



KNX Protokolü İçin Güç Kaynağı Tasarımı ve Uygulaması

Design and Implementation of a Power Supply for KNX Protocol

Handan SOLMAZ AKAR¹, Erdem AKBOY², Yılmaz EYİDOĞAN³,

^{1,3}Optimus Doruk Elektrik Elektronik Otomasyon San. Tic. A.Ş
handan.solmaz@optimusdoruk.com, yilmaz.eyidogan@optimusdoruk.com

²Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
eakboy@yildiz.edu.tr

Özet

KNX, akıllı ev ve bina otomasyonu açık sistem haberleşme protokolünü standartlaştıran, ülkemizde ve dünyada yaygın bir şekilde kullanılan bir organizasyondur. KNX, herhangi bir konut, ticari ve endüstriyel bina yapılarında ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma sistemleri, ses ve görüntü, güvenlik, enerji yönetimi gibi entegre fonksiyonları kontrol etmektedir. KNX güç kaynağı, bu otomasyon sistemlerinin sürekli çalışmasını sağlamak üzere, sisteme bağlı olan cihaz sayısı dikkate alınarak tasarlanmaktadır. KNX protokolünün standartları gereği, bu protokole bağlı cihazlarda, cihazın çalışması için gerekli olan ana akım ile haberleşme sinyalleri aynı hattı kullanılmaktadır. Bu gereklilikler, bilinen güç kaynakları ile sağlanamamakta olup, özel güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, 155 V_{AC}- 265 V_{AC} giriş ve 30 V 640 mA çıkış değerlerine sahip, KNX standartlarına uygun, yüksek frekanslı (100 kHz) ve yüksek verimli (min 85%) geri dönüşlü dönüştürücü tabanlı bir güç kaynağı tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Abstract

KNX is a widely used organization in our country and the world that standardizes on the open system communication protocol for smart home and building automation. KNX; It controls integrated functions such as heating, cooling, ventilation, lighting systems, audio and video, security, energy management in any residential, commercial and industrial building structures. The KNX power supply is designed considering the number of devices connected to the system in order to ensure the continuous operation of these automation systems. According to the standards of the KNX protocol; In devices connected to this protocol, the main current and communication signals required for the operation of the device use the same line. These standards cannot be achieved with known power sources and therefore special power sources are needed. In this study, a high-frequency (100 kHz) and high-efficiency (min. 85%) flyback converter-based power supply with 155 V_{AC}-265 V_{AC} input and 30 V 640 mA output values in accordance with KNX standards has been designed and implemented.

1. Giriş

KNX haberleşme protokolü, Avrupa'nın önde gelen otomasyon firmalarının geliştirdiği, EIB (European Installation Bus), EHS ve Batibus protokollerinin bir araya gelmesi ile ortaya çıkmıştır. Batibus İtalya, İspanya ve Fransa'da, EIB Almanya ve Almanca konuşulan ülkeler ile Kuzey Avrupa'da da yaygın bir kullanım alanına sahiptir. EHS ise beyaz eşya ve kahverengi eşya üreticilerinin tercihi olmuştur. KNX standartları, temel yapı olarak EIB protokolü üzerine EHS ve Batibus özellikleri eklenmesi ile oluşmaktadır. Günümüzde KNX standardı, başta Avrupa olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu standartlarda ürün geliştiren firmaların ürünleri KNX organizasyonunun denetimi altındadır [1, 2].

KNX protokolü, açık kaynaklı oluşu, farklı sistemlere kolaylıkla entegre olabilmesi, geniş üretici ve ürün yelpazesi ile en az bakım gerektiren, sorunsuz bir sistem olması, birçok projede tercih sebebi olmasını sağlamıştır. Böylece, KNX protokolü altyapısı ile hazırlanan bir projede, tek bir üretici ve markaya bağımlı kalmaksızın, bu protokolü destekleyen birçok farklı marka ve ürün grupları bir arada rahatlıkla kullanılabilir [2].

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte günlük hayatımızı kolaylaştıran cihazların kullanımı ve enerji tüketimi artmaktadır. Akıllı ev ve bina sistemlerinde, kullanıcıların rahatı ile enerjinin verimli kullanılması açısından ısıtma, soğutma, aydınlatma, enerji yönetimi v.b. istekleri karşılamak üzere çeşitli otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. KNX organizasyonu sahip olduğu avantajlar sebebiyle, bu sistemlerde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [3].

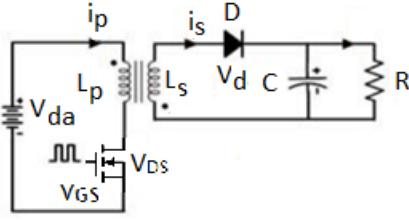
KNX protokolünün standartları gereği, bu protokole bağlı cihazlarda, cihazın çalışması için gerekli olan ana akım ile haberleşme sinyalleri aynı hattı kullanılmaktadır [3]. Bu standartlar, bilinen güç kaynakları ile sağlanamamakta olup, özel güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, KNX güç kaynağının geniş giriş aralığında çalışması, çıkış olarak 30V DC gerilim vermesi istenmektedir. Aynı iletken hat üzerinde hem besleme hem de haberleşme yaptığı için sıkı çıkış

gerilimi regülasyonuna sahip olmalı ve çıkış akımını standartta belirtilen değerde sınırlandırılmalıdır [4, 10].

Bu çalışmada 155 V_{AC}-265 V_{AC} giriş gerilimi aralığında çalışan 30V -640 mA çıkış değerlerine sahip, yüksek frekanslı (100 kHz), yüksek verimli (min 85%) geri dönüşlü dönüştürücü tabanlı KNX güç kaynağı tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Güç kaynağında, meydana gelen salınımlar bastırılarak, kayıplar azaltılmış ve verim yükseltilmiştir.

2. Geri Dönüşlü Dönüştürücü

Şekil 1'de temel geri dönüşlü dönüştürücü devre şeması verilmiştir. Burada V_{da} giriş gerilimi, Q anahtar, D diyot, L_p ve L_s sırasıyla primer ve sekonder sargılar, C çıkış kondansatörü ve R yüküdür.

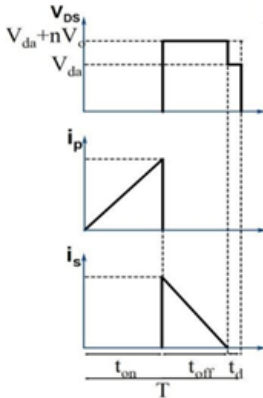


Şekil 1: Temel geri dönüşlü dönüştürücü devre şeması [6].

Geri dönüşlü dönüştürücülerde, anahtar iletimde iken trafonun sekonderinde indüklenen gerilimin yönüne bağlı olarak diyot kesimdedir. Bu aralıkta, giriş kaynağından primer endüktansına enerji aktarılır ve çıkışa enerji aktarılmaz. Anahtar kesimde iken, diyot iletime girerek, mıknatıslama enerjisi sekonder sargı ve diyot üzerinden çıkışa aktarılır [6].

Geri dönüşlü dönüştürücülerde ana akım mıknatıslama akımına eşittir. Aynı zamanda geri dönüşlü trafosu hava aralıklı olarak tasarlanmaktadır. Bu durum ise kaçak endüktans oluşumuna ve ilave gerilim streslerine neden olmaktadır. Bu dezavantajlar, uygun bir bastırma hücresinin kullanılması ile giderilebilmektedir. Bu sebeple, geri dönüşlü dönüştürücüler düşük güçlerde tercih edilmektedir [7].

Ayrık Akım Modu (AAM, DCM), endüktans akımının bir anahtarlama periyodu içerisinde sıfıra inmesi ve belirli bir süre sıfırda kalması ile oluşmaktadır. AAM, düşük güçlü dönüştürücülerde, kontrol kolaylığı ve yumuşak anahtarlama gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple, Şekil 2'de verildiği gibi geri dönüşlü tür dönüştürücüler AAM'de çalışmaktadır [8].



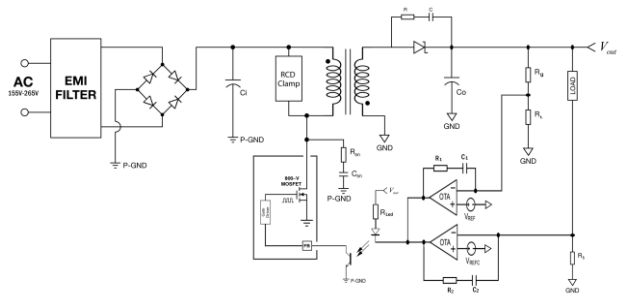
Şekil 2: Temel geri dönüşlü dönüştürücü AAM çalışması [6].

Burada anahtar, ton süresi boyunca iletimde olup, primer endüktansı akımı, giriş gerilimine bağlı olarak lineer artmaktadır. Aynı zamanda Sıfır Akımda Anahtarlama (SAA) sağlanarak, anahtarlama kayıpları azaltılmaktadır. Anahtar kesime girdiğinde, mıknatıslama enerjisi sekonder sargı üzerinden çıkış gerilimine bağlı olarak lineer azalmaktadır. Burada diyotun kesime girmesi SAA ile gerçekleşmekte olup, anahtarlama kayıpları azalmaktadır. Anahtarın gerilim stresi, giriş gerilimi ile çıkıştan yansıyan gerilimin toplamı kadardır [8, 9].

Geri dönüşlü dönüştürücüler, genellikle düşük güç uygulamalarında kullanılır. Diğer topolojilerle kıyaslandığında basit yapısı nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, düşük güç ve yüksek frekans değerlerine sahip dönüştürücülerde yaygın olarak güç elemanı olarak MOSFET seçilmektedir. Ger dönüşlü dönüştürücülerde, sekondere bağlı diyotun yönüne bağlı olarak, primer ve sekonder sargılar eş zamanlı çalışmamaktadır. Bu durumda kaynaktan çekilen akım, diğer trafolu dönüştürücülerden farklı olarak, mıknatıslama akımına eşit olmaktadır. Bu sebeple, geri dönüşlü trafoları yüksek akım değerlerinde doyuma girebilmektedir. Bunu önlemek amacıyla, trafolar hava aralıklı olarak tasarlanmaktadır. Ancak, hava aralığı ilave kaçak endüktans ile ilave gerilim streslerine neden olmaktadır. Bu sebeple, bastırma elemanlarının kullanılması, geri dönüşlü dönüştürücülerde önem kazanmaktadır [6, 9].

3. KNX Güç Kaynağı Tasarımı

Şekil 3'te KNX standartları için tasarlanan geri dönüşlü dönüştürücü tabanlı güç kaynağı devre şeması verilmiştir. Girişte, Elektro Manyetik Girişim (EMG, EMI) filtresi, köprü diyot ve Ci filtre kondansatörü kullanılmıştır. Burada trafonun kaçak endüktansı ile diyotun parazitik kondansatörü dikkate alınmaktadır. Bu sebeple, primere bağlı RCD bastırma hücresi, diyota paralel RC bastırma hücresi ile anahtara paralel RC bastırma hücresi şekilde verilmiştir. MOSFET'in Vds gerilimi 600 V'a kadar artmakta ve iletimde iken MOSFET üzerinden akan maksimum akım 1.4 A olmaktadır. Seçilen anahtarlama güç kaynağı kontrol entegresinde bulunan anahtarlama elemanı ise maksimum Vds gerilimi 800V değerindedir. Bu nedenle Onsemi'nin NCP11187 kontrol entegresinin kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3: KNX standartları için tasarlanan geri dönüşlü dönüştürücü devre şeması.

Önerilen KNX güç kaynağına ait kontrol devresinde, çıkış gerilimi ve çıkış akımı geri beslemesi alınarak, klasik Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) kullanılmıştır.

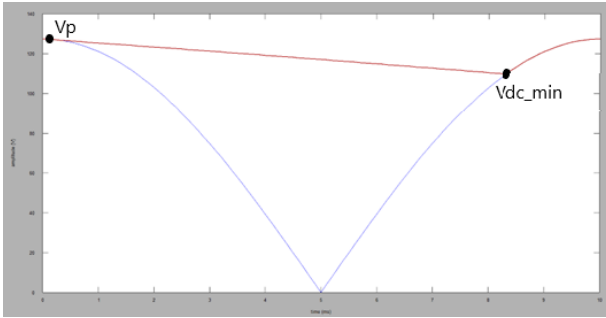
KNX güç kaynakları standartta belirtilen gerilim aralığını ve akım değerini geçmemelidir. Bu nedenle kontrol devremizde, geri besleme amacıyla sabit gerilim ve sabit akım için Şekil 3'te gösterildiği gibi iki adet karşılaştırma devresi kullanılır. Anahtarlamalı güç kaynağı kontrol entegresine giden geri besleme geriliminde salınım oluşması entegrede kararsızlığa sebep olmaktadır. Entegre, geri besleme geriliminden gelen veriye göre frekansı ayarlamaktadır. Burada oluşan salınım ise frekansta sürekli değişime sebep olmaktadır. Buradaki salınımı önlemek için ise R₁-C₁ ve R₂-C₂ elemanları ile Şekil 3'te gösterildiği gibi bir kompanzasyon devresi kurulur.

3.1. Giriş Kondansatörü Tasarımı

Geri dönüşlü tür dönüştürücülerde, giriş kısmında köprü diyottan sonra kullanılan filtre kondansatörü, giriş geriliminin belirli bir oranda dalgalanmasına izin verecek şekilde tasarlanmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda bu kondansatörün değeri W başına 2-3 µF olacak biçimde seçilir [8].

Tasarlanan KNX güç kaynağının çıkış gücü 42 W'tır. 30V gerilim ve max 1.4 A akım çekmesi beklenmektedir. Buna göre giriş kondansatörü 100 µF olarak belirlenmiştir. Belirlenen kondansatör değerine bağlı olarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçları 90 V_{AC} için Şekil 4'te sunulmuştur. Burada giriş geriliminin minimum değeri (V_{dc_min}) aşağıdaki formüle göre hesaplanmış ve 109.7 V olarak ölçülmüştür.

$$V_{dc_min} = \sqrt{V_p^2 - 2P_{in}t \frac{1}{C_i}} \quad (1)$$



Şekil 4: V_{Ci} gerilimi dalga şekli simülasyon sonuçları.

KNX Standardı "Basic and System Components/Devices – Minimum Requirements"ın 2.7.7 Testing of PSU's Hold-Up Time testine göre şebeke geriliminin 100 ms'den az kesintiye uğraması durumunda çıkış geriliminde %5'den fazla düşüş olmamalıdır. Böylece, tasarlanan güç kaynağında Hold Up Time testinde sistem çalışırken, şebekenin kesildiği andan, çıkış geriliminin %95'in altına düştüğü noktaya kadar geçen süre ölçülür. Bu süre farklı giriş gerilimleri altında ölçülüp sistemin minimum çalışma gerilimi KNX isterlerine göre belirlenir. Bu istere göre KNX Güç Kaynağının minimum besleme gerilimi 155 V_{AC} olacak şekilde belirlenmektedir [10].

3.2. Trafo Tasarımı

Dönüştürücünün trafo tasarımı belirlenen en kötü şartlar, (şebeke gerilimi minimum ve doluluk oranı maksimum) dikkate alınarak yapılmaktadır. Buna göre mıknatıslama endüktansının formülü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$L_M = \frac{(V_{DC_min} D_{max})^2}{2P_{in}f_s} \quad (2)$$

Burada P_{in} giriş gücü, f_s anahtarlama frekansdır. AAM uygulamalarında, devrenin sınır şartlarda çalışabilmesi için gerekli olan maksimum doluluk oranı D_{max} 0.5 seçilmektedir. Önerilen tasarımda, giriş gücü 25.1 W, V_{dc_min} 109.7 V, f_s 100 kHz ve D_{max} 0.5 için mıknatıslama endüktansı 599 µH olarak hesaplanmaktadır.

Geri dönüşlü dönüştürücülerde, anahtar iletimde iken anahtardan akan akım mıknatıslama akımına eşit olup, giriş gerilimine bağlı ve lineerdir.

$$i_{LM} = i_{ds} = \frac{V_{dc}}{L_m} t \quad (3)$$

Dönüştürücünün, en kötü şartlar dikkate alındığında maksimum primer akımı 0.93 A olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda trafonun doyuma girmemesi için gerekli olan sarım sayısı ve dönüşüm oranı aşağıdaki formüllere bağlı olarak hesaplanabilmektedir.

$$N_p = L_M \frac{i_{DS_max}}{B_{sat}A_e} \quad (4)$$

Burada B_{sat} ferrit nüveler için 0.3 Tesla, A_e ise seçilen E tipi nüveye göre belirlenmektedir. Bu çalışmada EF25 türü nüve seçilmiş olup, A_e değeri 52.5 mm²'dir. Bu durumda (4) eşitliğine bağlı olarak primer sargı tur sayısı 53 olarak bulunur.

Trafonun sargı dönüşüm oranı (n), anahtarın gerilim stresi dikkate alındığında, sekonderden primere yansıyan gerilimin değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada n değeri yüksek seçildiğinde anahtara gelen gerilim stresi değeri artmakta, düşük seçildiğinde ise devre düzgün çalışmamaktadır. Bu amaçla, devrede n değeri, aşağıda formüle bağlı olarak hesaplanmaktadır [8, 9].

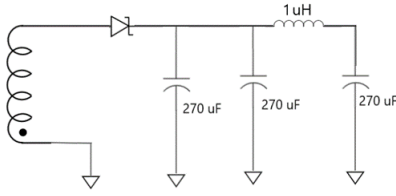
$$n = \frac{V_y}{V_c + V_{diyot}} \quad (5)$$

Burada V_y yansıyan gerilim, V_c çıkış gerilimi ve V_{diyot} ise diyotun iletim gerilim düşümüdür. Bu hesaplamalarda diyotun iletim gerilim düşümü 0.5 olarak alınmıştır. Böylece n değeri 3 olarak hesaplanmaktadır.

3.3. Çıkış Kondansatörü Hesabı

Anahtarlamalı güç kaynağı kontrol entegresi (NCP11187) tasarım notlarında çıkış kondansatörünün her 100 mA'e 100 uF olacak şekilde belirlenmesi önerilmiştir. Tasarlanan güç kaynağı akımı nominalde 0.711 A olacağından kapasite değeri minimum 720 uF olarak belirlenir. Aynı zamanda KNX isterlerinde çıkış geriliminin dalgalanma değeri 100 mV olmalıdır. Bu sebeple seçilen kapasitenin ESR değeri 15 mΩ'dan düşük olmalıdır. Bu

durumlar göz önünde bulundurulduğunda güç kaynağının çıkış katı Şekil 5'te gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Şekil 5: Güç kaynağı çıkış katı

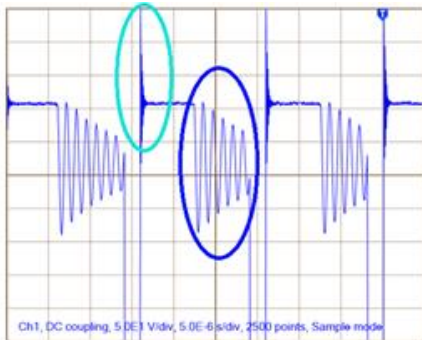
4. Uygulama Sonuçları

Önerilen dönüştürücüye ait tasarım kriterleri dikkate alınarak belirlenen uygulama devresi parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

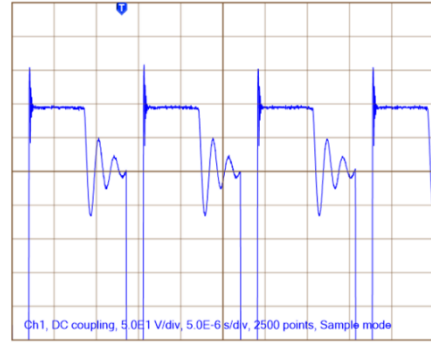
Çizelge 1: Uygulama parametreleri

Parametre	Açıklama	Değer
C_i	Giriş filtre kondansatörü	100 μ F
C_o	Çıkış filtre kondansatörü	820 μ F
L_o	Çıkış filtre endüktansı	1 μ H
L_p	Primer endüktansı	560 μ H
L_s	Sekonder endüktansı	62 μ H
L_k	Kaçak endüktans	4,3 μ H
NCP11187	Kontrol entegresi	-
MUR340	Diyot	300 V-3A

Şekil 6'da 220 V giriş gerilimi için ana anahtarın gerilim dalga şekilleri verilmektedir. Burada Şekil 6.a'da anahtarda kaçak endüktansa bağlı olarak pik gerilimler ile diyotun parazitik kondansatöründen kaynaklanan salınımların değerleri yüksek olup, bu durum ilave kayıp ve gürültüye sebep olmaktadır. Şekil 6.b'de, primere bağlı olan RCD bastırma hücresi ile diyota bağlı olan RC bastırma hücreleri devreye ilave edilmiştir. Buradan da açıkça görüldüğü üzere salınımlar ile pik gerilimler başarılı bir şekilde bastırılmıştır.



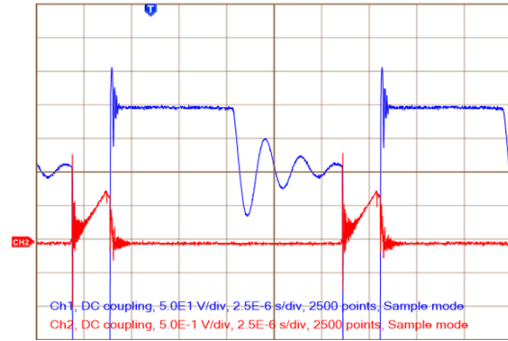
a)



b)

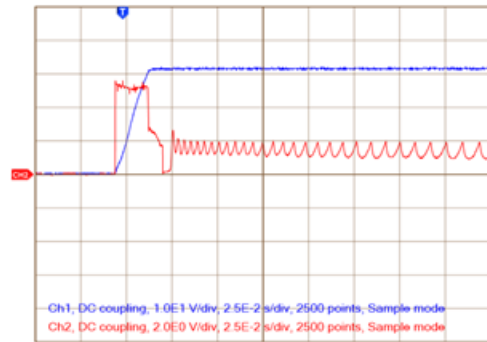
Şekil 6: Ana anahtar gerilimi dalga şekli a) bastırma hücresi yok iken, b) bastırma hücresi var iken ($V_{AC}=220$ V)

Şekil 7'de giriş gerilimi 220 V_{AC} ve çıkış akımı 640 mA iken ana anahtarın gerilim ve akım dalga şekilleri verilmektedir. Burada akımın sıfırdan lineer yükseldiği ve SAA'yı sağladığı görülmektedir.



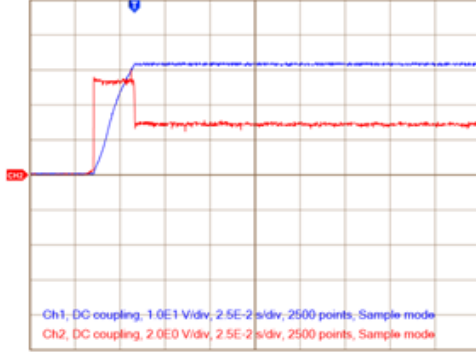
Şekil 7: Ana anahtar gerilim ve akım dalga şekilleri ($V_{AC}=220$ V)

Şekil 8'de çıkış gerilimi ile geri besleme gerilimi dalga şekilleri verilmektedir. Burada geri besleme devresinde kompanzasyon için direnç ve kapasite kullanılmamıştır. Bu sebeple geri besleme gerilimindeki dalgalanmalar açıkça görülmektedir.



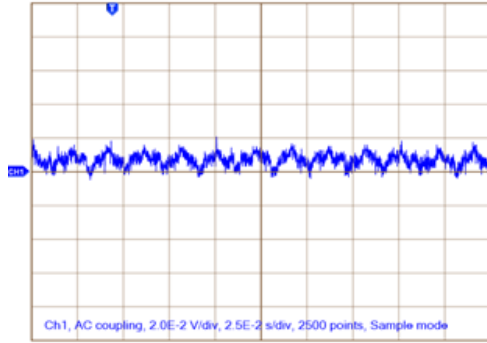
Şekil 8: Geri besleme devresi kompanzasyon devresi olmadan çıkış gerilimi ile geri besleme gerilimi dalga şekilleri.

Şekil 9'de uygun kompanzasyon devresi kurulduğunda çıkış gerilimi ile geri besleme gerilimi dalga şekilleri verilmektedir. Eklenen kompanzasyon devresi ile geri besleme gerilimindeki salınımların düzeldiği görülmektedir. Burada çıkış geriliminin 25ms'de 30 V değerine ulaştığı görülmektedir. Aynı zamanda çıkış geriliminde aşma ve salınımlar görünmemektedir.



Şekil 9: Geri besleme kompozasyon devresi varken çıkış gerilimi ile geri besleme gerilimi dalga şekilleri

Şekil 10'da çıkış gerilimdeki dalgalanmaları gösteren dalga şekli verilmektedir. Çıkış akımı 640 mA iken dalgalanmanın 20 mV civarında olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 10: Çıkış gerilimi dalgalanma dalga şekli

5. Sonuçlar

KNX güç kaynakları, 160 mA, 320 mA, 640 mA (tasarlanan model), 960 mA ve 1280 mA nominal çıkış akımı seçenekleri olan, gerilim ve akım değerlerinin sınırlandırıldığı, çıkış hattında özel bir devre yapısı ile lojik 0'da şarj edilen enerjinin lojik 1'de sisteme geri yüklenerek verimin yükseltildiği, KNX cihazlarının beslemesi amacıyla kullanılan özel bir güç kaynağıdır.

Gerri dönüşlü tür dönüştürücüler izolasyon, kontrol kolaylığı ve basit yapısı sebebiyle düşük güçlü uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda düşük güçlü uygulamalarda AAM yumuşak anahtarlama sağlamakta ve dönüştürücülerde verimi artırmaktadır.

Bu çalışmada KNX protokolü ve standartlarına uygun geri dönüşlü tabanlı AAM çalışma şartları altında çalışan güç kaynağı tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda çıkış gerilimi dalgalanma sınırlandırmaları, çıkış akımı sınırlandırmaları ve haberleşme lojik seviyeleri başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Aynı zamanda kaçak endüktansa bağlı oluşan gerilim pikleri ile salınımlar, bastırma devreleri sayesinde minimize edilmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Kraus, N., Viertel, M., & Burgert, O. (2020, June). Control of KNX devices over IEEE 11073 service-oriented device connectivity. In 2020 IEEE Conference on Industrial Cyberphysical Systems (ICPS) (Vol. 1, pp. 421-424). IEEE.
- [2] Dzierzek, K. (2013). The Use of KNX/EIB to Control Devices in an Intelligent Home. Faculty of Mechanical Engineering-Technical University of Koşice.
- [3] Ruta, M., Scioscia, F., Di Sciascio, E., & Loseto, G. (2011). Semantic-based enhancement of ISO/IEC 14543-3 EIB/KNX standard for building automation. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4), 731-739.
- [4] Sita, I. V., & Dobra, P. (2014). KNX building automations interaction with city resources management system. Procedia Technology, 12, 212-219.
- [5] KNX Association, 9/2 Basic and System Components/Devices – Minimum Requirements – Standardised solutions - Tests KNX System Conformance Testing, 2022-04-01
- [6] Coruh, N., Urgan, S., & Erfidan, T. (2010, June). Design and implementation of flyback converters. In 2010 5th IEEE conference on industrial electronics and applications (pp. 1189-1193). IEEE.
- [7] Wang, C., Xu, S., Lu, S., & Sun, W. (2017). A low-cost constant current control method for DCM and CCM in digitally controlled primary-side regulation flyback converter. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 6(3), 1483-1494.
- [8] Gökçeğöz, F., Akboy, E., & Hülya Obdan, A. (2021). Analysis and design of a flyback converter for universal input and wide load ranges. Electrica, 21(2), 235-241.
- [9] Zhan, T., Zhang, Y., Nie, J., Zhang, Y., & Zhao, Z. (2014). A novel soft-switching boost converter with magnetically coupled resonant snubber. IEEE Transactions on Power Electronics, 29(11), 5680-5687.
- [10] KNX Association, 4/1 KNX Hardware Requirements and Tests - Environmental, Safety, EMC Requirements, – General, 2020-06-01