Şekil 3.3: Beaglebone kartı blok şeması.

AM3359 işlemcisi cortex-A8 teknolojisine sahip yeni nesil bir işlemcidir. Daha çok akıllı telefonlar ve tabletler için geliştirilmiş olsa da birçok işletim sistemi tabanlı uygulamada kolaylıkla kullanılabilecek bir işlemcidir. Aynı zamanda TI firmasının yayınladığı uygulama notları ile AM3359 tabanlı yüksek hızlı devre tasarımı yapılabilmektedir. Beaglebone kartının sahip olduğu özellikler Şekil 3.4'te yer almaktadır.

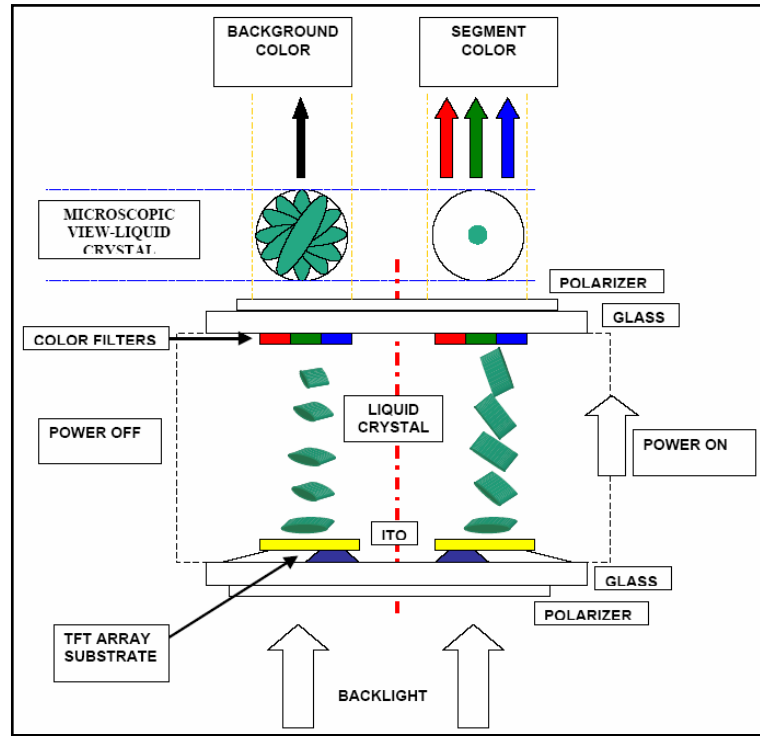
	Feature	
İşlemci	AM3359 500MHZ-USB 720MHZ-DC	
Hafıza	256MB DDR2 400MHZ	
PMIC TPS65217B	Güç Regülatörü	
	LiION Tek Hücre Pili Şarjı	
	20mA LED Arka plan ışığı Sürücüsü, 39V	
Debug Desteği	USB to Seri Adaptör	miniUSB Konnektör
	On Board JTAG via USB	4 Kullanıcı Ledi
		Opsiyonel 20pin CTI JTAG
Güç	USB	5VDC
PCB	3.4" x 2.1"	6 katlı
İndikatörler	Güç	
HS USB 2.0 İstemci Portu	4-Kullanıcı Kontrol LEDi	
HS USB 2.0 Sağlayıcı Portu	USB1 e istemci Modunda Erişim	
Ethernet	USB Type A , 500mA LS/FS/HS	
SD/MMC Konnetör	10/100, RJ45	
Kullanıcı Ara birim	microSD , 3.3V	
Yüksek Gerilim Koruması	1-Reset Buton	
Genişletme Bağlantıları	Shutdown @ 5.6V MAX	
	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V)	
	3.3V I/O bütün sinyaller	
5V Güç	McASP0, SPI1, I2C, GPIO(65), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 3 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2),XDMA Interrupt, Güç Butonu, Battery Charger, LED	
Ağırlık	USB or 5.0VDC to 5.2VDC	
	1.4 oz (39.68 gram)	

Şekil 3.4: TI AM3359 işlemci özellikleri.

Beaglebone kartı üzerine bölüm 3.2.1. de anlatılan TFT ekran sürücü kartı tasarlanmıştır. Yapılan tasarımın Beaglebone bağlantı kısmı Şekil 3.8’de yer almaktadır. TFT ekran sürücü kartında kullanılan bağlantıların detayları [26] referanslı dökümandan alınmıştır.

3.2.2. TFT Ekran ve Kontrolü

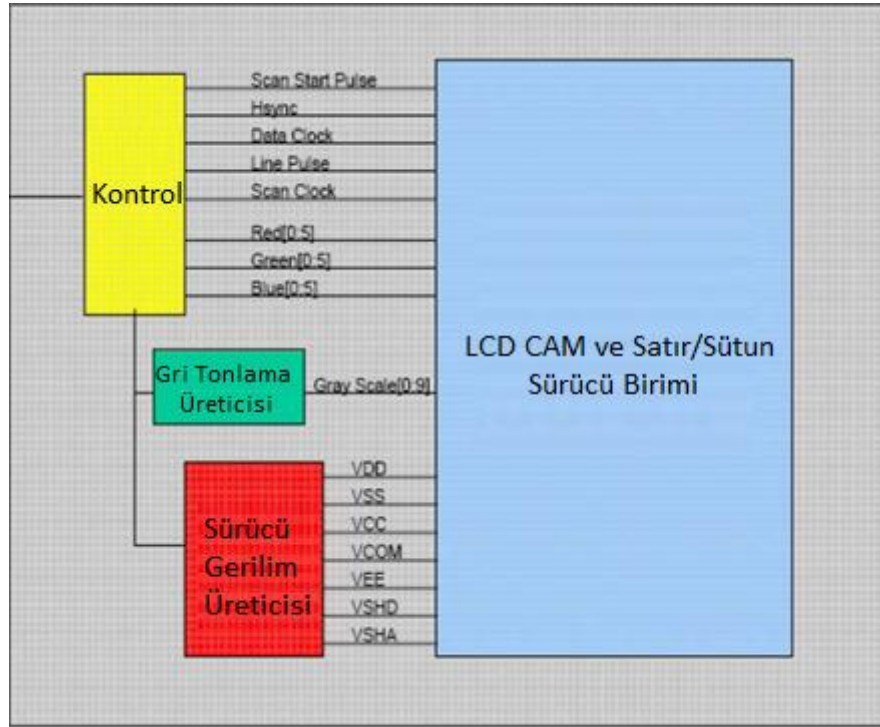
TFT ekranlar (Thin Film Transistor-TFT displays) hızları ve çözünürlükleri nedeni ile kullanımı giderek artan ekran tiplerindendir. Günümüzde LCD televizyonlar ve monitörlerin ekran teknolojileri de TFT tabanlıdır olabilmektedir.



Şekil 3.5: TFT ekran kimyasal yapısı.

TFT ekranların elektrokimyasal yapısı Şekil 3.5’te göstermektedir. TFT panel içerisindeki kristallere, seviyesi ayarlanabilen bir elektromanyetik alan uygulanarak ekranın kontrolü sağlanmaktadır. İstenilen rengin ekranda gösterilmesi, ışığın renk filtreleri üzerinden modül edilmesi ile sağlanmaktadır. Mevcut kullanılan ve milisaniye mertebesinde tepki süresine sahip ITO tabanlı STN LCD lerin yanı sıra, yarı iletken fabrikasyon transistörler ile geliştirilmiş TFT ekranların tepki süreleri

mikro saniye mertebelerine ulaşmıştır. TFT ekranların kontrolü üç ana blok ile sağlanmaktadır: Kontrol birimi, gri tonlama üreticisi ve gerilim üreticisi.



Şekil 3.6: TFT ekran ana sürücü birimleri.

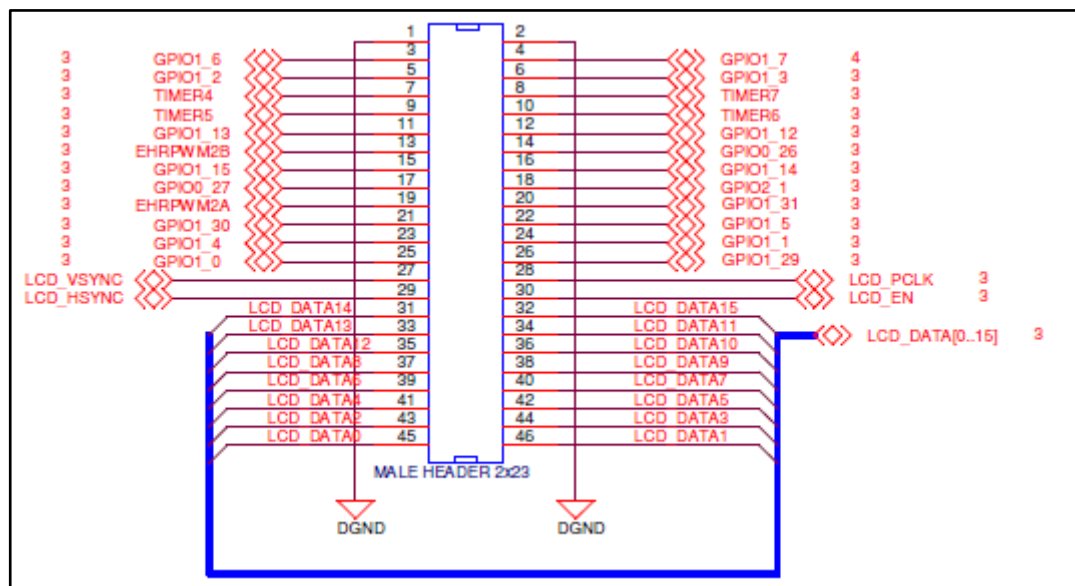
Kontrol birimi, TFT panelin satır ve sütun sürücüleri için ilgili komutları ve saat sinyallerini çevresel birimlere uygulamaktadır. Kontrol birimi aynı zamanda TFT ekranın sağlıklı bir şekilde sürülmesini ve sinyal çevrimlerinin düzenlenmesini sağlayan zamanlama birimlerini de içermektedir. Gri tonlama sayısal birimi, her bir renk hücresinin parlaklık ve berraklık kontrolü için kullanılan referans gerilimleri üretmektedir. Kontrol birimi ise üretilen referans gerilimleri renk hücrelerinin berraklık ve parlaklık kontrolünün sağlandığı transistör hücrelerine yönlendirir. Gerilim sürücü sayısal birimi, TFT ekranın satır ve sütun sürücüleri için gerekli olan sürücü gerilimleri üretir. İhtiyaç duyulan bu gerilim dalga formları, renk hücrelerindeki kırpışma ve tutarsızlıkları azaltacak, renk çıkış stabilitesini koruyacak ve yerel gerilim birikmelerinin ekrana zarar vermeyecek şekilde gerilim sürücü sayısal birimi tarafından yaratılır [26] [27].

TFT ekranlar genellikle 18bit/24bit paralel veya LVDS gibi seri arayüz haberleşme standartlarıyla kontrol birimleri ile haberleşmektedir. Bu nedenle kontrol birimleri alt seviyede standart bir kütüphane ile farklı üreticilerin ekranlarına aynı

Tablo 3.1: TFT800480-59-E TFT teknik özellikleri.

Genel Bilgi	İçerik	Birim
LCD Tipi	TFT / Transmissive	-
Tavsiye Edilen Görüş Yönü	12:00	O’Clock
Modül Alanı (WxHxT)	165x104x3.5	mm3
Aktif Alan	153.60x86.64	mm2
Nokta Sayısı	800RGBx480	-
Pixel Boyutu	0.192x0.1805	mm2
Sürücü IC	HX8264-D06*1/HX8664-B*1	-
Arayüz Tipi	RGB	-
Giriş Gerilimi	3.3V	-
Arkaplan Tipi	LED	-

Ana kontrol birimi Beaglebone, üzerinde 24bit paralel arayüzü TFT ekran haberleşme altyapısı bulundurmaktadır. Bu bağlantı detayları göz önüne alınarak Beaglebone üzerine takılabilecek ve ek özellikler ile beraber TFT800480-59-E kodlu TFT yi kontrol edebilecek bir devre tasarlanmıştır. Tasarlanan devrede, Beaglebone üzerinde bulunan ve Şekil 3.8’de detayları yer alan bağlantılar kullanılmıştır.



Şekil 3.8: Beaglebone ekran haberleşme bağlantısı.

TFT ekran içerisindeki sürücü gerilimleri, TFT panel içerisinde üretilmediği için gerekli olan gerilimlerin tasarlanan devre üzerinde üretilmesi gerekmiştir. Bu özel gerilimlerin dar bir gerilim toleransında ve zamanlamasında üretilmesi gerektiği için özel bir VCOM sürücü devre tasarımı yapılması gerekmiştir. Harici olarak tasarlanan sürücü devreleri kararlı ve TFT ekrana zarar vermeyecek şekilde VCOM gerilimlerini üretmektedir. Bu nedenle VCOM gerilimlerinin üretilmesinde genellikle özel entegreler kullanılmaktadır. Tasarlanan devrede Texas Instruments firmasının TPS65150PWP VCOM sürücü entegresi kullanılmıştır. İstenilen tolerans değerlerinde gerilimlerin ayarlanması için devre tasarımında yer alan referans direnç hesaplamaları yapılmıştır.

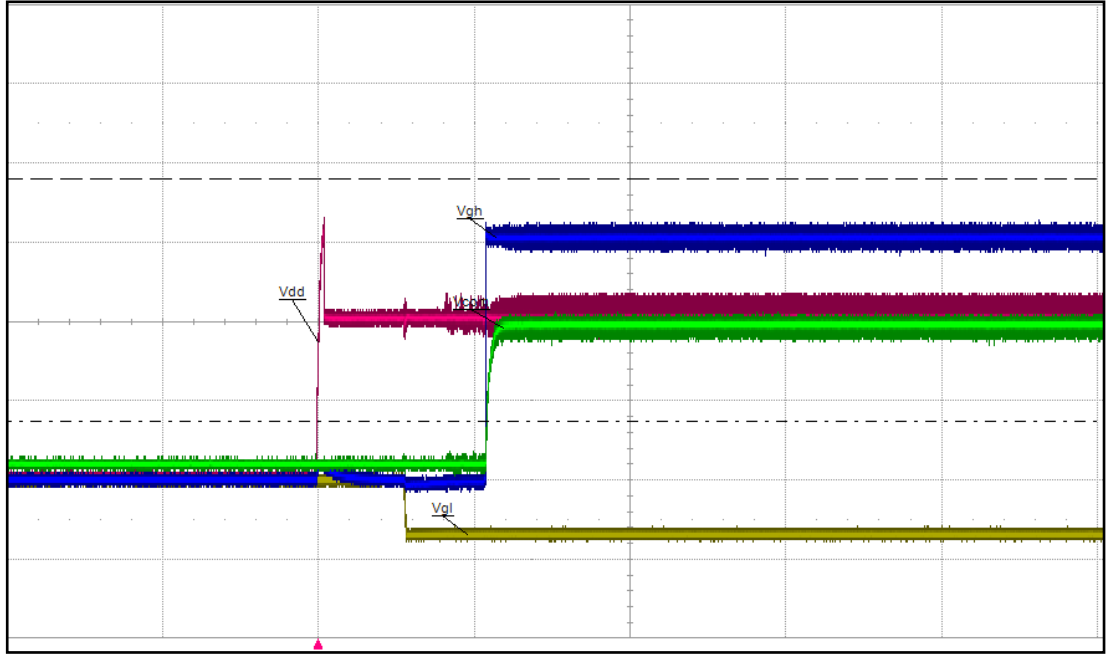
$$V_{DDA} = \left[1 + \frac{R_{116}}{R_{116}}\right] \times 1.146 = \left[1 + \frac{221K}{25.5K}\right] \times 1.146 = 9.93V \quad (3.1)$$

$$V_{DDGH} = \left[1 + \frac{R_{114}}{R_{115}}\right] \times 1.213 = \left[1 + \frac{221K}{17.8K}\right] \times 1.213 = 15.06V \quad (3.2)$$

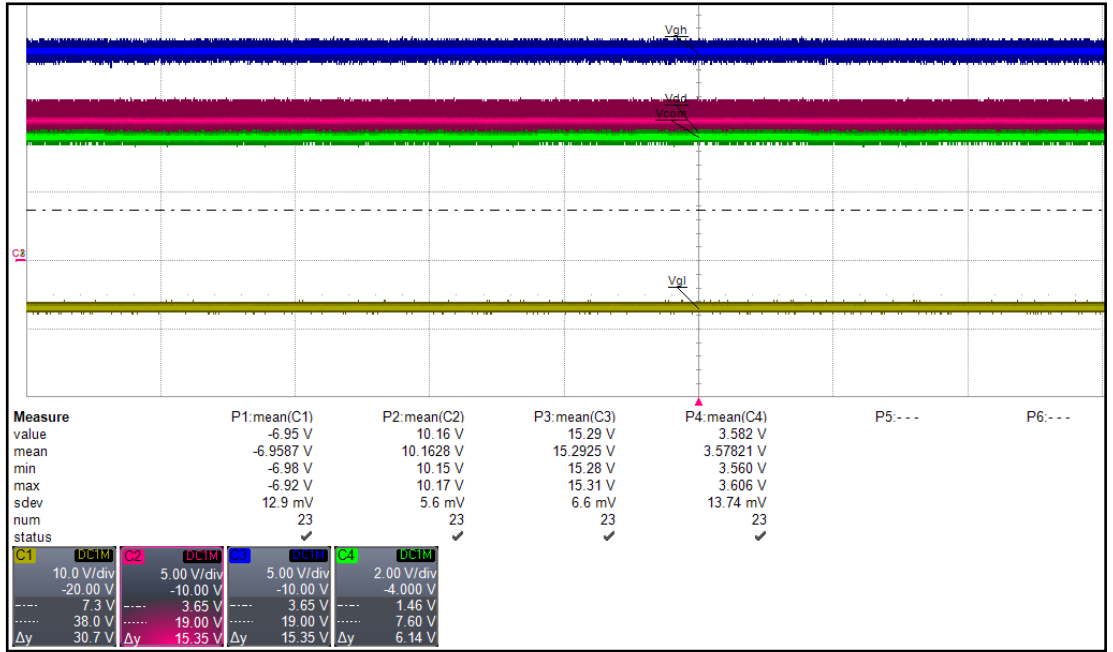
$$V_{DDGL} = \left[\frac{R_{109}}{R_{112}}\right] \times 1.213 = \left[\frac{267K}{46.4K}\right] \times (-1.213) = -6.98V \quad (3.3)$$

$$V_{COM} = \left[\frac{R_{113}}{R_{113} + R_{110}}\right] \times V_{DDA} = \left[\frac{210K}{348K + 210K}\right] \times 9.93 = 3.73V \quad (3.4)$$

Hesaplanan direnç değerleri ile tasarlanan devre gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımı bittigi zaman ayarlanan ilgili gerilim değerleri TFT ekran bağlanmadan önce ölçülerek kararlılıkları analiz edilmiştir. Entegrenin bir özelliği olarak istenilen TFT gerilimleri aynı anda çıkışa verilmemektedir. Enerjinin sisteme verilmesi ile beraber öncelikle VDDA, sonrasında VGL ve ardından VCOM-VGH gerilimleri değerlerine ulaşmaktadır. Bu sıralama sabit olup entegrenin ayarlamalarına özeldir. Tasarlanan TFT kontrol devresi üzerinden alınan ölçümler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da yer almaktadır.



Şekil 3.9: TFT cap gerilim ölçümleri başlangıç sıralaması.

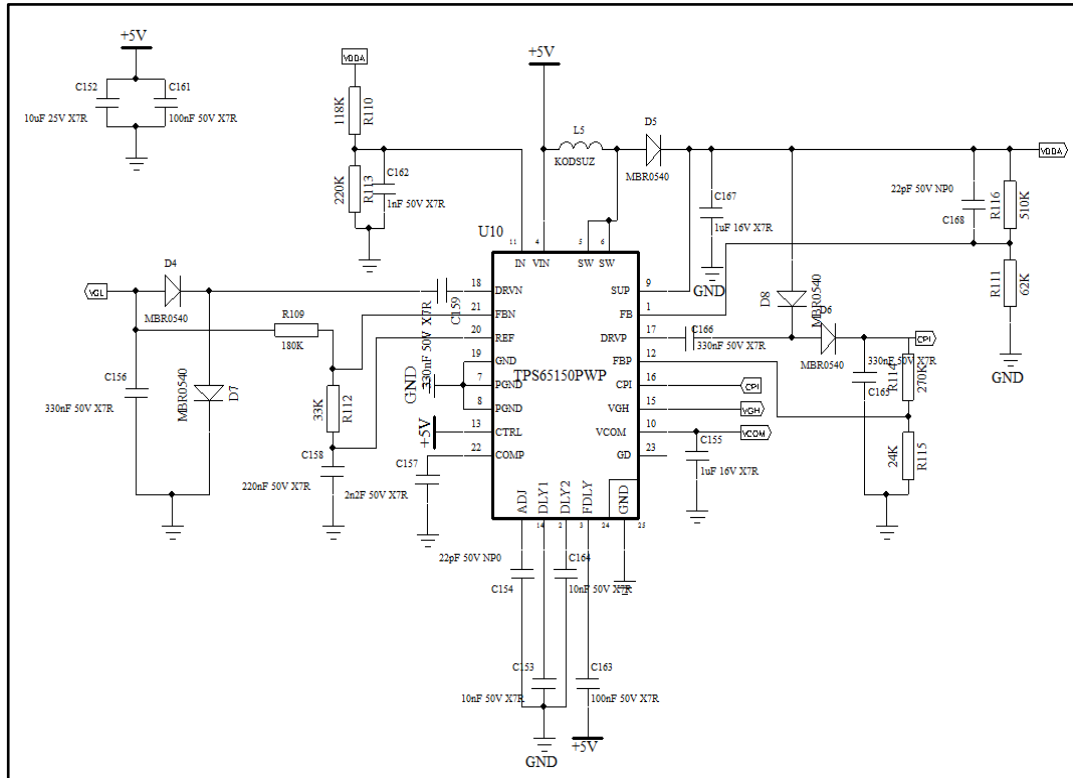


Şekil 3.10: TFT cap gerilim ölçümleri ortalama değerler.

Devre üzerinde kullanılan direnç bilgileri, hesaplama yapılan gerilimler ve ölçülen değerler Tablo 3.2'deki gibidir. İstenilen gerilime ulaşmak için daha hassas ayarlama yapılabilir, fakat bu koşulda direnç değerleri de çok fazla özelleşmektedir. Şuan ki tasarımda direnç değerleri E96 seri üzerinden seçilmiştir.

Tablo 3.2: TFT gerilim değerleri.

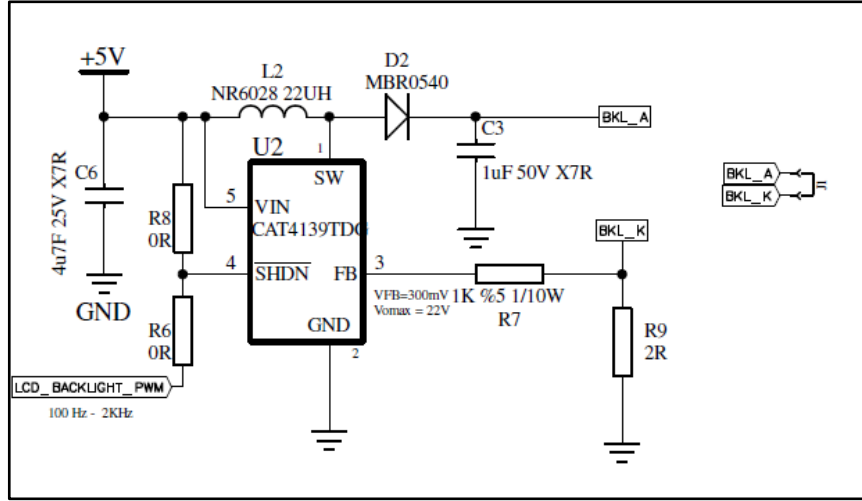
Gerilim Tipi	Katalog Değeri	Hesaplanan Direnç Değeri	Ayarlanan Değer
VDDA	10V	221K, 25.5K	10.16V
VDDG	15V	221K, 17.8K	15.29V
VSSG	-7V	267K, 46.4K	-6.98V
VCOM	3.72V	348K, 210K	3.58V



Şekil 3.11: VCOM sürücü devre şeması.

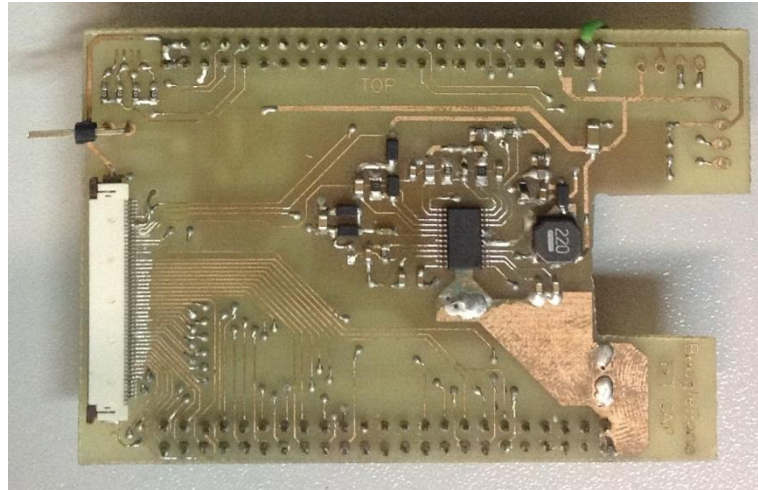
TFT ekranların diğer önemli bir kontrol edilmesi gereken gerilimi de backlight ışığının gerilimidir. Truly marka TFT için kullanılan backlight gerilim ve akım katalog değeri 9.9V / 140m'dir. Bu değerleri sağlamak için ayrı bir boost led sürücü entegre kullanılmıştır. Sürücünün etkinleştirme pini TFT nin parlaklık kontrolü için kullanılmıştır. CAT4139 entegresinin verebileceği maksimum akım kapasiteside R9 direnci üzerinden ayarlanmaktadır.

$$I_o = \frac{0.3V}{R_9} = \frac{0.3V}{2R} = 150mA \quad (3.5)$$

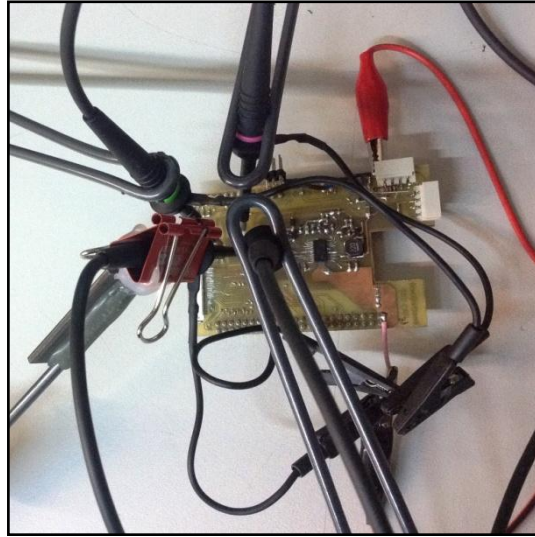


Şekil 3.12: TFT backlight kontrol devresi.

Beaglebone üzerine takılacak TFT ekran kartında Vcom sürücü, backlight sürücü ve TFT sinyallerini içermektedir. Gerilim sürücü bağlantılarının yanı sıra TFT sinyalleri 33Mhz seviyesinde ekran hücrelerinin renk verilerini içermektedir. Ekran üzerinde titreme, renk kayması ve tonlama farklılıkları oluşmaması için bu sinyal hatlarının çizimi çok önemlidir. Tasarlanan devrede yüksek hızlı çizim teknikleri dikkate alınarak ekranın clock, veri ve gerilim hatları çizilmiştir.



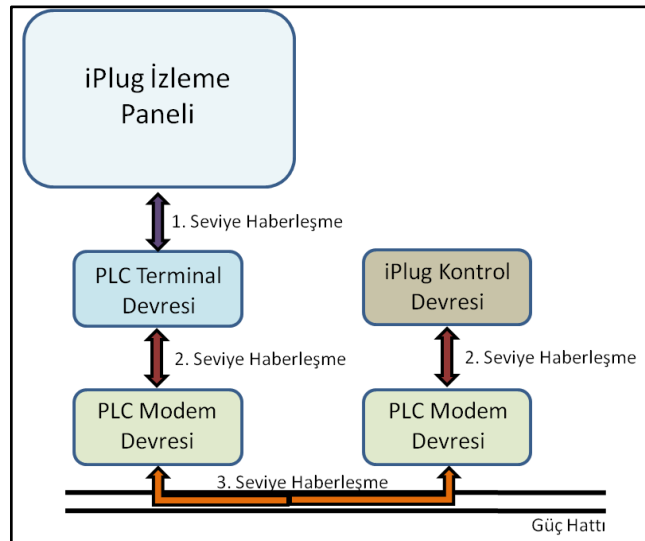
Şekil 3.13: TFT cap devresi.



Şekil 3.14: TFT cap gerilim ölçümü.

3.3. iPlug Haberleşme Tasarımı

iPlug sistemi içerisindeki haberleşme ağı üç seviyeye ayrılmaktadır. İlk seviye izleme paneli ile ana PLC modülü arasındaki asenkron RS232 haberleşmesi, ikinci seviye modüller içerisindeki işlemci ile modem entegresi (ST7540) arasındaki eşzamanlı RS232 haberleşmesi ve üçüncü seviye ise modem entegreleri arasındaki FSK modülasyon tabanlı güç hattı üzerindeki haberleşmedir.

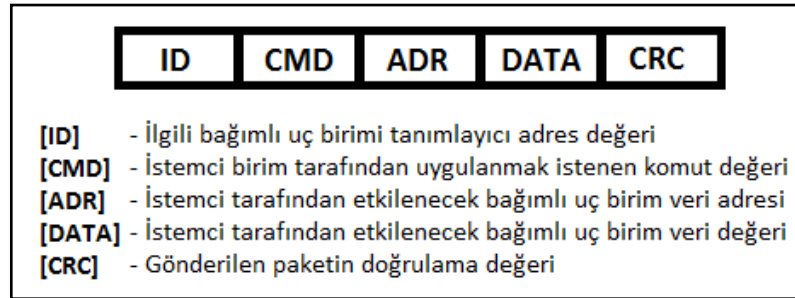


Şekil 3.15: iPlug sistem haberleşme seviyeleri.

3.3.1. Birinci Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi

Birinci seviye iPlug sistem haberleşmesi standart asenkron RS232 protokolü temeline dayandırılarak oluşturulmuştur. Haberleşme protokolünde 9600 baud, 8bit, Noneparity, NoStopBit temel ayarlaması üzerine özel bir haberleşme kuralı geliştirilmiştir.

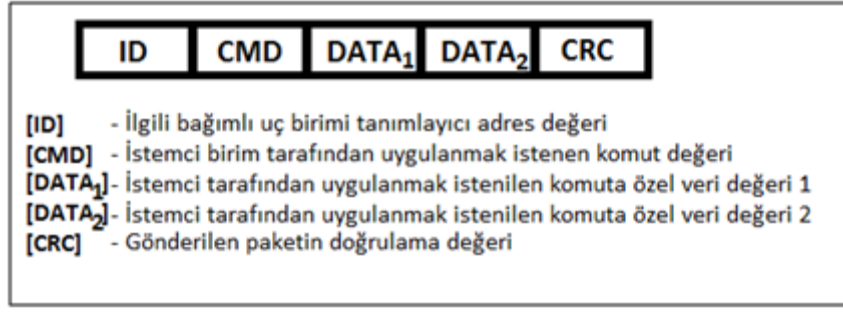
Tasarlanan haberleşme kuralı, en üst seviyede bir istemci birim ile birçok bağımlı uç birim arasındaki iletişim için oluşturulmuştur. İstemci birim oluşturulan bu iletişim kuralını kullanarak, bağımlı uç birimler üzerindeki verileri belirli bir zamanlama ile okuyup yazabilmektedir. Belirlenen kural, istemcinin beş byte'lık bir paket gönderip ilgili uç birimden doğrulanmış beş byte bir paket alması üzerine kurulmuştur. İstemci birim tarafından gönderilen beş byte'lık verinin detayı Şekil 3.16'da yer almaktadır.



Şekil 3.16: İstemci birim veri gönderme paket yapısı.

Bağımlı uç birim tarafından alınan beş byte'lık veriye karşı üretilen beş byte'lık paketin içeriği ise Şekil 3.17'de yer almaktadır. Oluşturulan bu cevap paketinin içeriği tamamen istemci tarafından gönderilen özel komut değerine göre farklılık göstermektedir. Şekil 3.17'de yer alan $DATA_1$ ve $DATA_2$ veri değerleri komut değerine göre farklı yapıda olmaktadır. Bu verilerin anlamsız olduğu komut sisteminde değerleri sıfır olmakta ve istemci tarafından işlem yapılmamaktadır.

ID değeri her iPlug a özel bir değerdir. iPlug yazılımları içerisinde sabit şekilde gömülü olan bu bilgiler 0-255 değer aralığındadır. Tasarlanan sistemde herhangi bir iPlug'ın ID si istemci üniteler tarafından değiştirilemez. Sadece kurulum sırasında iPlug yazılımı configure edilerek sistemdeki olası adres çakışmaları önlenabilir.



Şekil 3.17: İstemci birim veri alma paket yapısı.

Her paket sonunda gönderilen CRC bilgisi bütün paket içeriğinin kontrol edilmesini sağlayan paket kimlik değeridir. CRC değeri bir formülasyon (3.6) ile paket içerisindeki veri değerlerinden türetilmektedir.

$$CRC = 255 - \text{mod}([ID + CMD + DATA_1 + DATA_2 + DATA_3], 255) \quad (3.6)$$

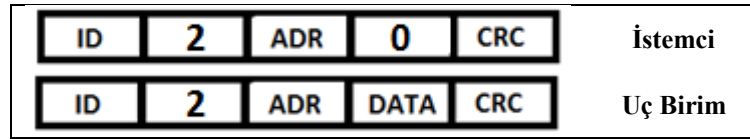
İstemci tarafından oluşturulan paketlerde yer alan komutlar bağımlı uç birim tarafından yorumlanarak uygun cevaplama paketi oluşturulmaktadır. Bu nedenle komutlar, sistemdeki bütün uç birimlerde aynı karşılığa sahip olmalıdır. Oluşturulan haberleşme kuralında belirlenen komutlar ve değerleri Tablo 3.3’de yer almaktadır.

Tablo 3.3: iPlug haberleşme birimi komut dizisi.

Komut	Değer	Açıklama
_cmdT_getID	0x01	Bağımlı uç birim kimlik doğrulama
_cmdT_read	0x02	Bağımlı uç birimde bir adresten veri okuma
_cmdT_write	0x03	Bağımlı uç birimde bir adrese veri yazma
_cmdT_publicRead	0x04	Bağımlı uç birim bütün veri değerlerini okuma

3.3.1.1. Bağımlı uç birim verisi okuma

İstemci birim, herhangi bir bağımlı uç birim üzerindeki bir bellek verisini okuyacağı zaman Şekil 3.18’deki gibi bir paket oluşturmaktadır. Bağımlı uç birim, gerçekleştirdiği okuma komutu ve okunan verinin adresi istemci birimin paketi ve görevi doğrulaması için tekrar geri gönderir. Bu sayede istemci oluşturduğu görev bilgisinin başarılı bir şekilde sonuçlandığını kontrol edebilmektedir.



Şekil 3.18: İstemci ve bağımlı uç birim tarafından gönderilen veri okuma.

Tasarlanan iPlug sisteminde güncel olan üç ana kayıtlı veri değeri vardır: *SystemStatusFlags*, *Current Value*, *Voltage Value*. Okunacak verilerin adresleri Tablo 3.4’de yer almaktadır. Bu veriler her iPlug üzerinde farklı olarak hesaplanmakta ve değerlendirilmektedir. iPlug sistemindeki bütün ana kontroller “SystemStatusFlags” veri değeri üzerinden yönetilmektedir. Bu veri değerinin içeriği Tablo 3.5’te yer almaktadır. Aynı zamanda iPlug prizlerine takılı olan cihazları üzerinde gerçekleştirilen bütün güvenlik kontrol ve ölçme işlevleri “Current Value” ve “Voltage Value” verileri üzerinden gerçekleştirilmektedir.

Tablo 3.4: Bağımlı uç birimde kayıtlı olan veriler.

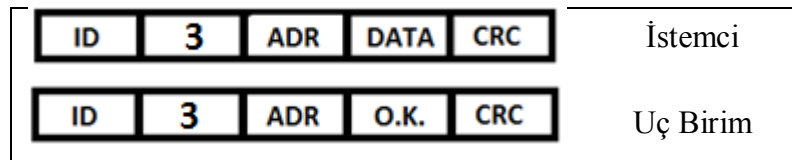
Veri	Adres	Açıklama
<i>SystemStatusFlags</i>	0x00	Bağımlı uç birim sistem durum bilgilerini içeren verinin değerleri
<i>Current Value</i>	0x01	Bağımlı uç birim çıkışında ölçülen anlık akım değeri
<i>Voltage Value</i>	0x02	Bağımlı uç birim çıkışında ölçülen anlık gerilim değeri

Tablo 3.5: "SystemStatusRegister" veri içeriği.

Veri	Bit	Açıklama
<i>StatusF [0]</i>	<i>SystemStatus Flags.0</i>	Priz Durum Bilgisi
<i>Status[1]</i>	<i>SystemStatus Flags.1</i>	Priz Durum Bilgisi
<i>OutputPwrF</i>	<i>SystemStatus Flags.2</i>	Priz çıkış güç kontrolü
OCF	<i>SystemStatus Flags.3</i>	Priz çıkışı yüksek akım koruma modu
OVF	<i>SystemStatus Flags.4</i>	Priz çıkışı yüksek gerilim koruma modu
PM	<i>SystemStatus Flags.5</i>	Koruma Modu Aktif/Deaktif Bilgisi

3.3.1.2. Bağımlı uç birim verisi yazma

İstemci birim, bellekte kayıtlı bir adresteki bağımlı uç birim üzerinde yer alan veri değerlerini Şekil 3.19'daki [ADR] ve [DATA] değerlerini kullanarak ilgili veriye istenilen yeni değeri atayabilmektedir. Oluşturulan bu pakete karşılık onay niteliğindeki Şekil 3.19'da yer alan cevap paketi oluşturmaktadır. Bağımlı uç birim, gerçekleştirdiği okuma komutu ve okunan verinin adresi, istemci birimin paketi ve görevi doğrulaması için tekrar geri gönderir. Bu sayede istemci oluşturduğu görev bilgisinin başarılı bir şekilde sonuçlandığını kontrol edebilmektedir.

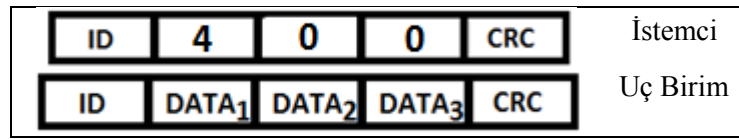


Şekil 3.19: İstemci ve bağımlı uç birim tarafından gönderilen veri yazma.

[O.K.] veri değeri sembolik olarak 0x5A olarak belirlenmiştir. İstemci birim, yazma komutuna ilgili uç birimden aldığı cevaplama paketinde beşinci veri değerinin 0x5A olduğu durumda yazma işleminin başarılı bir şekilde sonuçlandığına karar vermektedir.

3.3.1.3. Tüm ana veri kümesini okuma

İstemci birim, herhangi bir bağımlı uç birim üzerindeki bir bellek verisini okuyacağı zaman Şekil 3.20 ve Tablo 3.6'daki değerlerinden yararlanarak uygun veri paketini oluşturur. Gönderilen bu paket veriye karşılık, bağımlı uç birim tarafından Şekil 3.20'deki paket gönderilmektedir. Bağımlı uç birim, gerçekleştirdiği okuma komutu ve okunan verinin adresi istemci birimin paketi ve görevi doğrulaması için tekrar geri gönderir. Bu sayede istemci oluşturduğu görev bilgisinin başarılı bir şekilde sonuçlandığını kontrol edebilmektedir.



Şekil 3.20: İstemci ve bağımlı uç birim tüm ana veri kümesi okuma.

Tasarlanan bu iletişim paket yapısı ile iPlug izleme paneli RS232 veri hattını kullanarak güç hattına takılı olan iPlug cihazları ile haberleşebilecek ve ilgili verilerin okuması/yazılması yapılabilmektedir. Kullanılan paket yapısının stabilitesi, kayıp önleme algoritmaları ve doğruluk kontrolü iPlug izleme paneli ana sistem yazılımı üzerinden yapılmaktadır.

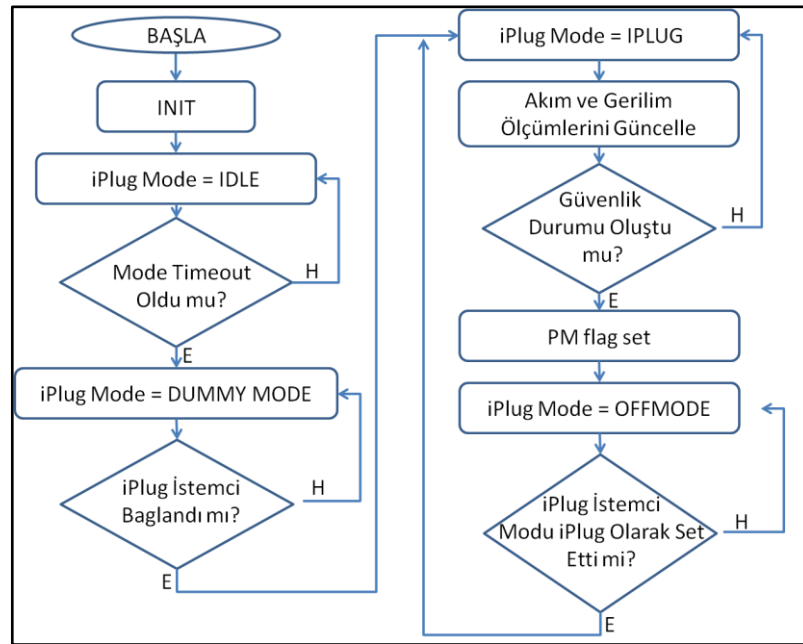
Tasarlanan iletişim komut kurallarına göre örnek teşkil edebilecek paket yapıları Tablo 3.6'da yer almaktadır.

Tablo 3.6: Paket veri yapıları.

Görev	İstemci Paketi	Bağımlı Uç Birim Paketi	Açıklama
ID doğrula	ID, 1, 0, 0, CRC	ID,1,ID,0, 0, CRC	Plug ID doğrulama
Oku	ID, 2, 1, 0, CRC	ID,2,1,d, 0, CRC	1 nolu veri bilgisi okunmuştur.
Yaz	ID, 3, 2, 128, CRC	ID, 3, 2, 128, 90, CRC	2 nolu veri (Voltage Value değeri) 128 yapılmıştır.
Veri kümesi	ID, 4, 0, 0, CRC	ID, 4, D1, D2, D3, CRC	İzleme verileri okuma.

Belirlenen modlar üzerinden tasarlanan iPlug cihazının yazılım çalışma akış diyagramı Şekil 3.21'de yer almaktadır. iPlug cihazının modlar arasında nasıl geçiş

yaptığı açıkça görünmektedir. Cihaz ilk enerjilendiği anda “Idle” moda açılarak belirli bir süre istemci birimden veri gelmesini ve iPlug modunda çalışmasını beklemektedir. Eğer belirli bir süre (30sn) istemci birim cihaza bağlanmaz ise cihaz “Dummy” moda geçiş yapmaktadır. “Dummy” modda cihaz normal bir priz gibi çalışmakta ve ölçüm yapmadan çıkış enerjisini kontrol edilecek cihaza vermektedir. İstemci birim cihaza bağlandığı anda cihazı “iPlug” moduna alarak iPlug cihazının sürekli olarak ölçüm yapmasını sağlamaktadır. Bu modda istemci birim bilgi istediği sürece ilgili paketleri PLC üzerinden göndermektedir. Ölçümler sırasında paralel olarak çıkış enerjisi üzerinde güvenlik ölçümleri de yapılmaktadır. Güvenlik modlarından OC (yüksek akım) ve OV (yüksek gerilim) durumu oluşursa iPlug cihazı PM (protection mode – koruma modu) nu aktif yaparak kendisini otomatik olarak “OFF” konumuna alır. İstemci birim bu bilgileri anlık olarak okuyarak izleme paneli üzerinde gerekli uyarıları gösterebilmektedir.



Şekil 3.21: iPlug cihazı yazılım akış diyagramı.

3.3.2. İkinci Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi

İkinci seviye iPlug haberleşmesi modem entegresi ile çevresel kontrol işlemcisi arasındaki haberleşmedir. Bu haberleşmede çevresel kontrol işlemcisi güç hattı üzerinden gönderilecek veriyi modem entegresi üzerinde ayarlama yaparak gönderilmesini sağlar. Bu seviyede kurulan haberleşme yapısı, kullanılan ST7540 modem entegresine özeldir.

ST7540 entegresi iki tip haberleşme arayüzüne sahiptir, UART ve SPI. UART haberleşmesi asenkron olup kontrol birim işlemcisi tarafından TX hattı (işlemci tarafının) üzerinden gönderilen veriyi algılayıp güç hattına kuple edilecek gerilime dönüştürülür veya güç hattı üzerinden alınan bilgiyi RX hattı (işlemci tarafının) üzerinden kontrol birimi işlemcisine gönderilir. Haberleşme arayüzü hızı 2400/4800/9600 baud olarak ayarlanabilmektedir. Modem entegresinin fabrika ayarları ise 2400 baud içindir. Bu nedenle tasarımda bu değer kullanılmıştır. Diğer bir haberleşme tipi olan SPI haberleşmesi ise veri gönderip alınma sırasında bir senkronizasyon sinyaliyle sahiptir. Senkron haberleşme ile daha hızlı veri alış verişi sağlanmaktadır.

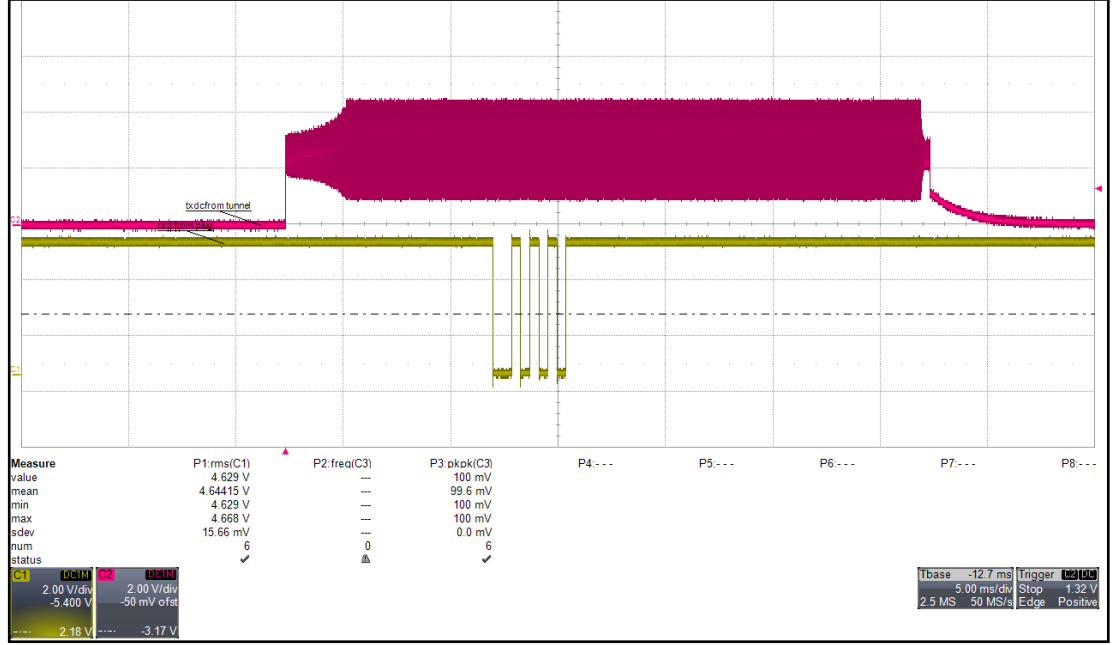
Çevresel kontrol birimi işlemci tarafından modem entegresine veri gönderilirken Tablo 3.7’de yer alan sinyal ayarlamaları yapılmaktadır. Tablo 3.7’deki sinyaller kontrol birimi ile modem entegresi arasındaki haberleşmeyi tanımlamaktadır [28].

Tablo 3.7: ST7540 sinyal ayarlaması.

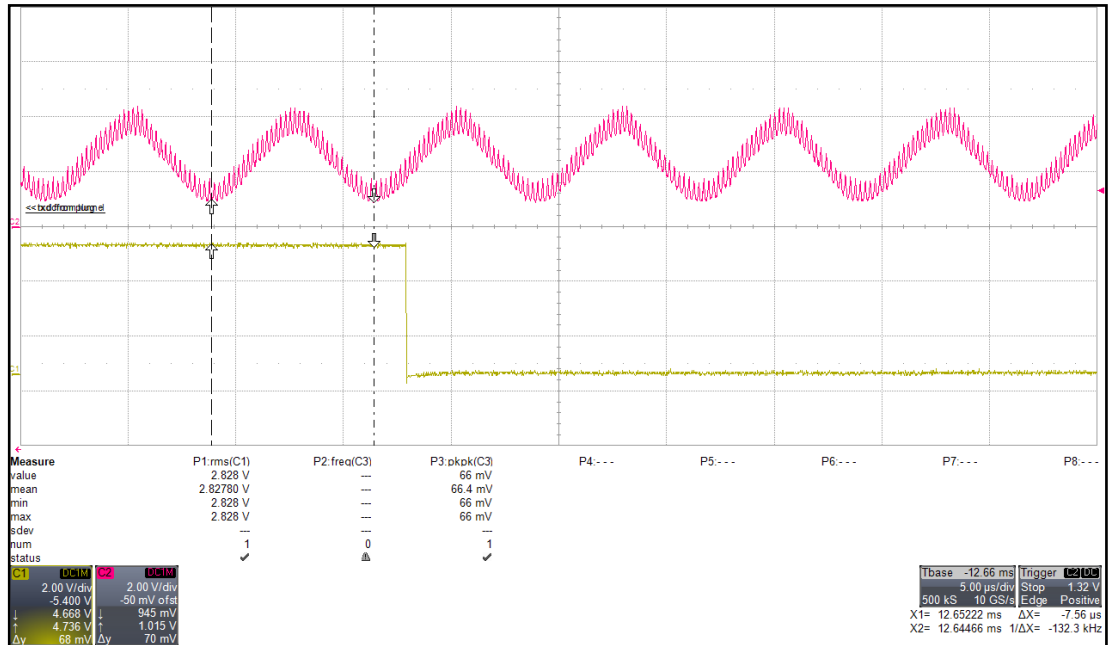
Rx/TX	REG_DATA	UART/SPI pin	Kontrol Birimi Haberleşme tipi
0	0	1	UART veri gönderme
1	0	1	UART veri alma
0	0	0	SPI veri gönderme
1	0	0	SPI veri alma

Tasarlanan iPlug haberleşme kartlarındaki kontrol birimi ile PLC modem arasında asenkron UART haberleşme arayüzü kullanılmıştır. Bu haberleşmenin hızı PLC modem ve hattın gürültü özelliklerine bağlı belirlenmiştir. Kullanılan protokol standart RS232 olup veri haberleşmesi paket tekniği üzerine kurulmuştur. Kullanılan ST7540 modem entegresi girişine uygulanan asenkron RS232 sinyali ve modem

şebekeye kuple edilecek FSK modülasyonlu sinyal grafikleri Şekil 3.22’de, PLC modem girişine kuple ettiği FSK modülasyon sinyali ise Şekil 3.23’te yer almaktadır.

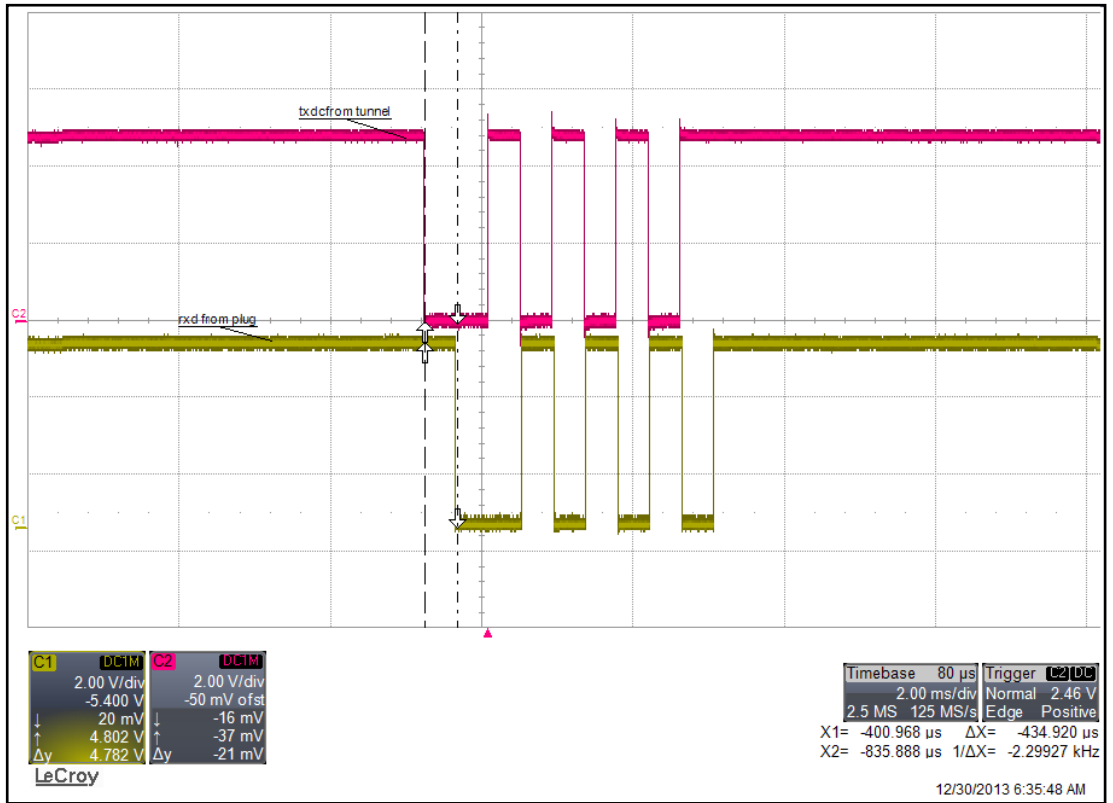


Şekil 3.22: PLC modem girişi ve çıkışı sinyal grafiği.



Şekil 3.23: PLC modem FSK modülasyon sinyal grafiği.

Haberleşme alt yapısı kurulduğu zaman kanalın haberleşme gecikmesi ölçülmüştür. Şekil 3.24'te yer alan sinyal grafiğinde C2 sinyali verici birim tarafından PLC modem entegresine gönderilen 0xAA değerindeki bilgidir. Bu bilgi modem entegresi tarafından FSK modülasyonu ile şebekeye kuple edildikten ve alıcı birim iPlug kartındaki modem tarafından algılanıp tekrar asenkron UART verisine çevrildiği sinyal ise C1 dir. Bu iki sinyalin ilk düşen kenarları arasındaki zaman farkı sinyalin iletim kanalı üzerindeki gecikmesi, modem entegrelerin sinyal işleme gecikmelerinin toplamıdır. Tasarlanan sistemde ölçülen haberleşme gecikmesi 434us dir. Bu grafik üzerinden verici birim tarafından gönderilen bilgi herhangi bir sinyal bozulmasına uğramadan alıcı birime ulaştığı anlaşılmaktadır.



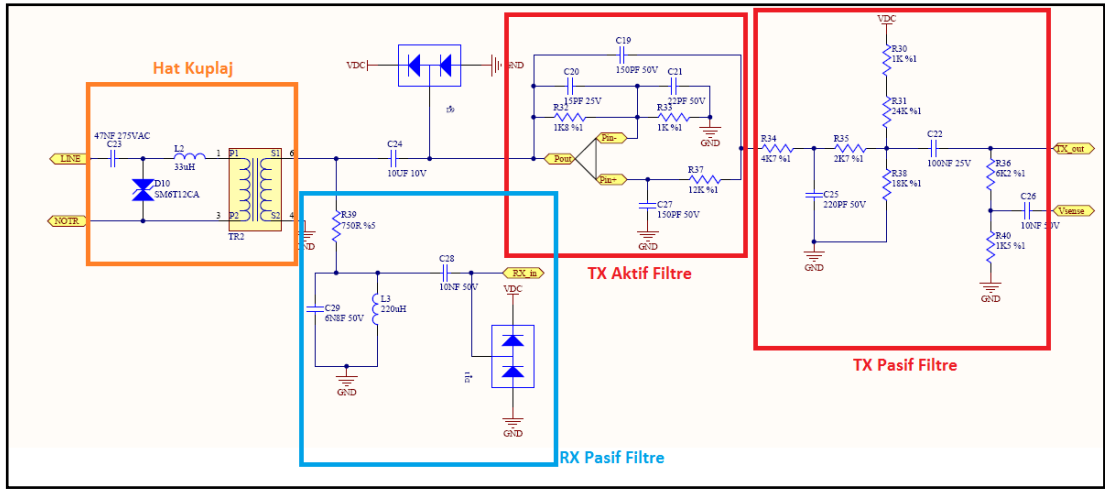
Şekil 3.24: Alıcı ve verici PLC modemler arasındaki haberleşme gecikmesi.

3.3.3. Üçüncü Seviye iPlug Sistem Haberleşmesi

PLC modem entegresi kontrol biriminden aldığı seri bilgiyi FSK tekniği ile modüle ederek özel bir kuplaj devresi ile güç hattına göndermektedir. Aynı şekilde

güç hattı üzerinden gelen FSK tabanındaki özel haberleşme sinyali PLC modem entegresi tarafından algılanarak seri veri olarak kontrol birimine gönderilmektedir.

FSK modülasyonu ve sinyalin güç hattına kuple edilmesindeki en önemli kriter kullanılan taşıyıcı frekansıdır. Sistemin gürültü bağışıklığını ve sinyali azami derece göndermenin sağlanması için kullanılan kuplaj devrelerinin frekans cevaplarının taşıyıcı frekansına uygun olması gerekmektedir. Tasarlanan sistemdeki, taşıyıcı frekansı modem ilk fabrika ayarları olan 132.5kHz kullanılmıştır. Bu taşıyıcı frekansına göre kuplaj, alım ve gönderim hattı filtreleri tasarlanmıştır.

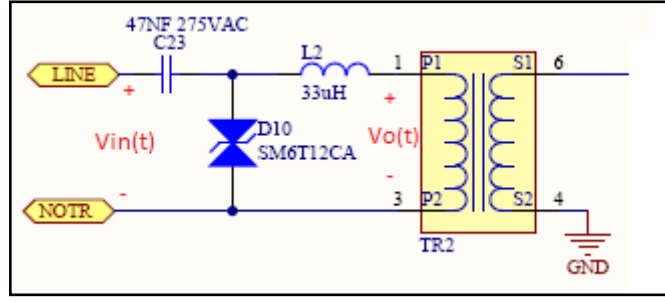


Şekil 3.25: Kuplaj alım ve gönderim filtre devresi.

FSK modülasyonlu sinyalin gönderildiği ve alındığı hatlar üzerindeki frekans karakteristiğini belirleyen birden fazla filtre devresi bulunmaktadır. Başlıca hat kuplaj filtresi, RX pasif filtre (alım), TX pasif filtre (gönderim) ve TX aktif filtre.

Modem entegresi tarafından gönderilecek veri yön olarak önce TX pasif filtresine sonra TX aktif filtresi ve hat kuplaj filtresine gönderilmektedir. Modem entegresi tarafından algılanan bilgi ise önce hat kuplaj devresi sonrasında RX pasif filtre üzerinden modem giriş birimine ulaşmaktadır.

Hat kuplaj filtresi, çift yönlü olarak verinin taşınmasını ve güç hattı üzerindeki haberleşme sinyalinin uygulanmasını sağlamaktadır. Özellikle 1:1 lik bir çevrim oranı ile kullanılan kuplaj trafosu (TR2) haberleşme biriminin güç hattından fiziksel olarak izole edilmesini sağlamaktadır. Bu devre ana PLC haberleşme hattının frekans karakteristiğini belirlemektedir.



Şekil 3.26: PLC kuplaj devresi alıcı sinyal yönü.

Kuplaj devresinin incelemesi şebekenin kaynak, TR2 girişinin çıkış sinyali olduğu durumda yapılmıştır (Şekil 3.26). Ters yönlü filtrelemede benzer yüksek geçirgen karakteristiğini gösterecektir. Bu yönün analiz edilmemesi şebeke empedansının değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek geçiren filtre yapısında olan kuplaj devresinin kullanım yönüne ait transfer fonksiyonu hesaplaması denklem (3.7)'de yer almaktadır.

$$A(s) = \frac{sL_T}{sL_T + sL_2 + \frac{1}{sC_{23}}} = \frac{s^2(L_TC_{23})}{s^2((L_T + L_2)C_{23}) + 1} \quad (3.7)$$

İkinci dereceden yüksek geçiren filtrelerin genel transfer fonksiyonu denklem (3.8) de yer almaktadır. Bu denklemden yola çıkarak kesim frekansı denklem (3.11) deki gibi bulunur.

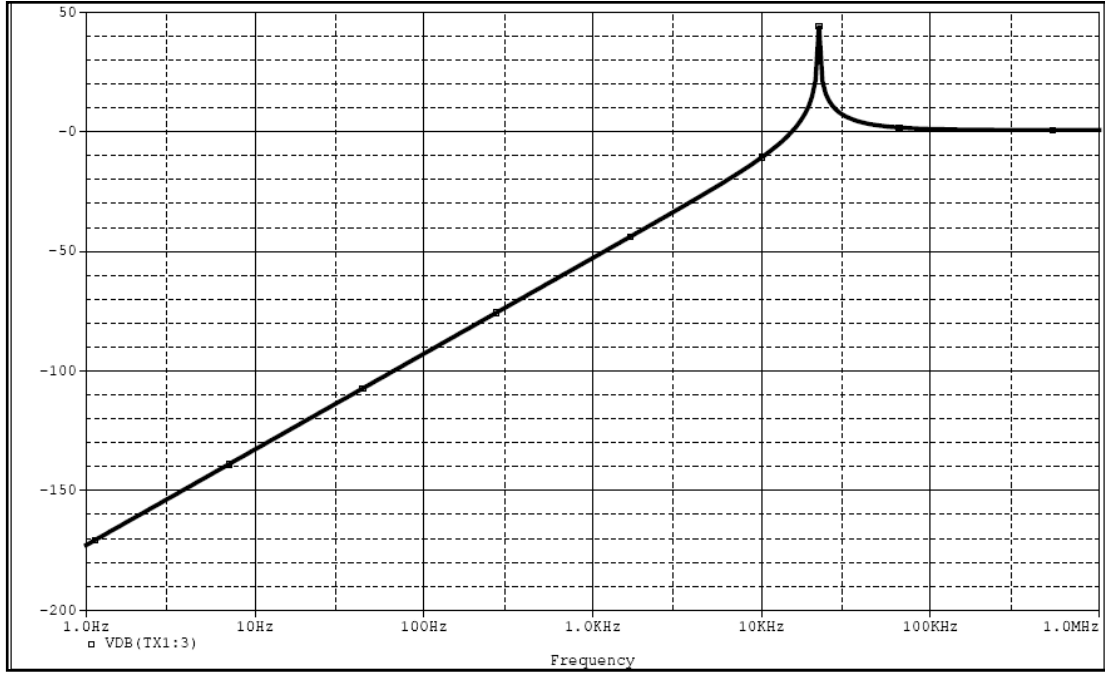
$$H(s) = \frac{K(s/\omega_c)}{1 + 2\delta(s/\omega_c) + (s/\omega_c)^2} \quad (3.8)$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{1}{(L_T + L_2)C_{23}}} \quad (3.9)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_T + L_2)C_{23}}} \quad (3.10)$$

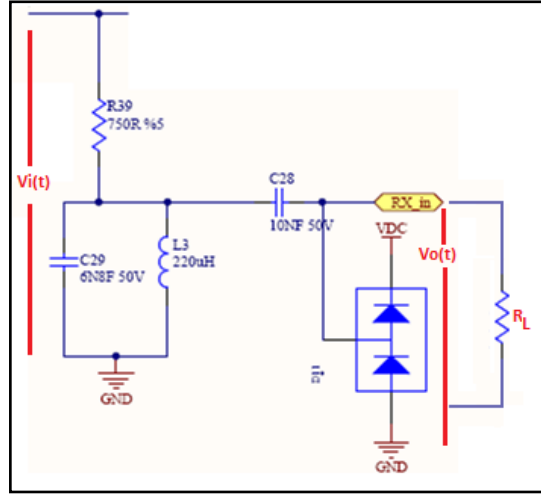
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1100 \times 10^{-6} + 33 \times 10^{-6}) \times 47 \times 10^{-9}}} = 21.810 \text{ kHz} \quad (3.11)$$

Hesaplanan kesim frekansı Pspice programında benzetim ile doğrulanmıştır. Pspice programında elde edilen bode grafiği Şekil 3.27’de yer almaktadır. Grafik üzerinden incelendiğinde 50Hz seviyesindeki şebeke sinyali kupling devresinden geçememektedir. Aynı zamanda 132kHz seviyesindeki PLC haberleşme sinyalleri en az zayıflama oranı ile alıcı devresine ulaşmaktadır. Ters yönünde de 132kHz lik sinyal filtrelenmeyerek şebeke sinyali üzerine bindirilebilmektedir.



Şekil 3.27: Hat kuplaj devresi frekans cevabı.

RX pasif filtresi, şebeke üzerinden gelen FSK modülasyonlu verinin en az gürültülü şekilde algılanması için kullanılmaktadır. Şekil 3.28’de yer alan filtre devresi ikinci dereceden bir bant geçiren filtre özelliğindedir. Bant geçiren özelliğinde bir devre olmasının temel nedeni haberleşme sinyali dışında farklı frekanslardaki gürültülerin ve anlamlı sinyallerin algılanmamasını sağlamaktadır. Aynı zamanda bu sayede aynı hat üzerinde farklı frekanslarda PLC haberleşmesi kurulabilmektedir.



Şekil 3.28: PLC RX pasif filtre devresi.

RX pasif filtre devresinin kesim frekansları 132kHz merkez frekansı temel alınarak belirlenmiştir. Devrenin transfer fonksiyonu hesaplaması denklem (3.12)'de yer almaktadır. Bu transfer fonksiyona göre hesaplanan kesim frekansıda denklem (3.15)'te yer almaktadır.

$$A(s) = \frac{\frac{1}{\frac{1}{sL_3} + sC_{29}}}{R_{39} + \frac{1}{\frac{1}{sL_3} + sC_{29}}} = \frac{sL_3}{s^2(L_3C_{29}R_{29}) + s(L_3) + R_{39}} \quad (3.12)$$

$$A(s) = \frac{s \left(\frac{1}{R_{39}C_{29}} \right)}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_{39}C_{29}} \right) + \left(\frac{1}{L_3C_{29}} \right)} \quad (3.13)$$

İkinci dereceden bant geçiren filtrelerin genel transfer fonksiyonu denklem (3.14)'te yer almaktadır. Bu denklemden yola çıkarak kesim frekansı denklem (3.16) daki gibi bulunur.

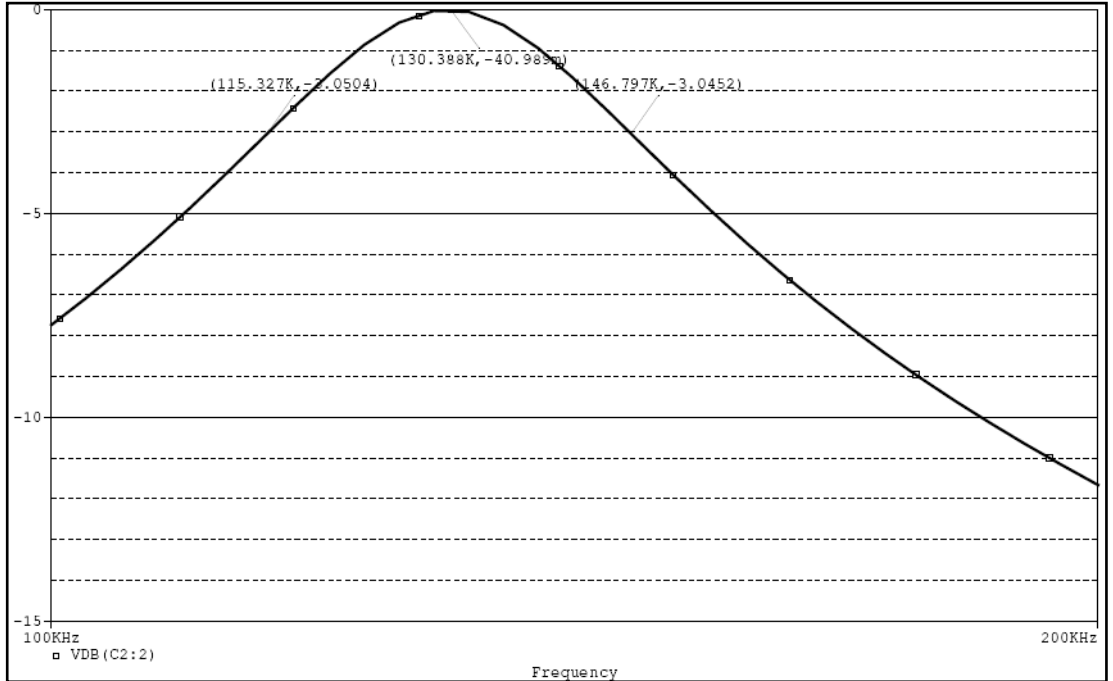
$$H(s) = \frac{K \cdot 2\delta(s/\omega_c)}{1 + 2\delta(s/\omega_c) + (s/\omega_c)^2} \quad (3.14)$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{1}{L_3C_{29}}} \quad (3.15)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_3 C_{29}}} \quad (3.16)$$

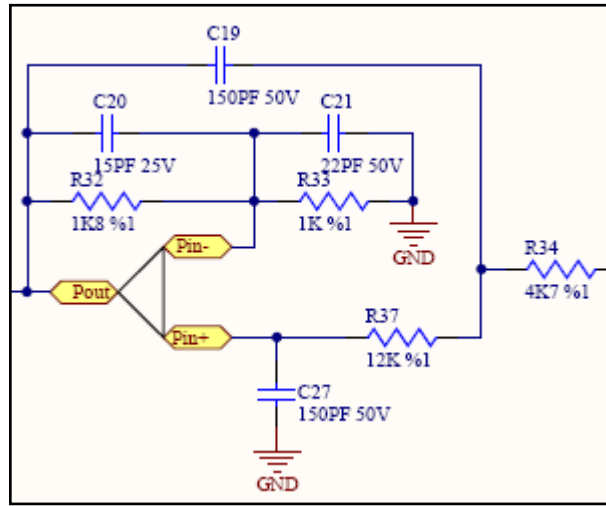
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(220 \times 10^{-6}) \times 6.8 \times 10^{-9}}} = 130.123 \text{ kHz} \quad (3.17)$$

Hesaplanan kesim frekansı bant geçiren filtrenin merkez frekansıdır. Filtre frekansları ise merkez frekansın sağında ve solunda yer alan -3dB kazanç oluşturan frekans noktalarıdır. Bu frekans gerçekleştirilecek eleman değerleriyle oluşturulabilecek PLC haberleşme frekansına en yakın noktadır. Aynı devre Pspice programı üzerinde de incelenmiştir. Pspice programında elde edilen bode grafiği Şekil 3.29'da yer almaktadır. Grafik üzerinden incelendiğinde merkez frekans 130.388kHz noktasındadır. Filtrenin kesim frekansları ise 115.327kHz ve 146.797kHz noktalarında yer almıştır. Bu filtre devresi ile 132kHz seviyesindeki PLC haberleşme sinyalleri en az kayıpla modem entegresinin alıcı sinyal girişine ulaşmaktadır. Aynı şekilde 115.327kHz ve 146.797kHz aralığı dışındaki gürültü sinyalleri filtrelenerek haberleşme sinyalinin bozulması engellenmektedir.



Şekil 3.29: RX pasif filtre devresi frekans cevabı.

TX pasif filtresi, kontrol birimi tarafından gönderilen ve modem entegresi tarafından modüle edilen haberleşme sinyalinin en az gürültülü şekilde şebeke sinyali üzerine kuple edilmesini sağlayan devredir. Bu filtrenin özelliği taşıyıcı frekansında üretilen sinyalin farklı nedenlerle üzerine eklenmiş gürültü işaretlerinin filtrelenmesidir. Kullanılan ST7540 modem entegresi içerisinde aktif kontrollü bir opamp yer almaktadır. Aynı zamanda üretilecek FSK modülasyonun genlik değeri entegre içerisindeki kazanç devreleri ile ayarlanabilmektedir. Bu özelliklerin kullanılabilmesi için modem üzerindeki opamp kullanılarak standart bir Sallen-Key ikinci dereceden alçak geçiren filtre yapısı kullanılmıştır. Bu filtre devresi Şekil 3.30’da yer almaktadır.



Şekil 3.30: PLC TX aktif filtre devresi.

TX pasif filtre devresinin kesim frekansları 132kHz FSK modülasyon sinyalini kayıpsız olarak geçirebilecek şekilde kurgulanmıştır. Aynı zamanda yüksek frekans gürültülerin filtrelenebilmesi için kesim frekansı yaklaşık olarak 140kHz mertebesine ayarlanmıştır. Devrenin transfer fonksiyonu hesaplaması denklem (3.18)’de, transfer fonksiyona göre hesaplanan kesim frekansıda denklem (3.21)’de yer almaktadır [29].

$$A(s) = \frac{1 + \frac{R_{32}}{R_{33}}}{\frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{s}{\omega_c \cdot Q} + 1} \quad (3.18)$$

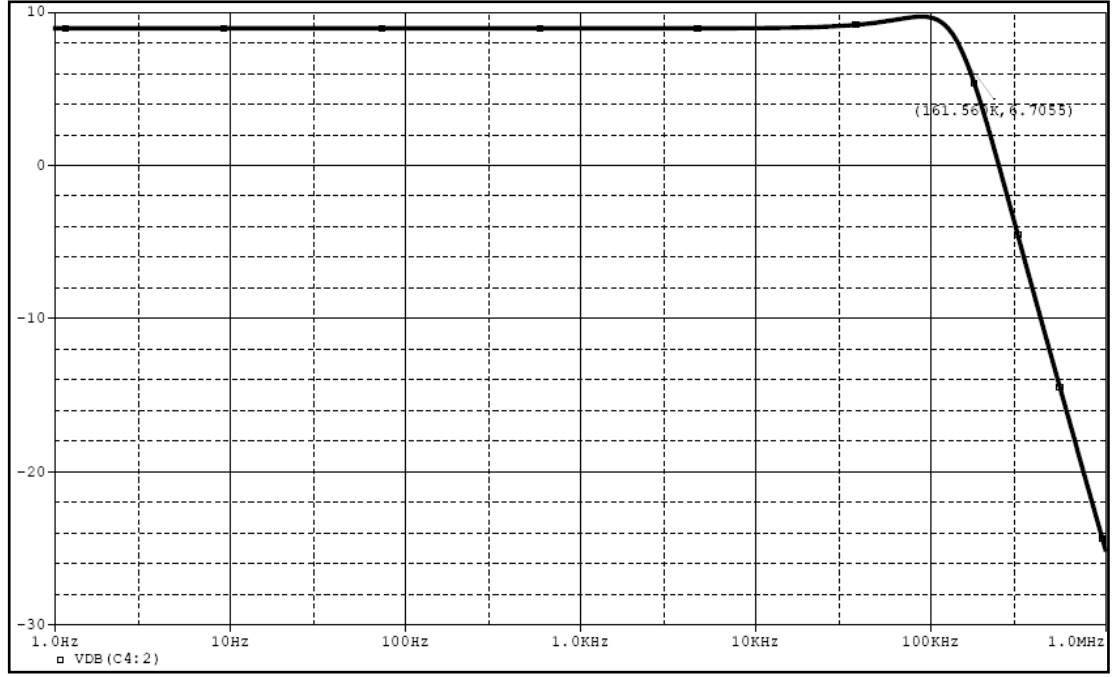
$$Q = \frac{\sqrt{R_{34}R_{37}C_{19}C_{27}}}{R_{34}C_{27} + R_{37}C_{19} + R_{34}C_{19}\left(\frac{R_{32}}{R_{33}}\right)} \quad (3.19)$$

İkinci dereceden Sallen-Key alçak geçiren filtrelerin genel transfer fonksiyonuna bağlı kesim frekansı denklem (3.18)'deki gibi bulunur.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_{34}R_{37}C_{19}C_{27}}} \quad (3.20)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(4700)(12000)(150 \times 10^{-12})(150 \times 10^{-12})}} = 141.282 \text{ kHz} \quad (3.21)$$

Hesaplanan kesim frekansı alçak geçiren filtrenin köşe frekansıdır. Bu köşe frekansı ana kazançtan -3dB altında konumlanan frekans noktasıdır. Bu frekans gerçekleştirilecek eleman değerleriyle oluşturulabilecek PLC haberleşme frekansına en yakın noktadır. Aynı devre Pspice programı üzerinde de incelenmiştir. Pspice programında elde edilen bode grafiği Şekil 3.31'da yer almaktadır. Grafik üzerinden incelendiğinde köşe frekansı 161.560 kHz noktasındadır. Hesaplanan değer ile benzetim sonucunun farklı çıkması Pspice üzerindeki opamp modelinden kaynaklanmaktadır. Kullanılan PLC modem entegresi içerisindeki opampın parametreleri bilinmediğinden firmanın uygulama notlarına sadık kalınmıştır. Bu filtre devresi ile modem tarafından üretilen 132kHz seviyesindeki PLC haberleşme sinyali en az kayıpla şebeke sinyali üzerine kuple edilmektedir. Aynı zamanda köşe frekansından yüksek frekanslı gürültüler filtrelenerek şebeke tarafına gönderilmemektedir.



Şekil 3.31: TX aktif filtre devresi frekans cevabı.

3.4. Ölçüm Devreleri Tasarımı

Ölçüm devreleri iPlug sistemine bağlı cihazların şebeke üzerinden çektiği gücün, akımın ve gerilimin belirlenmesinde kullanılan devrelerdir. iPlug sistemine bağlı olan cihazların koruma moduna alınması, korumalı kapatılması veya enerjilendirilmesi gibi akıllı kontroller ölçülen bu değerler üzerinden yapılmaktadır.

Evlerde kullanılan elektriğin tarifelenen kısmı aktif güç olduğu için tasarlanan sistemde ölçülen gücün sadece aktif güç kısmı hesaplanmıştır. Aktif güç, teorik olarak sinüzoidal sinyaller için görünür gücün güç faktörü ile çarpımlı olarak hesaplanmaktadır. Güç faktörü ise sinüzoidal sinyaller için basitçe akım ve gerim sinyalleri arasındaki faz kaymasının bir fonksiyonu, genel olarak ise aktif gücün görünür güce bölümü ile elde edilmektedir.

Ev içerisinde prizlere takılan cihazların kapasitif ve indüktif olarak şebekeden güç tükettiğini düşündüğümüzde harcanan aktif gücü denklem (3.22)'deki gibi hesaplamak yaklaşım açısından daha doğru olacaktır. Bu sayede yük tipinden bağımsız olarak aktif güç hesaplanabilecektir.

$$P_{Aktif} = V_{RMS} I_{RMS} \cos(\emptyset) \quad (3.22)$$

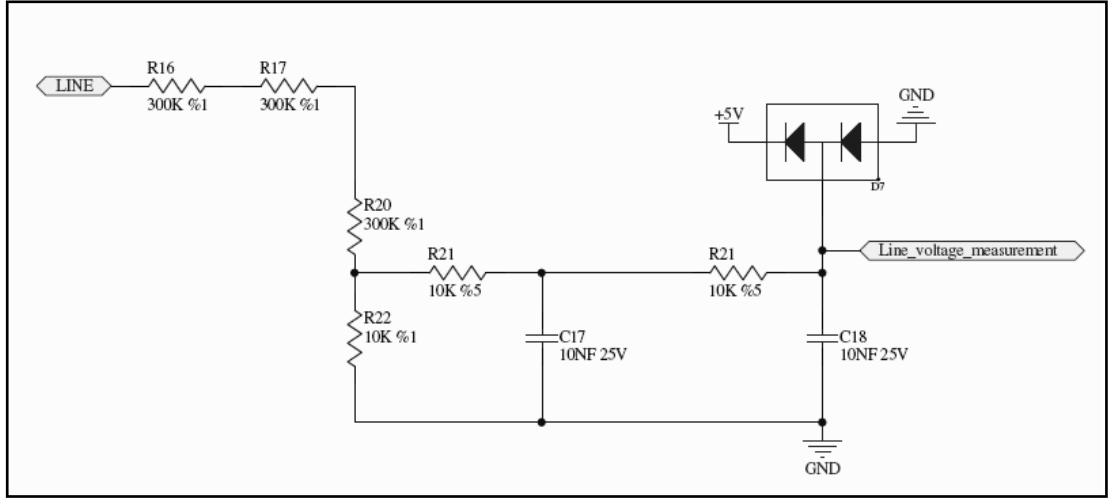
Aktif gücün normal hesaplasını dijitalize edip harmoniklerini hesaplamadan elimine ettiğimizde ortaya çıkan ölçüm denklemi (3.23) hem gerçek güç değerine yakın hem de sayısal sistemlere uygulanabilir ortalama bir aktif güç ölçülebilmektedir [30].

$$P_{Aktif} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V[k] * I[k] \quad (3.23)$$

Tasarlanan iPlug sisteminde güç ölçümü gerilimin periyoduna bağlı olarak anlık akım ve gerilim sinyal örneklerinin çarpımlarının toplanması ile elde edilmiştir. Gerilim ve akım değerleri ise tasarlanan ayrı devre blokları üzerinden ölçülerek kontrol işlemcisinin 10bit ADC kanalı ile okunarak sayısal bilgiye çevrilmiştir. Yapılan ölçümlerin sonunda bir kompanzasyon katsayısı ile aktif güç değeri elde edilmiştir.

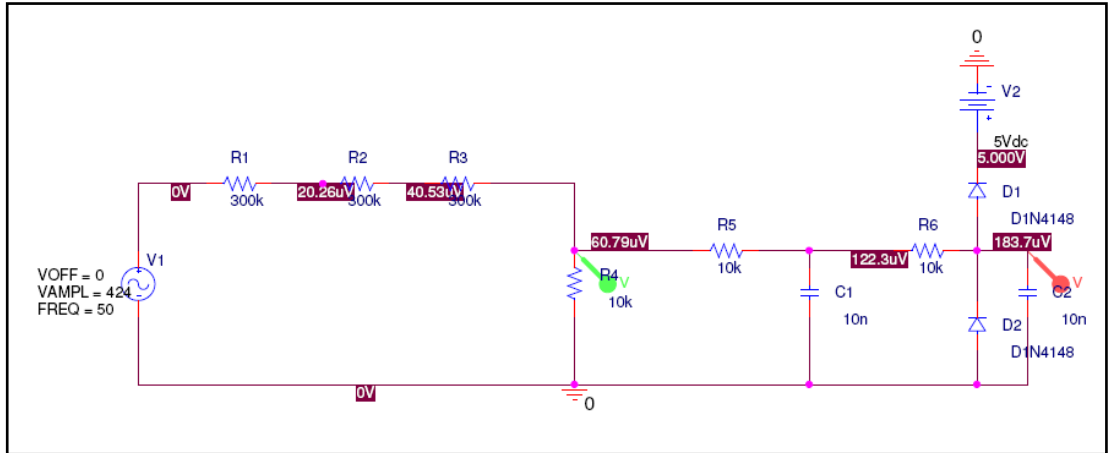
3.4.1. Gerilim Ölçüm Devresi

Şebeke gerilimi, iPlug devresi üzerinde bir gerilim düşürücüden geçirildikten sonra kontrol işlemcisinin ADC kanalına girmektedir. Şekil 3.32'deki devre tasarımı yapılırken giriş geriliminin 150V-300V aralığında esas alınmıştır. Devre üzerinde herhangi bir negatif besleme yaratılmamasından kaynaklı ölçüm 0-5V aralığında yapılabilmiştir. Bu nedenle okunan gerilim yarım dalga sinyal olup gerekli ölçüm düzeltmeleri işlemci üzerinde yapılmıştır.



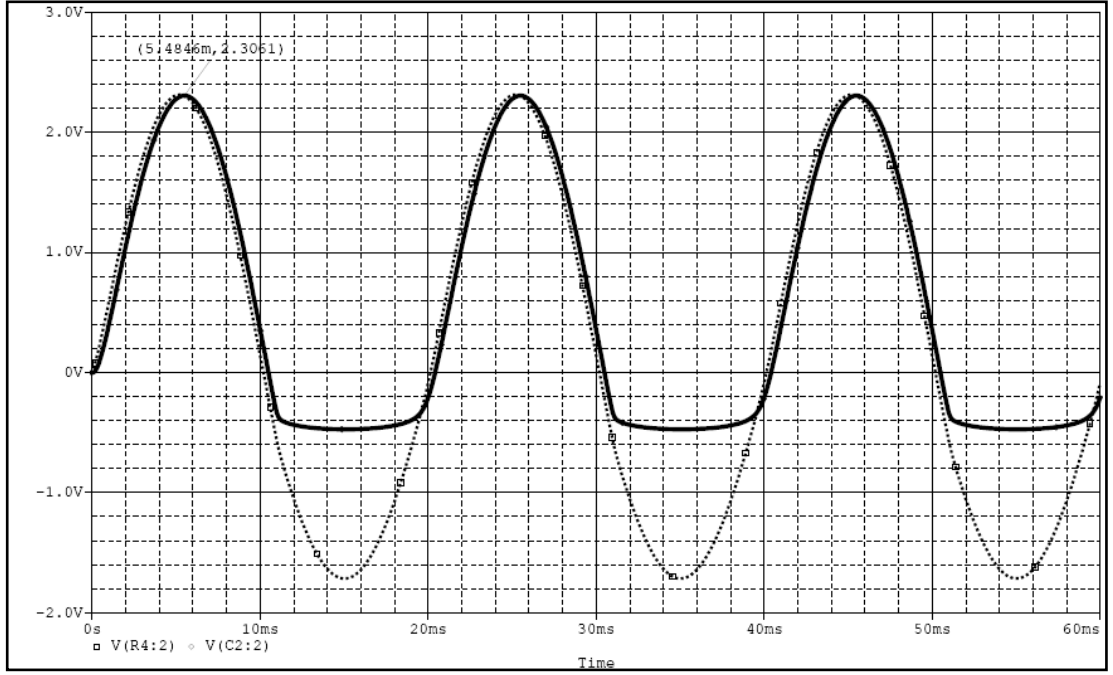
Şekil 3.32: Gerilim devresi şematik tasarımı.

Tasarlanan devrenin 150V ve 300V da ki analizlerinin yapılabilmesi için Pspice modellemesi kullanılmıştır. Tasarlanan gerilim devresinin Pspice programı üzerinde analiz yapılmasında kullanılan Şekil 3.32’de yer almaktadır.



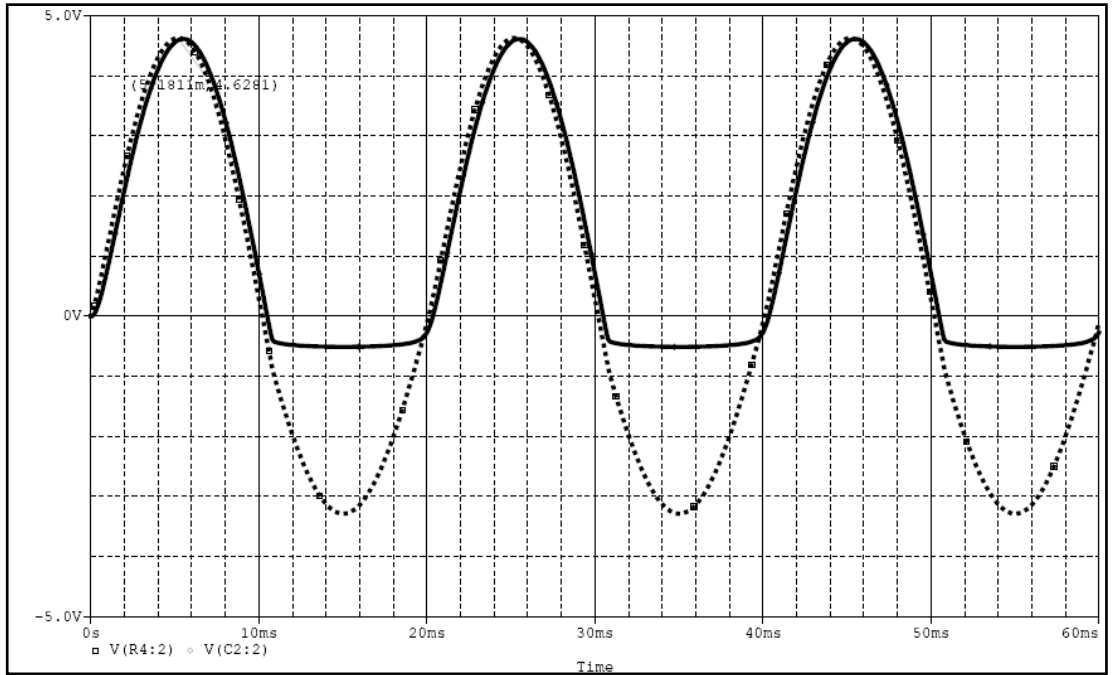
Şekil 3.33: Gerilim devresi Pspice analiz tasarımı.

Tasarlanan Pspice devresi (Şekil 3.33) öncelikle 150V gerilim mertebesinde koşturulmuştur. Elde edilen sonuçta (Şekil 3.34) işlemci girişine uygulanacak gerilim sinyalinin tepe değeri 2.30V olmaktadır.



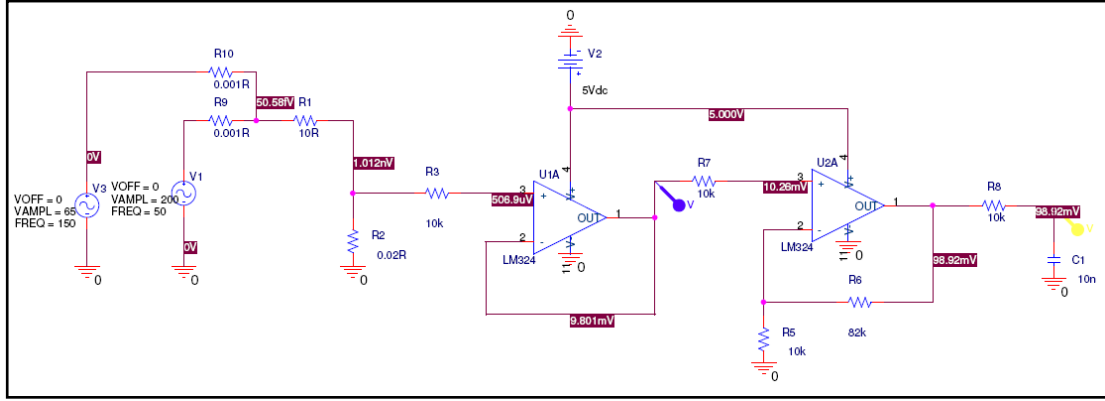
Şekil 3.34: Gerilim devresi 150V Pspice programı analiz sonucu.

Tasarlanan Pspice devresi (Şekil 3.33) 300V gerilim mertebesinde koşturulduğunda ise (Şekil 3.35) işlemci girişine uygulanacak gerilim sinyalinin tepe değeri 4.62V olmaktadır.



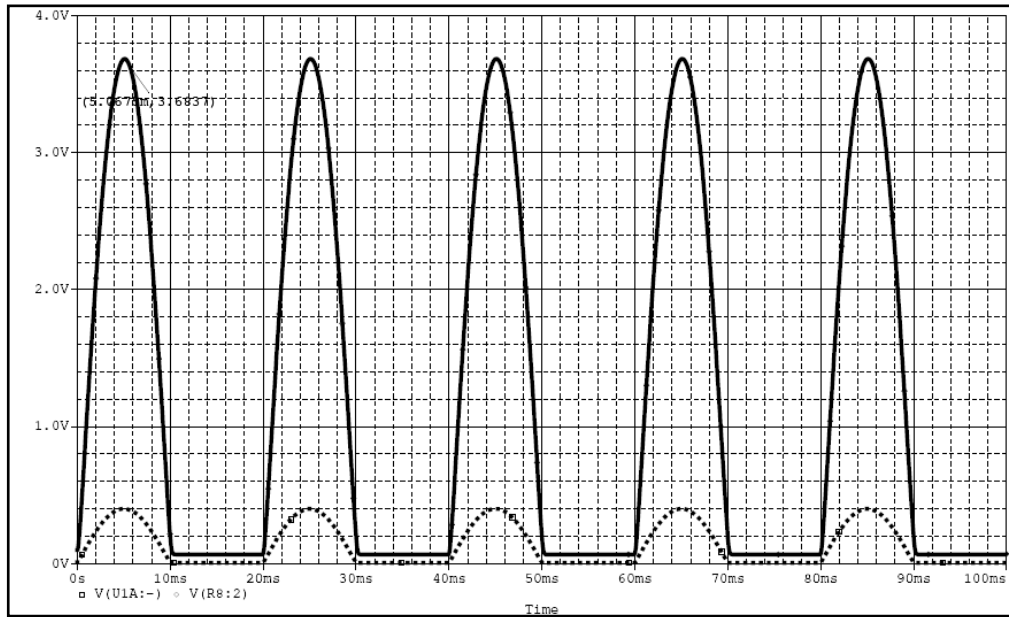
Şekil 3.35: Gerilim devresi 300V Pspice programı analiz sonucu.

Tasarlanan devrenin 0.5A ve 14A’de analiz edilebilmesi için Şekil 3.37’de yer alan Pspice modellemesi kullanılmıştır. Pspice üzerinde sadece sinüzoidal akımlar üzerine çalışılmıştır. Gerçekte akım sinyali üzerindeki harmonik sinyaller akım formunda bozulmalara ve seviye değişimlerine sebep olacaktır. Bu nedenle tasarım yüksek harmonikli akımlar altında da test edilmiştir.



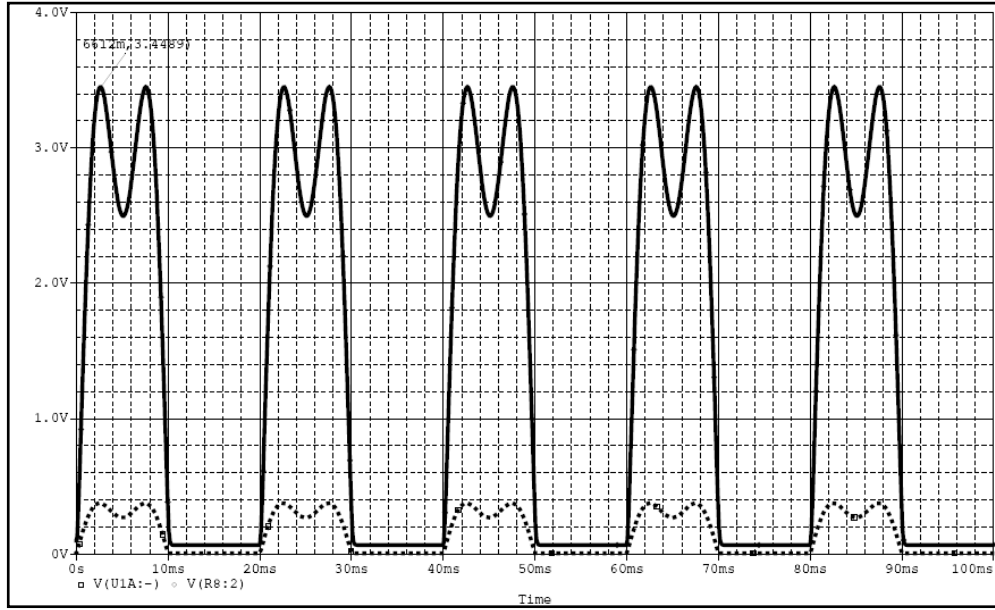
Şekil 3.37: Akım devresi Pspice analiz tasarımı.

Tasarlanan Pspice devresinin (Şekil 3.37) benzetimi saf bir 50Hz sinüzoidal akım sinyalinin 14A seviyesi için koşturulmuştur. Elde edilen sonuçta (Şekil 3.38) işlemci girişine uygulanacak gerilimin tepe değeri 3.68V olarak bulunmuştur.



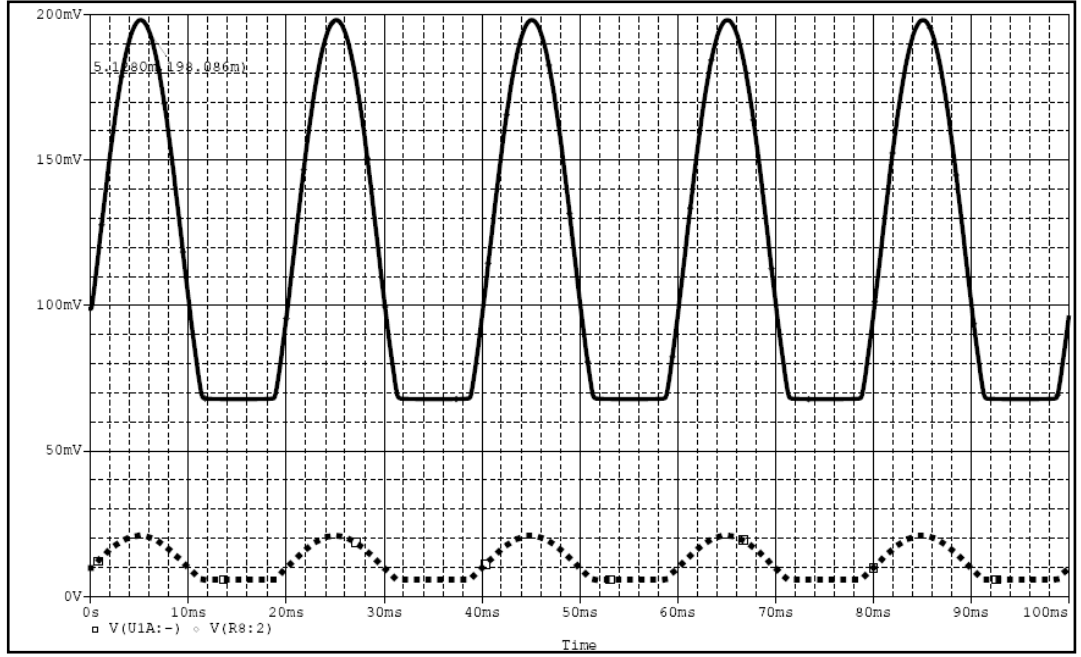
Şekil 3.38: Akım devresi 14A 50Hz Pspice programı analiz sonucu.

Akım sinyalinin gürültülü olduğu koşulu test edebilmek için sinyalin 3.Harmonik değeri ana frekansın üçte biri genliğinde sisteme değerine eklenmiştir. Elde edilen sonuçta (Şekil 3.39) işlemci girişine uygulanacak gerilimin tepe değeri 3.44V olarak değişmiş ve sinyal formu harmonik bilgisini içerecek şekilde işlemci girişine uygulanmıştır.



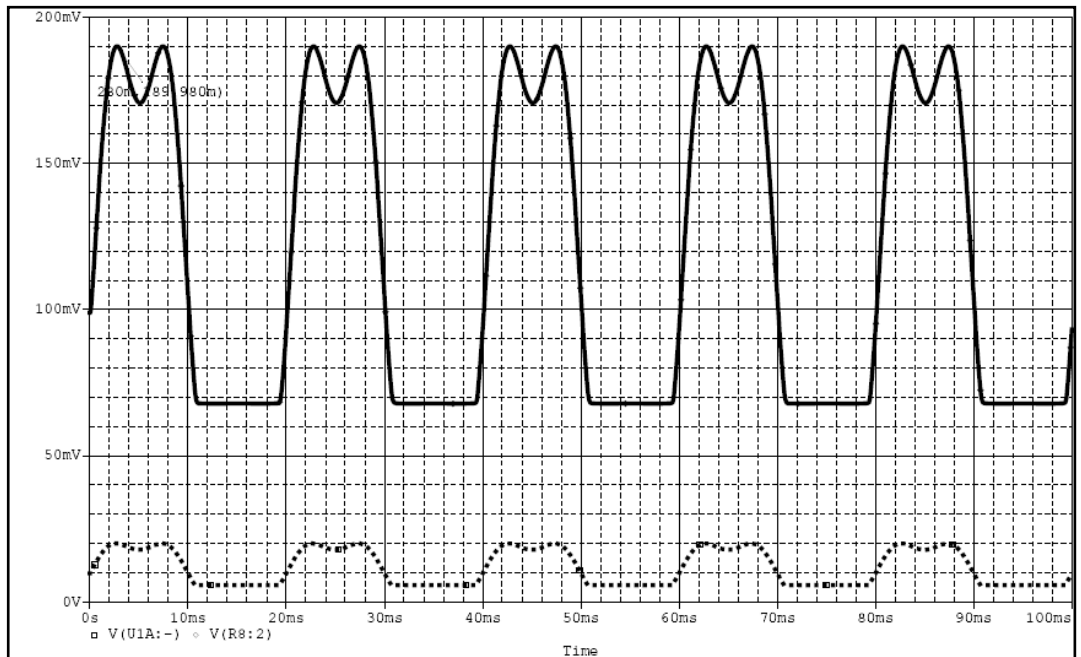
Şekil 3.39: Akım devresi 14A 50Hz ve 3.harmonik Pspice programı analiz sonucu.

Tasarlanan Pspice devresinin (Şekil 3.37) benzetimi ikinci olarak saf bir 50Hz sinüzoidal akım sinyalinin 0.5A seviyesi için koşturulmuştur. Elde edilen sonuçta (Şekil 3.40) işlemci girişine uygulanacak gerilimin tepe değeri 198mV olarak bulunmuştur.



Şekil 3.40: Akım Devresi 0.5A 50Hz Pspice programı analiz sonucu.

Akım sinyalinin gürültü koşulunu test edebilmek için 14A testlerindeki sinyalin 3.Harmonik değeri ana frekansın üçte biri genliğinde sisteme değerine eklenmiştir. Sonuçta (Şekil 3.41) işlemci girişine uygulanacak gerilimin tepe değeri 190mV ve sinyal formu harmonik bilgisini içerecek şekilde işlemci girişine uygulanmıştır.



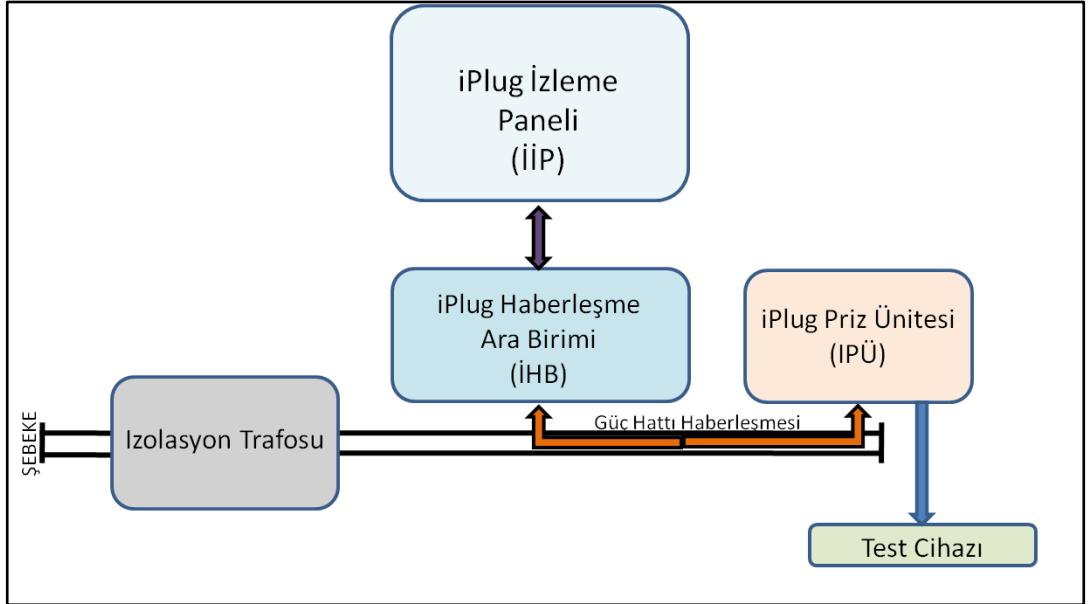
Şekil 3.41: Akım devresi 0.5A 50Hz ve 3.harmonik Pspice programı analiz sonucu.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda iPlug sistemine bağı olan cihazın şebekeden çekeceğı akım bilgisinin işlemci girişine uygulanabildiğı ve tepe değ erler üzerinden ger çek cihaz akım sinyalinin tepe değ erinin ölçülebildiğı gözlenmiştir. Elde edilen tepe değ eri, işlemci içerisinde sayısal bilgi olarak iş lenerek iPlug izleme paneline gönderilebilecektir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Düzeneği Tasarımı

iPlug izleme paneli ve iPlug cihazları arasındaki iletişimin ve oluşturulan haberleşme kuralının çalışmasını analiz edebilmek, tasarlanan bütün sistemin kararlı haberleşme hızını bulabilmek için seri testler planlanmıştır. Planlanan testlerin her şekilde aynı koşul altında yapılabilmesi için Şekil 4.1'deki deney düzeneği tasarlanmıştır.



Şekil 4.1: Deney düzeneği tasarımı.

Deney sistematğinde İİP tarafından gönderilen paketler İHB devresi üzerinde işlenerek güç hattına kuple edilmektedir. Güç hattı üzerine kuple edilen veriler İPÜ tarafından algılandıktan sonra uygun cevaplama paketi üretilerek yeni veri paketi güç hattına kuple edilir. İHB tarafından algılanan cevap veri paketi doğruluk kontrolünden geçtikten sonra İİP ye İPÜ den gelen cevap paketi olarak gönderilir. Deneyler sırasında farklı gürültü koşulları altında paketlerin gönderim sıklığı test edilecektir. Böylelikle doğruluk payı yüksek bir şekilde hangi koşullar altında haberleşme kurulabildiği tespit edilmiş olunacaktır. Deneylerin yapıldığı platformda

(Şekil 4.2) özel bir arayüz ekranı üzerinden farklı paket sıklıkları ve sayıları girilerek deney gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2: Performans testleri deney sistemi.

İİP tarafından gönderilen paketlerin sistedeki performansları, her defasında 500 adet paket sistemde 100ms, 150ms, 200ms, 250ms, 300ms, 500ms ve 1s paket gönderme sıklık değerleri için gönderilerek başarılı bir şekilde geri alınan cevap paket sayısı ölçülerek tekrarlanmıştır. Verilen İİP üzerinden gönderildiği test ekranı (Şekil 4.3) üzerinde her test için ilgili değerler girilerek tekrarlanmıştır [31].



Şekil 4.3: İPP test ekranı arayüz görüntüsü.

4.2. Gürültü Deneyleri

Gürültü deneyleri tasarlanan sistemin kararlılık noktasını ve en uygun haberleşme hızını tespit etmek için yapılmıştır. Deneylerde kullanılan gürültü kaynakları yük tipine göre seçilmiştir.

4.2.1. Elektrik Isıtıcısı Deneyi

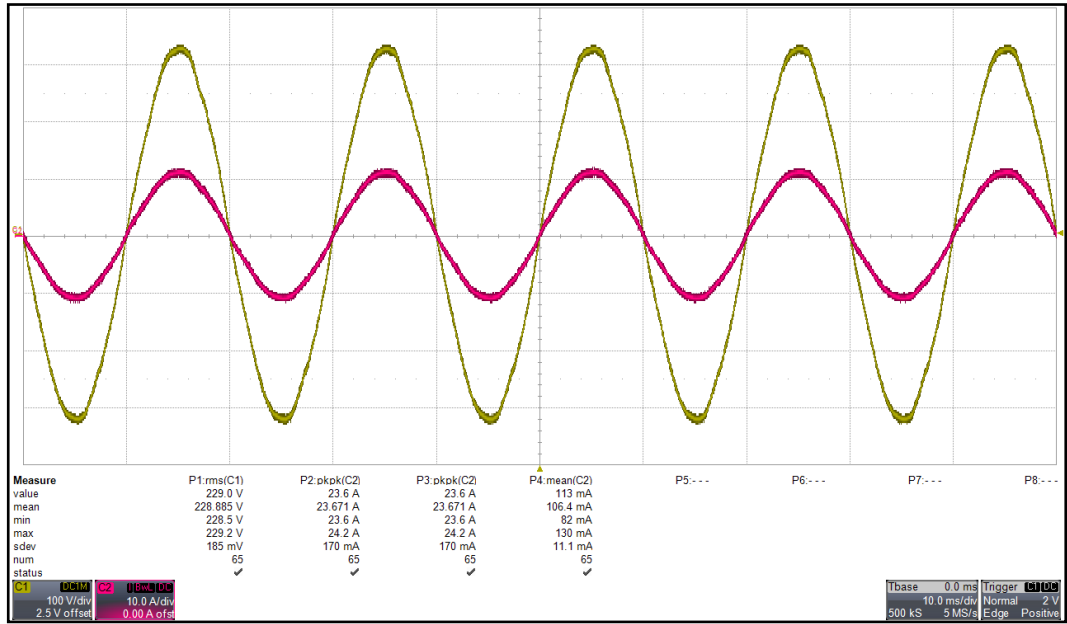
Elektrikli ısıtıcı rezistif bir yük olduğu için şebeke gerilimi ile faz kaymasız olarak akım çekmesi beklenmektedir. Rezistif yük olmasından kaynaklı şebeke hattına yüksek frekanslı bir gürültü basmaması ve farklı harmoniklerde bozulmalar yaratmaması gerekmektedir. Bozulmanın oluşmaması adına ısıtıcının dimmer ayarlaması kullanılmamıştır. Deneylerde kullanılan Arçelik FLV KS 2000 model elektrikli ısıtıcı (Şekil 4.4) çalışırken cihaz çıkışında ölçülen gerilim-akım sinyalleri Şekil 4.5’de ve teknik bilgileri ise Tablo 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.4: Deneylerde kullanılan Arçelik FLV KS 2000 ısıtıcı.

Tablo 4.1: Arçelik FLV KS 2000 elektrikli ısıtıcı teknik bilgileri.

Parametre	Değer
Isıtıcı Tipi	Elektrik
Isıtıcı Gücü	2000W
Isıtıcı Gerilimi	220V-240V
Isıtıcı Frekans	50-60Hz



Şekil 4.5: Elektrikli ısıtıcı enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.

4.2.2. Sa Kurutma Makinesi Deneyi

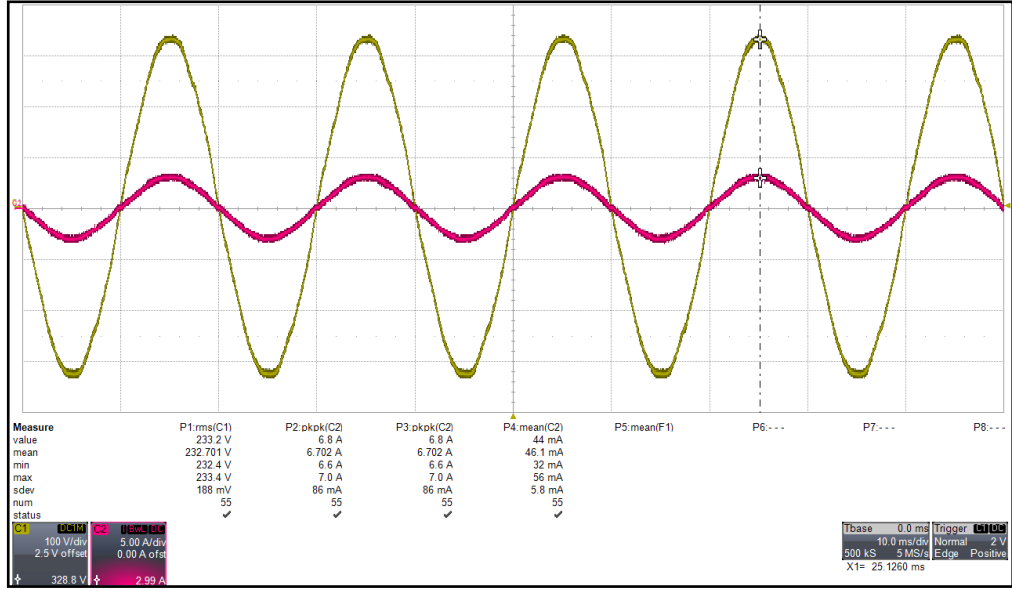
Sa kurutma makinesi, üzerinde bulunan AC motor nedeni ile endüktif bir yüküdür. Bu nedenle şebekeden çekilen akım, şebeke gerilimine göre belirli bir faz kaymasına sahiptir. Aynı zamanda saç kurutma makineleri motor yapısından kaynaklı şebeke hattı üzerinde yüksek frekanslı gürültü ve farklı harmoniklerde bozulmalar yaratmaktadır. Deneylerde kullanılan SINBO SHD 2693 model saç kurutma makinesi (Şekil 4.6) çalışırken ölçülen gerilim-akım sinyalleri Şekil 4.7’de ve teknik bilgileri ise Tablo 4.2’de yer almaktadır.



Şekil 4.6: Deneylerde kullanılan SINBO saç kurutma makinesi.

Tablo 4.2: SINBO SHD 2693 saç kurutma makinesi teknik bilgileri.

Parametre	Değer
Makine Tipi	Isıtıcı, Hız ayarlı
Isıtıcı Gücü	2200W
Isıtıcı Gerilimi	220V-240V
Isıtıcı Frekans	50-60Hz



Şekil 4.7: Saç Kurutma makinesi enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.

4.2.3. Bulaşık Makinesi Deneyi

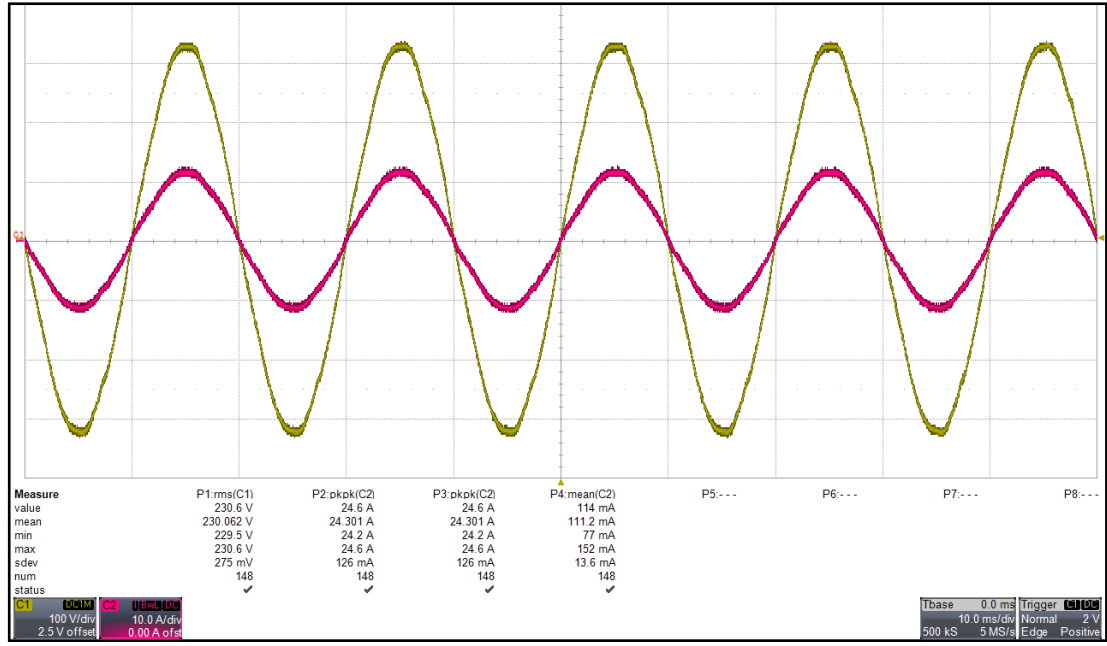
Bulaşık makinesi, farklı yük tiplerinin farklı zamanlamalarla devreye girip çıkmasından dolayı deneylerde dinamik yük geçişini temsilen kullanılmıştır. Yıkamanın ana fazından indüktif karakteristik gösterirken ara aşamalarda (deterjan atma, tahliye, su alma) kapasitif özellik gösterebilmektedir. Deneylerde kullanılan BEKO marka bulaşık makinesi (Şekil 4.8) çalışırken ölçülen gerilim-akım sinyalleri Şekil 4.9’da ve teknik bilgileri ise Tablo 4.3’te yer almaktadır.



Şekil 4.8: Deneylerde kullanılan BEKO bulaşık makinesi.

Tablo 4.3: BEKO bulaşık makinesi teknik bilgileri.

Parametre	Değer
Makine Tipi	5 Programlı
Isıtıcı Gücü	1800W
Isıtıcı Gerilimi	220V-240V
Isıtıcı Frekans	50-60Hz



Şekil 4.9: Bulaşık makinesi enerjiliyken ölçülen akım ve gerilim değerleri.

5. ANALİZ VE SONUÇLAR

5.1. Yüksüz Koşulda Yapılan Deney Sonucu

Deney düzeneğinde yapılan yüksek deneyler iPlug cihazına herhangi bir gürültü kaynağı bağlanmadığı durumdur. Bu koşulda yapılan testlerde elde edilen performans verileri Tablo 5.1’de yer almaktadır.

Tablo 5.1: Yüksüz durumda elde edilen cevap paket sayıları.

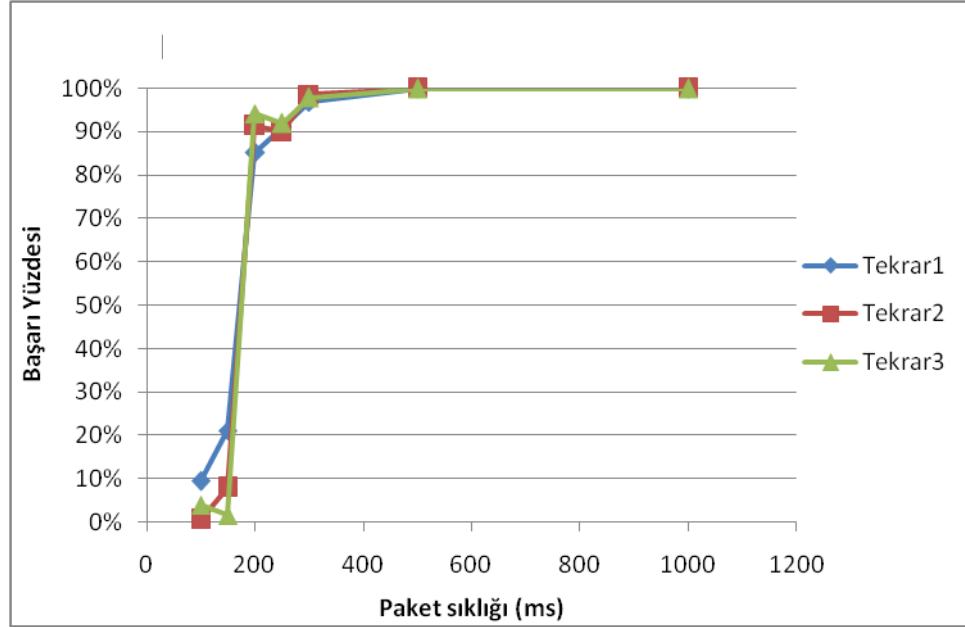
YÜKSÜZ DURUM DENEYİ		ALINAN PAKET SAYISI		
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney2	Deney3
100	400	47	3	20
150	267	106	40	8
200	200	426	457	471
250	160	455	450	460
300	133	484	493	489
500	80	500	500	500
1000	40	500	500	500

Elde edilen deney sonuçlarından yola çıkılarak hesaplanan performans değerleri tablo 5.2’de yer almaktadır. Bu performans değerleri dikkate alındığında 200ms paket gönderim sıklığı sistem için ideal aktarım hızı olarak seçilebilir. Paket gönderim hızının 150ms yapıldığı durumda başarı oranı %10 değerine kayıp oranı %90 değerine çıkmaktadır. Tasarlanan sistemde %90 başarı oranı iyi bir haberleşme kabul edilebilir bir düzeydir.

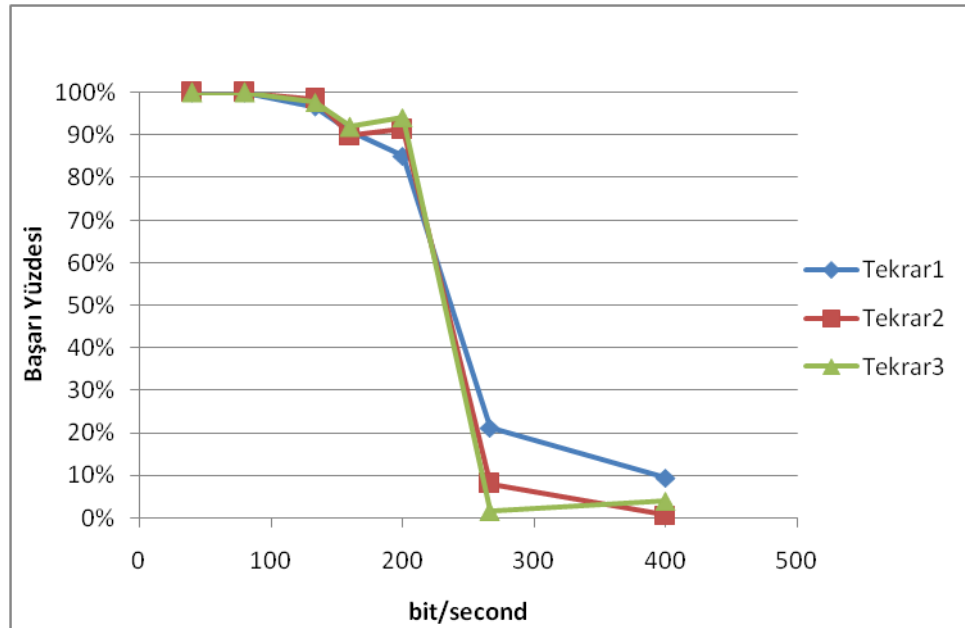
Tablo 5.2: Yüksüz durumda hesaplanan performans değerleri.

YÜKSÜZ DURUM DENEYİ		PERFORMANS SONUÇLARI			
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3	TOPLAM
100	400	9%	1%	4%	5%
150	267	21%	8%	2%	10%
200	200	85%	91%	94%	90%
250	160	91%	90%	92%	91%
300	133	97%	99%	98%	98%
500	80	100%	100%	100%	100%
1000	40	100%	100%	100%	100%

Hesaplanan performans değerleri üzerinden çizdirilen yüksüz duruma ait performans grafiği (Şekil 5.1) sistemin hız değişimine karşılık performans değişimini vermektedir. Haberleşmenin bit sıklığına bağlı performans değişimi Şekil 5.2’de yer almaktadır.



Şekil 5.1: Yüksüz durum paket sıklığına bağlı performans grafiği.



Şekil 5.2: Yüksüz durum bit sıklığına bağlı performans grafiği.

5.2. Elektrikli Isıtıcı Deneyi Performans Sonuçları

Deney düzeneğinde İPÜ'ne bölüm 4.2.1'de detayları yer alan elektrikli ısıtıcı bağlanmıştır. Yapılan testlerde elde edilen performans verileri Tablo 5.1'de yer almaktadır.

Tablo 5.3: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.

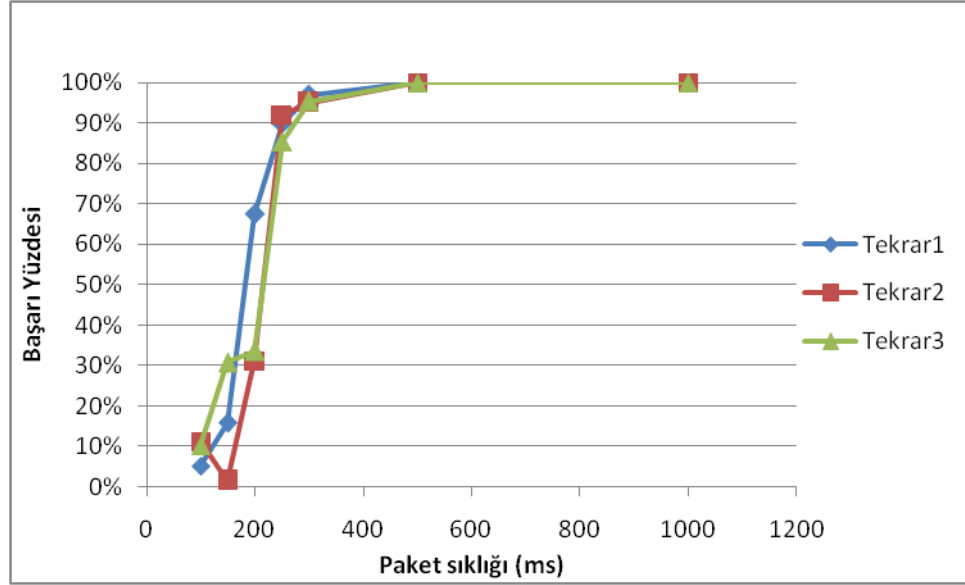
ELEKTRİKLİ ISITICI DENEYİ		ALINAN PAKET SAYISI		
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3
100	400	26	56	51
150	267	79	8	154
200	200	337	156	168
250	160	449	460	427
300	133	485	475	477
500	80	500	500	500
1000	40	500	500	500

Elde edilen deney sonuçlarından yola çıkılarak hesaplanan performans değerleri Tablo 5.4'de yer almaktadır. Bu performans değerleri dikkate alındığında 250ms paket gönderim sıklığı sistem için bu deney koşullarında ideal aktarım hızı olarak seçilebilir. Paket gönderim hızının 200ms yapıldığı durumda başarı oranı %44 değerine kayıp oranı %56 değerine çıkmaktadır. Tasarlanan sistemde %89 başarı oranı iyi bir haberleşme kabul edilebilir.

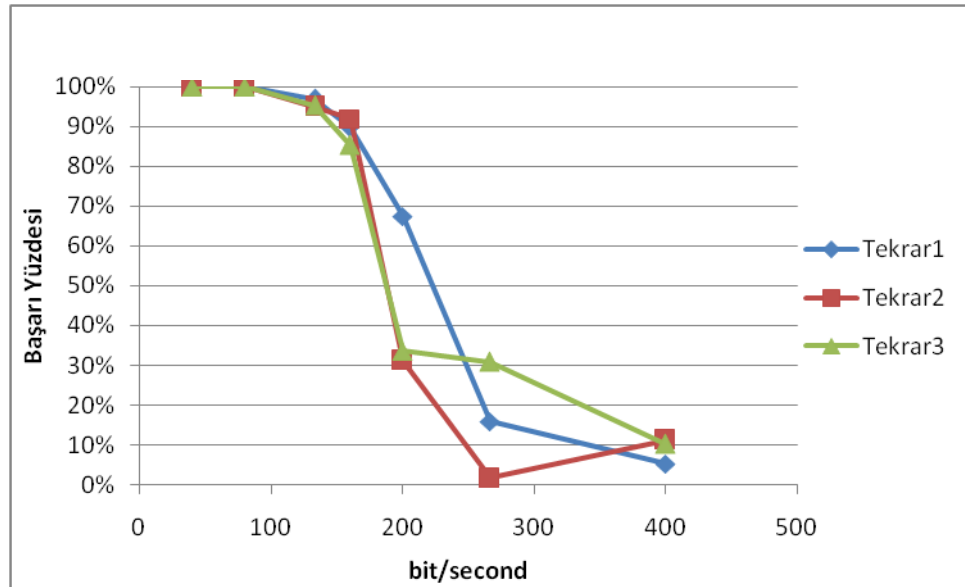
Tablo 5.4: Elektrikli ısıtıcı deneyinde hesaplanan performans değerleri.

ELEKTRİKLİ ISITICI DENEYİ		PERFORMANS SONUÇLARI			
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3	TOPLAM
100	400	5%	11%	10%	9%
150	267	16%	2%	31%	16%
200	200	67%	31%	34%	44%
250	160	90%	92%	85%	89%
300	133	97%	95%	95%	96%
500	80	100%	100%	100%	100%
1000	40	100%	100%	100%	100%

Hesaplanan elektrikli ısıtıcı deneyi performans değerleri üzerinden çizdirilen grafik (Şekil 5.3) sistemin hız değişimine karşılık performans değişimini vermektedir. Haberleşmenin bit sıklığına bağlı performans değişimi Şekil 5.4'te yer almaktadır.



Şekil 5.3: Elektrikli ısıtıcı deneyi paket sıklığına bağlı performans grafiği.



Şekil 5.4: Elektrikli ısıtıcı deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiği.

5.3. Saç Kurutma Makinesi Deneyi Performans Sonuçları

Deney düzeneğinde ikinci test olarak İPÜ'ne bölüm 4.2.2'de detayları yer alan saç kurutma makinesi bağlanmıştır. Yapılan testlerde elde edilen performans verileri Tablo 5.5'te yer almaktadır.

Tablo 5.5: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.

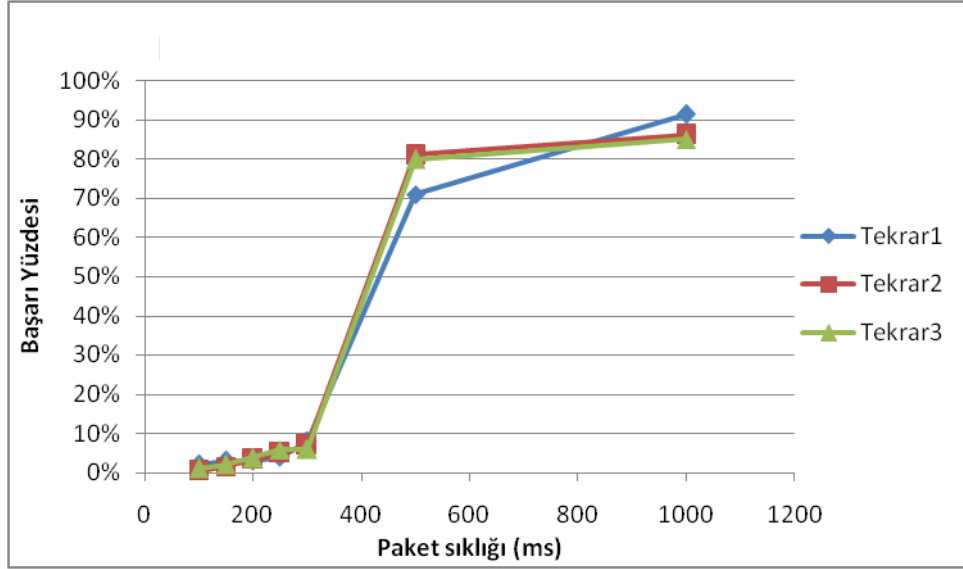
SAÇ KURUTMA MAKİNESİ DENEYİ		ALINAN PAKET SAYISI		
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3
100	400	10	2	5
150	267	15	8	10
200	200	15	17	19
250	160	20	25	29
300	133	40	35	30
500	80	355	405	400
1000	40	457	431	425

Elde edilen deney sonuçlarından yola çıkılarak hesaplanan performans değerleri Tablo 5.6'da yer almaktadır. Bu performans değerleri dikkate alındığında 1000ms paket gönderim sıklığı sistem için bu deney koşullarında ideal aktarım hızı olarak seçilebilir. Paket gönderim hızının 500ms yapıldığı durumda başarı oranı %77 değerine kayıp oranı %23 değerine çıkmaktadır. Tasarlanan sistemde %88 başarı oranı iyi bir haberleşme kabul edilebilir.

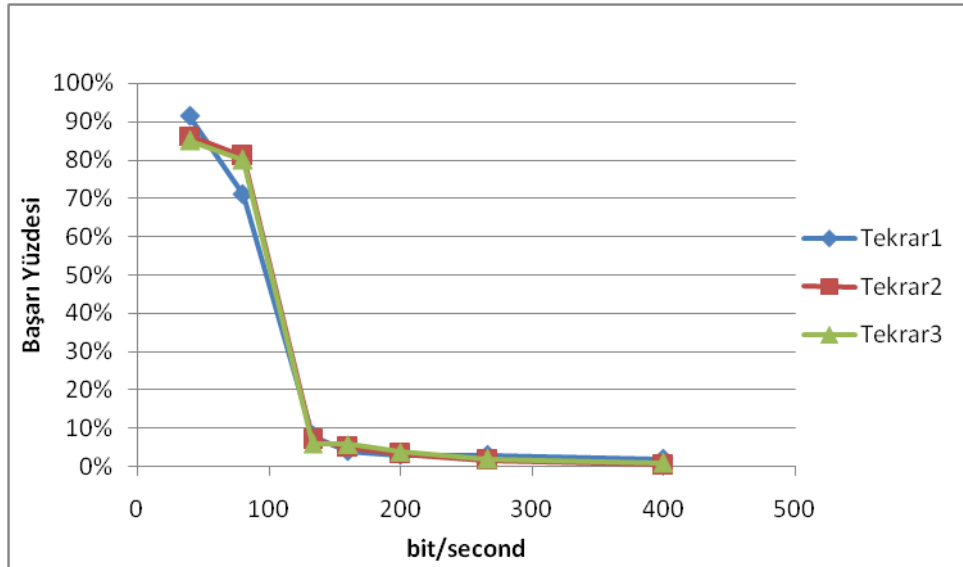
Tablo 5.6: Saç kurutma makinesi deneyinde hesaplanan performans değerleri.

ELEKTRİKLİ ISITICI DENEYİ		PERFORMANS SONUÇLARI			
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3	TOPLAM
100	400	2%	0%	1%	1%
150	267	3%	2%	2%	2%
200	200	3%	3%	4%	3%
250	160	4%	5%	6%	5%
300	133	8%	7%	6%	7%
500	80	71%	81%	80%	77%
1000	40	91%	86%	85%	88%

Hesaplanan performans değerleri üzerinden çizdirilen saç kurutma makinesine ait performans grafiği (ekil 5.5) sistemin hız değişimine karşılık performans değişimini vermektedir. Haberleşmenin bit sıklığına bağlı performans değişimi ekil 5.6'da yer almaktadır.



Şekil 5.5: Sa kurutma paket sıklığına bağlı performans deney grafiği.



Şekil 5.6: Sa kurutma makinesi deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiği.

5.4. Bulaşık Makinesi Deneyi Performans Sonuçları

Deney düzeneğinde son olarak test için bölüm 4.2.2’de detayları yer alan bulaşık makinesi bağlanmıştır. Yapılan testlerde elde edilen performans verileri Tablo 5.7’de yer almaktadır.

Tablo 5.7: Elektrikli ısıtıcı deneyinde elde edilen cevap paket sayıları.

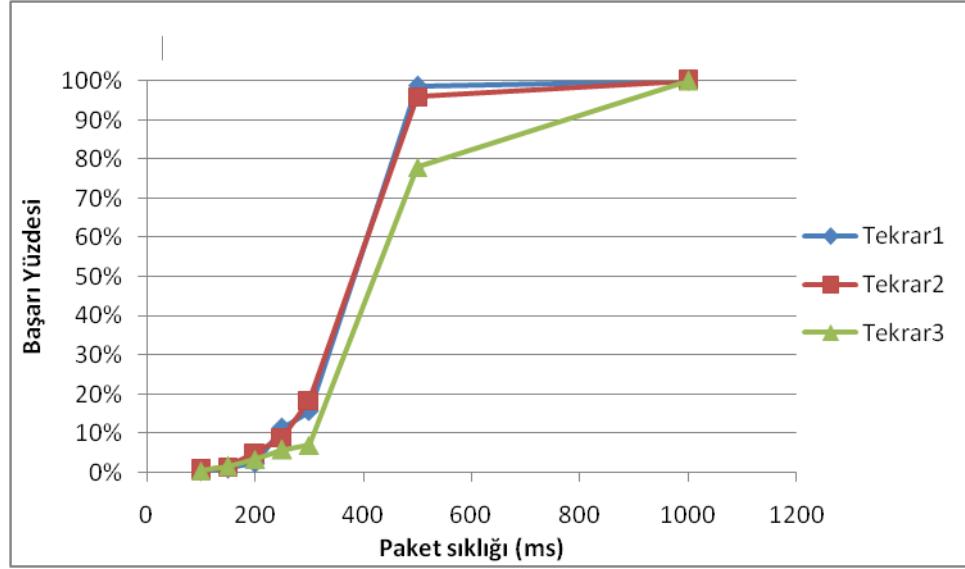
SAÇ KURUTMA MAKİNESİ DENEYİ		ALINAN PAKET SAYISI		
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3
100	400	1	3	2
150	267	5	7	8
200	200	12	25	17
250	160	57	45	29
300	133	78	92	35
500	80	494	480	390
1000	40	500	500	500

Elde edilen deney sonuçlarından yola çıkılarak hesaplanan performans değerleri Tablo 5.8’de yer almaktadır. Bu performans değerleri dikkate alındığında 1000ms paket gönderim sıklığı sistem için bu deney koşullarında ideal aktarım hızı olarak seçilebilir. Paket gönderim hızının 500ms yapıldığı durumda başarı oranı %77 değerine kayıp oranı %23 değerine çıkmaktadır. Tasarlanan sistemde %88 başarı oranı iyi bir haberleşme kabul edilebilir.

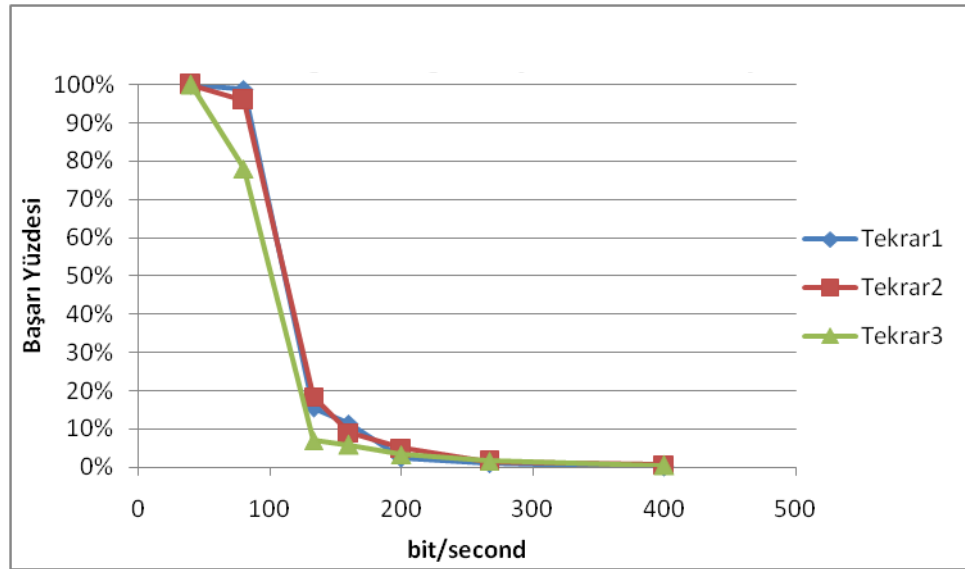
Tablo 5.8: Bulaşık makinesi deneyinde hesaplanan performans değerleri.

BULAŞIK MAKİNESİ DENEYİ		PERFORMANS SONUÇLARI			
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3	TOPLAM
100	400	0%	1%	0%	0%
150	267	1%	1%	2%	1%
200	200	2%	5%	3%	4%
250	160	11%	9%	6%	9%
300	133	16%	18%	7%	14%
500	80	99%	96%	78%	91%
1000	40	100%	100%	100%	100%

Hesaplanan performans değerleri üzerinden çizdirilen performans grafiği (Şekil 5.7) sistemin Bulaşık makinesi yükü özelindeki hız değişimine karşılık performans değişimini vermektedir. Aynı zamanda haberleşmenin bit sıklığına bağlı performans değişimi Şekil 5.8’de yer almaktadır.



Şekil 5.7: Bulaşık makinesi deneyi paket sıklığına bağlı performans grafiği.



Şekil 5.8: Bulaşık makinesi deneyi bit sıklığına bağlı performans grafiği.

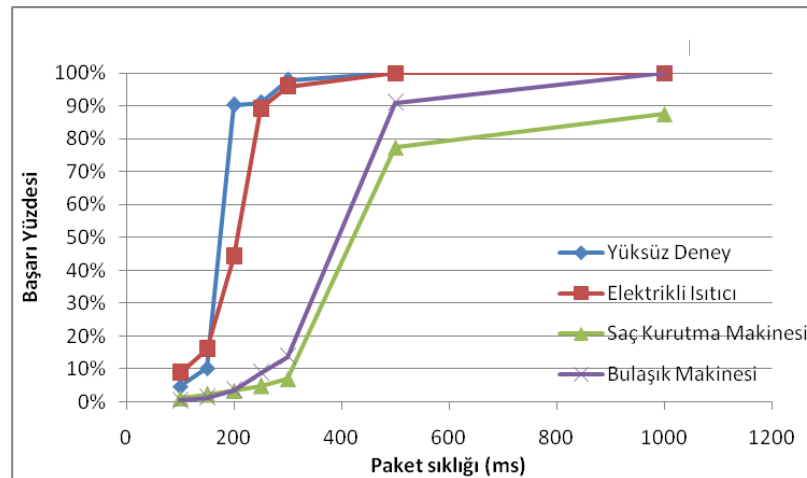
5.5. Performans Karşılaştırma ve Analiz

Gürültü bazında yapılan testleri aynı veri seti içerisinde toparlandığında farklı gürültü tiplerinin toplamda sistemi nasıl etkilediği değerlendirilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar (Tablo 5.9) dikkate alındığında özellikle saç kurutma makinesi ve bulaşık makinesi gürültülerinde hızlı paket gönderimi bu sistem için olası değildir. Veriler hızlıca kaybolmakta ve iPlug cihazının bilgileri okunamamaktadır. Paket gönderim hızı azaltıldıkça veri kayıpları da azalmaktadır.

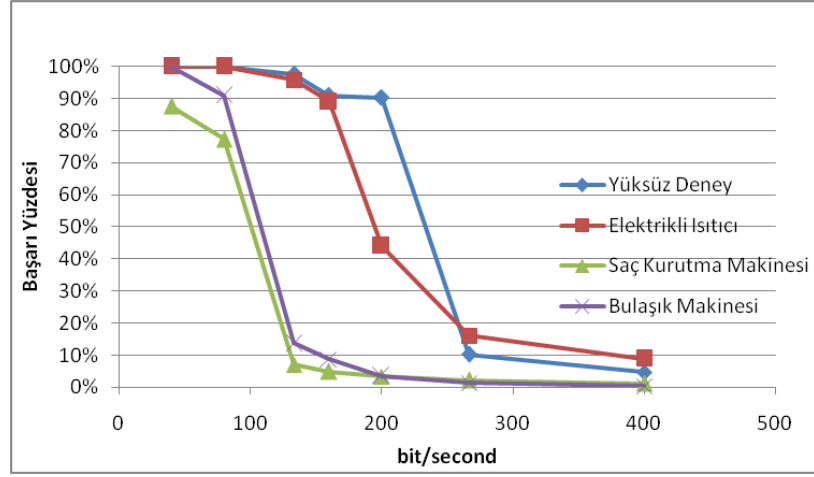
Tablo 5.9: Gürültü bazında performans tablosu.

DENEYLER TOPLAMI		ALINAN PAKET SAYISI			
Paket sıklık süresi	bit/s	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Toplam
100	400	5%	9%	1%	0%
150	267	10%	16%	2%	1%
200	200	90%	44%	3%	4%
250	160	91%	89%	5%	9%
300	133	98%	96%	7%	14%
500	80	100%	100%	77%	91%
1000	40	100%	100%	88%	100%

Hesaplanan performans değerleri üzerinden çizdirilen genel performans karşılaştırma grafiği (Şekil 5.9) sistemin bulaşık makinesi yükü özelindeki hız değişimine karşılık performans değişimini vermektedir. Aynı zamanda haberleşmenin bit sıklığına bağlı performans değişimi Şekil 5.10'da yer almaktadır.



Şekil 5.9: Gürültü bazında paket sıklığı karşılaştırması.



Şekil 5.10: Gürültü bazında bit sıklığı karşılaştırması.

Tasarlanan sistemin genel performans dikkate adlandırıldığı zaman sabit bir hızda haberleşme yapılırsa paket sıklığı en fazla 500ms olarak kullanılabilir. Fakat gürültü yoğunluğuna bağlı değişken hızlı haberleşme altyapı kurulması bu sistem için en olası çözüm olacaktır. Aynı zamanda sistemde tasarlanan devrelerin tekrardan gürültü bağışıklığını arttıracak şekilde tasarlanması mevcut haberleşme performansını artırıcı yönde bir iyileştirme olacaktır.

Sonuç olarak elde edilen iPLug sistemi, ev içerisinde kullanılan özel akıllı prizler üzerinden harcanan enerjinin izlenmesini ve akıllı prize bağlı cihazların kontrolünün yapılmasını sağlayacak yeni bir sistemdir. Tasarlanan devreler ve yazılım altyapısı ile mevcut evler hızlıca akıllı evlere dönüştürülebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Harper R., (2003), “Inside the Smart Home”, 1st Edition, Springer-Verlag.
- [2] Web 1, (2013), http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_home, (Erişim Tarihi: 22/06/2013).
- [3] Silva D. V., Shi X., Evans B., Trufero J. P., Peters G., (2013), “Designing a QoE Aware Intelligent Home Gateway for Future Smart Homes”, Future Network & Mobile Summit 2013 Conference, 1-8, Lisbon, Portugal, 03 - 05 July.
- [4] Web 2, (2013), http://www.emo.org.tr/ekler/a9902d232e0e793_ek.pdf, (Erişim Tarihi 22/06/2013).
- [5] Chu Y., Yu Q., Zhao Y., Meng W., Tan X., (2012), “IMS-based Smart Grid System”, 2012 IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology Paper, 936-942, Chengdu, Sichuan, China, 27-19 October.
- [6] Liu Q., Zhao B., (2009), "Experience of AMR Systems Based on BPL in China", PowerLine Communications and Its Applications, 2009. ISPLC 2009. IEEE International Symposium, 280-284, Dresden, Germany, 29 March – 1 April.
- [7] Hrasnica H., Haidine A., Lehnert R., (2004), “Broadband Powerline Communications Networks: Network Design”, 1st Edition, Wiley.
- [8] Lobashov M., Pratl G., Sauter T., (2003), “Implications of Power-line Communication on Distributed Data Acquisition and Control System”, IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 607-613, Lisbon, Portugal, 16-19 September.
- [9] Ling A. P. A., Kokichi S., Masao M., (2012), “Security Philosophy Important for a Sustainable Smart Grid System”, 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 29 – 34, Fukuoka, Japanese.
- [10] Metke A. R., Ekl R. L., (2010), “Security Technology for Smart Grid Networks”, IEEE Transactions on Smart Grid, 1(1), 99 – 107.
- [11] Sauter T., Lobashov M., (2011), “End-to-End Communication Architecture for Smart Grids”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(4), 1218 – 1228.
- [12] Rafiei M., Eftekhari S. M., (2012), “A Practical Smart Metering Using Combination of Power Line Communication (PLC) and WiFi Protocols”, Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 2012 Proceedings of 17th Conference on, 1-5, Tehran, Iran, 2-3 May.

- [13] Web 3, (2013), http://www.emo.org.tr/ekler/a9902d232e0e793_ek.pdf, (Erişim Tarihi 25/07/2013).
- [14] Smolenski R., Bojarski J., Kempski A., Lezynski P., (2014), "Time-Domain-Based Assessment of Data Transmission Error Probability in Smart Grids With Electromagnetic Interference", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61(4), 1882 – 1890.
- [15] Web 4, (2012), <http://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug>, (Erişim Tarihi 25/07/2013).
- [16] Ackerman K. W.,(2005), "Timed Power Line Data Communication", Master Thesis, University of Saskatchewan.
- [17] Cheng J., ThomasKunz T., (2009), "A Survey on Smart Home Networking", Master Thesis, Carleton University.
- [18] Carner P., (2009), "Designing Effective Smart Home Systems", Master Thesis, Dublin Institute of Technology.
- [19] Lee M. K., NewmanR. E., LatchmanH. A., Katar S. ,YongL., (2003), "Home Plug 1.0 Powerline Communication LANs-protocol Descriptionand Performance Results", International Journal of Communication Systems, 16(5), 447-473.
- [20] Güngör V. C., Sahin D., Kocak T., Ergüt S., Buccella C., Cecati C., Hancke G. P., (2011), "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards", IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4), 529 – 539.
- [21] Web 5, (2011), <http://www.openmeter.com/documents/8cOPENMeterFinalConference-PRIMEOFDMPLCTechnologyFinal.pdf>, (Erişim Tarihi 25/07/2013).
- [22] Atayero A. A., Alatishe A. A., Ivanov Y. A., (2012), "Power Line Communication Technologies: Modeling and Simulation of PRIME Physical Layer", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012 Vol II, 931-936, San Francisco, USA, 24-26 October.
- [23] Web 6, (2013), http://www.prime-alliance.org/?page_id=774, (Erişim Tarihi 25/07/2013).
- [24] Web 7, (2008), http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/en/doc/MAC_Spec_white_paper_1_0_080721.pdf, (Erişim Tarihi 25/07/2013)
- [25] Web 8, (2013), <http://www.g3-plc.com/content/g3-plc-charter>, (Erişim Tarihi 26/07/2013).

- [26] Web 9, (2013), <http://www.ti.com/lit/er/sprz360f/sprz360f.pdf>, (Erişim Tarihi 01/08/2013).
- [27] Web 10, (2010), <http://elinux.org/images/4/48/TFT-white-paper.pdf>, (Erişim Tarihi 01/08/2013).
- [28] Web 11, (2006), <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00096923.pdf>, (Erişim Tarihi 01/08/2013).
- [29] Web 12, (2010), http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00143379.pdf, (Erişim Tarihi 10/08/2013).
- [30] Saha R., BeraJ., Sarkar G., (2011), “Problems Associated with Active and Reactive Power Measurement using a state-of-the-art technique and its Remedy”, 2011 International Conference on Communication and Industrial Application, 1-4 ,Kolkata, West Bengal, Indian, 26-28 December.
- [31] Eliaık Y., (2014), “G Hatları zerinden İletişim ile Akıllı Priz Kontrolü ve Medya Aktarımı Sağlayabilecek Sistem Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında İstanbul'un Kadıköy ilçesinde doğan Öner HATİPOĞLU, lisans eğitimini Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda 2008 yılında tamamlamıştır. Aynı yıl Arçelik A.Ş. Merkez AR-GE Elektronik Tasarım bölümünde, ARGE Mühendisi olarak başladığı kariyerine Uzman ARGE Mühendisi olarak devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Eliaçık Y., Hatipoğlu Ö., Zerger E., (2013), “PLC ile Veri Transferi İçin Beaglebone Deneme Kitinin Hazırlanması ve Performansı”, TOK 2013 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Malatya, Türkiye, 26-28 Eylül.