



BESLEME VE RF GİRİŞ GÜCÜ ŞARTLARININ WİMAX GÜÇ YÜKSELTECİ PERFORMANS PARAMETRELERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bilge ŞENEL^{1*}, Mesud KAHRİMAN¹, Fatih Ahmet ŞENEL²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

WiMAX,
Güç Yükseltici,
RF Giriş Gücü,
Besleme Koşulları,
Arduino.

Özet

Bu çalışmada 50 MHz-6 GHz frekans aralığında çalışan SBB5089Z Güç Yükseltici (GY) modülünün, RF giriş gücü ($P_{giriş}$) -20 dBm'den 10 dBm'e kadar 2 dB'lik artış ile ve besleme gerilim değerleri (V_{DC}) 0V'dan 5V'a kadar 75mV'luk adımlarla değiştirilmiştir. Çalışmada değişen V_{DC} ve $P_{giriş}$ değerlerine göre, $P_{çıkış}$, Kazanç (G) ve Güç Ekli Verim (GEV(%)) grafikleri, 3.5 GHz ve 5.8 GHz WiMAX frekanslarında ayrı ayrı incelenmiştir. GY modülünün $P_{giriş}$ koşulları RF sinyal jeneratörü ile manuel olarak, DC gerilim koşulları ise Arduino'lu R/2R Sayısal Analog Dönüştürücü (SAD) ve LM324 Gerilim İzleyici Devresi (GİD) kullanılarak değiştirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler ile, 1 dB Kazanç Sıkıştırma Noktasına (P_{1dB}) kadar artırılan $P_{giriş}$ değerleri ve 5V'a kadar artırılan V_{DC} değerlerine göre, GY, $P_{çıkış}$, G ve GEV(%) davranışının olumlu yönde değiştiği gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BIASING AND RF INPUT POWER CONDITIONS ON WIMAX POWER AMPLIFIER PERFORMANCE PARAMETERS

Keywords

WiMAX,
Power Amplifier,
RF Input Power,
Biasing Conditions,
Arduino.

Abstract

This study analyzed SBB5089Z Amplifier Module which operating in the 50 MHz to 6 GHz frequency range, with 2 dB increments in the RF Input Power (P_{input}) from -20 dBm to 10 dBm as the biasing voltage (V_{DC}) varied in an adjustment range between 0V to 5V with 75mV steps. According to the varying V_{DC} and P_{input} values explored in this study, P_{output} , Gain (G), and Power Added Efficiency (PAE(%)) graphs are analyzed separately for WiMAX frequencies of 3.5 GHz and 5.8 GHz. Nevertheless, the graphs of P_{input} - V_{DC} over P_{output} , G and PAE (%) are analyzed separately for the varying P_{input} and V_{DC} values of the amplifier module. P_{input} conditions of the amplifier module are modified manually using an RF signal generator, while its DC voltage conditions are modified using Arduino R/2R Digital Analog Converter (DAC) and LM324 voltage follower circuit. The findings of this study showed that P_{input} values when increased up to 1 dB Gain Compression Point (P_{1dB}) and V_{DC} values when increased up to 5V resulted in positive changes in the G, P_{output} , and PAE (%) behavior of the amplifier.

Alıntı / Cite

Şenel B., Kahrıman M., Şenel F. A., (2017). Besleme ve RF Giriş Gücü Şartlarının WiMAX Güç Yükseltici Performans Parametrelerine Olan Etkisinin İncelenmesi *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 553-558.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B.ŞENEL,0000-0003-3612-936X
M. KAHRİMAN, 0000-0003-0731-0936
F. A. ŞENEL, 0000-0003-1918-7277

Başvuru Tarihi /Submission Date | 06.10.2017

Revizyon Tarihi/ Revision Date | 16.11.2017

* İlgili yazar / Corresponding author: bilgeturkel@sdu.edu.tr, +90-246-211-1372

| | |
|--------------------------------------|------------|
| Kabul Tarihi / Accepted Date | 20.11.2017 |
| Yayın Tarihi / Published Date | 18.12.2017 |

1. Giriş

Günümüzde kablosuz haberleşme, oldukça önemli ve zorunlu bir hale gelmiştir. Kablosuz haberleşmede kablolar yerine, hava iletişim aracı olarak kullanıldığı için, günlük yaşamda büyük oranda konfor sağlamıştır. Bu konfordan dolayı, kablosuz haberleşme sistemleri önemli bir tercih sebebi olmuştur ve bu tercih, kablosuz haberleşme sistemlerinin hızlı gelişmesinde önemli bir tetikleyici etken olmuştur. Cep telefonları, kablosuz modemler, internet sağlayıcıları ve baz istasyonları dışında, kablosuz haberleşme, otomotiv endüstrisinde, askeri uygulamalarda ve tıp gibi birçok başka alanlarda da kullanılmaktadır (Vidojkovic, 2011; Arı, 2012). Bu çalışma kapsamında tamamlanması planlanan sistem, baz istasyonu-mobil kullanıcı (cep telefonu kullanıcısı) arasındaki iletişim kalitesini artırmaya yönelik, mobil kullanıcı verici bloğunda istihdam edilecektir.

Kablosuz haberleşme alanında meydana gelen bu hızlı gelişme, kablosuz sistem altyapısında, tasarım karmaşıklığını önemli ölçüde arttıran sayısız zorluk getirmiştir. Bu gelişmenin önemli sonuçlarından biri, geniş iletişim standartları ile çalışabilecek sistemlere olan ihtiyacın artmasıdır. Bu nedenle Mobil İletişim için Küresel Sistem (MİKS), Geniş bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (GKBCÇE), WiFi ve WiMAX gibi farklı standartlar ile çalışan sistemlerin dinamik yönetimi önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Sonuç olarak, tekli standartlı çalışma koşulları ile tasarlanan kablosuz haberleşme sistemlerinden, çok yönlü, uyarlanabilir ve farklı standartlar ile uyumlu çalışacak sistemlere geçiş kaçınılmazdır.

Özetle, kablosuz haberleşme sistemleri, çok modlu ve çok standartlı iletişim standartlarını işlerken, yüksek verimliliği sağlamak ve sinyal kalitesini (yani minimal bozunum) korumak zorundadır. Diğer haberleşme sistemleri gibi kablosuz haberleşme sistemleri de çok sayıda farklı bloklardan meydana gelmektedir. Bu bloklar pasif veya aktif olabilirler. Anahtarlar (Kaya ve Coşkun, 2013), filtreler, kuplörler, güç bölücüleri ve antenler pasif bloklardır. Bu pasif bloklar sinyal şekillendirme ve filtrelemeden sorumludurlar. Aktif bloklar ise mobil haberleşme sistemleri verici birimlerinde kullanılan Güç Yükselteçleri (GY) ve alıcı birimlerinde kullanılan Düşük Gürültülü Yükselteçlerdir (DGY). GY ve DGY'ler iletilen ve alınan sinyallerin gücünü artırmaktan sorumludurlar. Diğer aktif bloklar, sinyal sentezi ve frekans dönüşümleri için gerekli karıştırıcılar ve osilatörlerdir.

Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan RF ön uç verimliliği ve doğrusallığı esas olarak, RF ön uç modülünde kullanılan GY'ye bağlıdır. GY, Doğru Akım (DC) gücünü, antene gönderilecek olan RF Çıkış Gücüne ($P_{\text{çıkış}}$) dönüştürür. Dolayısıyla, GY'ler, çok

frekanslı ve çok modlu RF giriş sinyalleri ile sürüldüğü zaman, verimi koruyacak ve doğrusal olmayan davranışı minimize edecek şekilde tasarlanmalıdırlar (Kaya vd., 2008; Mohamed, 2013).

Sonuç olarak kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılacak olan GY'ler; geniş bantlı, yüksek verim ve doğrusallık performansına sahip olacak ve yeterli Çıkış Gücü ($P_{\text{çıkış}}$) üretecek şekilde tasarlanmalıdır. Eğer gerekiyorsa bu performans parametrelerinde iyileştirme sağlayacak devrelerle entegre edilmelidir.

RF GY'ler için iki önemli parametre olan doğrusallık ve verim, yükselteç girişine gelen RF Giriş Gücü ($P_{\text{giriş}}$) ve DC besleme gerilimi (V_{DC}) değerlerine göre önemli ölçüde değişim göstermektedir. GY'lerde $P_{\text{çıkış}}$ belirli $P_{\text{giriş}}$ değerine kadar Kazanç (G) oranında artış gösterir. Artan $P_{\text{giriş}}$ değerlerine göre G ile doğrusal artış gösteren GY $P_{\text{çıkış}}$ 'ı, belirli $P_{\text{giriş}}$ değerlerinin üzerinde bozulmaya başlar. G ve $P_{\text{çıkış}}$ artış miktarı azalmaya başlar. GY kazanç değerinin 1 dB azaldığı noktadaki güç değeri, yükselteç 1 dB kazanç sıkıştırma noktası ($P_{1\text{dB}}$) olarak adlandırılır. Bu noktadan itibaren yükselteç doğrusal davranışı bozulmaya başlar. $P_{1\text{dB}}$ noktasından itibaren GY doğrusal davranışı bozulmasına karşın verimi önemli oranda artar (Pedro ve Carvalho 2003). Yani $P_{1\text{dB}}$ noktasından itibaren, GY doğrusallık ve verimi, artan RF $P_{\text{giriş}}$ değerlerine göre ters orantılı bir değişim göstermektedir. GY doğrusallık ve verimi, V_{DC} değerlerinin değişimine göre, $P_{\text{giriş}}$ değişiminde gösterdiği davranışa benzer bir davranış sergiler. Yani $P_{1\text{dB}}$ noktasına kadar artan V_{DC} değerlerine karşılık, $P_{\text{çıkış}}$ ve G artmakta, verim ise DC güç tüketimine göre değişmektedir (Cripps, 2002). Burada şöyle bir ayrıntı vardır, Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'den de anlaşılacağı üzere, artan V_{DC} gerilim değerlerine karşılık, yükselteç $P_{\text{çıkış}}-P_{\text{giriş}}$ arasındaki farkın artış hızı, ($V_{\text{DC}} \cdot I_{\text{DC}}$) DC güç tüketimi artış hızından fazla ise hem yükselteç kazancı hem de Güç Ekli Verim (GEV(%)) değeri artar. Eğer yükseltecin, $P_{\text{çıkış}}-P_{\text{giriş}}$ farkının artış hızı, $V_{\text{DC}} \cdot I_{\text{DC}}$ değerinden düşük ise, G artarken, GEV(%) azalma eğilimi gösterebilir. Bu durum göz önünde bulundurularak çalışmada seçilen GY modülünün artan RF $P_{\text{giriş}}$ ve V_{DC} değerlerine göre $P_{\text{çıkış}}$ ve G davranışı analiz edilmiş, verim performansı incelenmiştir. Çalışmada GY'ye $P_{1\text{dB}}$ noktasına kadar RF $P_{\text{giriş}}$ uygulanmıştır.

DeneySEL sonuçlar bölümünde de detaylandırılacağı üzere, bu çalışma için artan RF $P_{\text{giriş}}$ ve V_{DC} değerlerine göre GY doğrusal davranışı ve verim performansı birbiri ile doğru orantılı olacak şekilde değişmiştir.

Çalışmada GY modülü doğrusal davranışı, $P_{1\text{dB}}$ noktasını etkileyen $P_{\text{çıkış}}$ ve Denklem (1) ile ifade edilen G ile karakterize edilmiştir.

Literatür incelendiğinde, DC şartlar değiştirilerek GY doğrusallık ve verim performansının artırıldığı

çalışmalara rastlamak mümkündür. DC şartların değiştirilerek GY verim ve-veya doğrusallık performansının iyileştirildiği çalışmalarda kullanılan yöntemleri, Adaptif Besleme Yöntemi (ABY) (Cho vd., 2016; Chen vd., 2017; Lee vd., 2017; Zhang ve Siek 2017), Dinamik Besleme Yöntemi (DBY) (Ishikawa, 2017; Lee vd., 2017) ve Dinamik Kapı Besleme (DKB) yöntemleri (Gecan vd., 2016; Chen vd., 2017; Lasser vd., 2017) adı altında genel olarak üç ana başlıkta toplamak mümkündür. RF $P_{giriş}$ değerlerine göre verim ve doğrusallık performansının iyileştirildiği çalışmaları ise Zarf İzleme Yöntemi (ZİY) (Zhao vd., 2016; Chen vd., 2017; Tsai vd., 2017) ve Sayısal Ön Bozunum (SÖB) (Prasad ve Suresh 2016; Guo ve Zhu 2017; Songratthaset ve Pattaramalai 2017) yöntemleri olarak iki ana başlıkta toplamak mümkündür. Literatürde incelenen adaptif-dinamik besleme yapıları genellikle transistörlerden oluşan CMOS ve MMIC yapılarında tasarlanmıştır. Benzer şekilde ZİY ve SÖB yöntemlerinde de GY verim ve doğrusallık davranışını iyileştirmek için, CMOS ve MMIC yapıları kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında, gelecekte tamamlanması planlanan çalışmada, ayrı transistörlü GY'ler için Arduino tabanlı Adaptif Besleme Devresi (ABD) tasarlanacaktır. Adaptif Besleme Bloğunda (ABB) aktif eleman olarak transistör değil mikro denetleyici ve opamp kullanılacak ve böylece ısıl etkiler minimize edilecektir.

Çalışmada 50 MHz-6 GHz arasında çalışan SBB5089Z GY modülünün, değişen DC koşullara ve RF_{giriş} değerlerine göre, $P_{çıkış}$, G ve GEV(%) değişimleri grafiksel olarak incelenmiştir. Çalışmada RF $P_{çıkış}$ dBm olarak ölçülmüş, G ve GEV(%) parametreleri Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) formüllerine göre hesaplanmıştır (Cripps, 2002; Pozar, 2012).

$$G(dB) = P_{çıkış}(dBm) - P_{giriş}(dBm) \quad (1)$$

$$GEV(\%) = 100 \frac{P_{çıkış}(W) - P_{giriş}(W)}{V_{DC} * I_{DC}} \quad (2)$$

Çalışmadaki ölçümler 3.5 GHz ve 5.8 GHz WiMAX frekanslarında yapılmıştır. RF $P_{giriş}$ [-20 dBm:10 dBm] aralığında 2 dB'lik adımlar ile, V_{DC} ise [0V:5V] aralığında 75mV'luk adımlar ile değiştirilmiş, $P_{çıkış}$, G ve GEV(%) parametreleri grafiksel olarak incelenerek analiz edilmiştir.

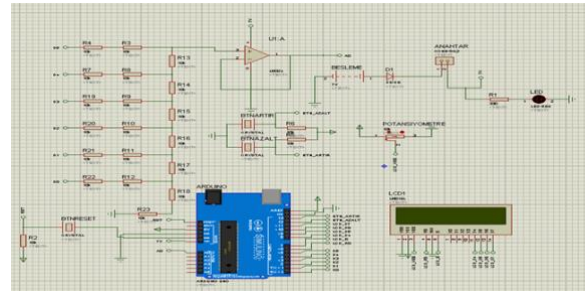
Çalışmada DC şartlar, R/2R Sayısal Analog Dönüştürücü (SAD) ve LM324 Gerilim İzleyici Devrelerinden (GİD) oluşan Arduino'lu Besleme Kontrol Bloğu (BKB) ile değiştirilmiştir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, GY doğrusallık ve verim performansının kablosuz haberleşme sistemleri için önemi anlatılmıştır. Ayrıca bu çalışma ile benzerlik gösteren literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde çalışmada kullanılan materyal ve izlenen yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü

bölümde, deneysel çalışmalar detaylandırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış, gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmiş, çalışmanın önemine değinilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, 50 MHz-6 GHz arasında çalışan InGaP HBT MMIC SBB5089Z GY modülü, DC koşulları değiştirmek için ise Arduino'lu SAD ve gerilim izleyici devrelerinden oluşan besleme kontrol bloğu kullanılmıştır. Ölçümlerde Rohde&Schwarz SMF 100A RF sinyal jeneratörü ve Agilent ESA-E serisi E4405B 9kHz-13.2 GHz spektrum analizörü kullanılmıştır. Arduino'lu BKB şematik ve baskı devresi sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



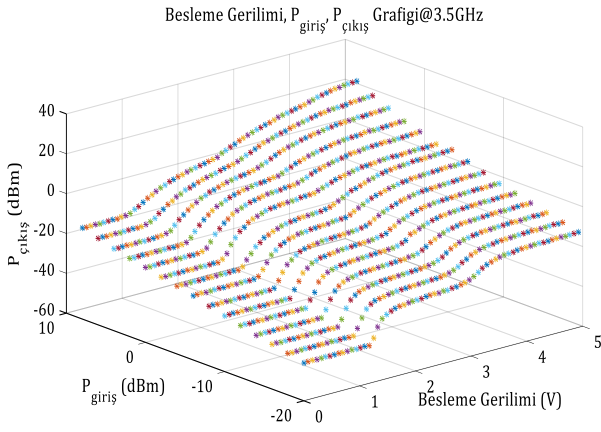
Şekil 1 Arduino'lu BKB şematiği



Şekil 2 Arduino'lu BKB baskı devresi

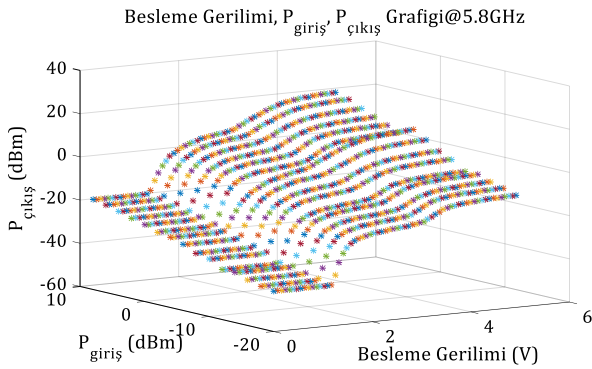
3. Araştırma Bulguları ve Deneysel Sonuçlar

SBB5089Z GY modülünün DC şartları, Arduino'lu R/2R SAD ve GİD kullanılarak değiştirilmiştir. DC şartlar 0V'dan 5V'a kadar 6 bit çözünürlük ile 75mV'luk adımlarla değiştirilmiştir. Ayrıca, GY modülünün RF $P_{giriş}$ 'i, -20 dBm'den 10 dBm'e kadar, 2 dB artırılarak değiştirilmiştir. Çalışmada, değişen V_{DC} ve $P_{giriş}$ değerlerine karşılık, $P_{çıkış}$ ve G grafikleri 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında ayrı ayrı incelenmiştir. Değişen RF $P_{giriş}$ ve DC şartlara göre, 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında GY modülünün, $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık; $P_{çıkış}$, G ve GEV (%) grafikleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



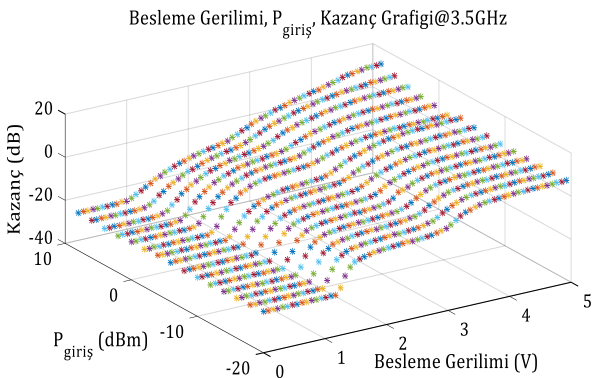
Şekil 3. 3.5 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık $P_{cıkış}$ grafiği

Şekil 3 ve 4'teki grafikler incelendiğinde, 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında artan V_{DC} gerilim değerlerine karşılık, GY modülünün $P_{cıkış}$ 'ının da arttığı gözlenmiştir.

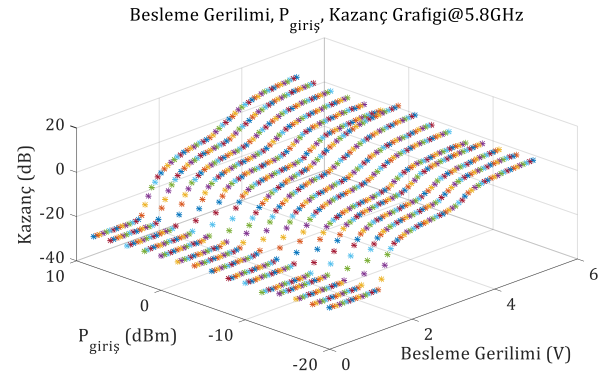


Şekil 4. 5.8 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık $P_{cıkış}$ grafiği

3.5 GHz frekansında, 8 dBm $P_{giriş}$ için, V_{DC} gerilimi; GY modülünden makul bir $P_{cıkış}$ elde edildiği, 3V değerinden maksimum çalışma gerilimi olan 5V'a çıkarıldığı zaman, $P_{cıkış}$ değeri de, 10.76 dBm değerinden 22.33 dBm değerine yükselerek, 12.17 dB artış göstermiştir. Aynı şekilde, 5.8 GHz frekansında, 8 dBm $P_{giriş}$ için ise, V_{DC} geriliminin 3V değerinden 5V değerine artırılması, $P_{cıkış}$ 'ı 11.25 dB artırmış ve 8.81 dBm değerinden, 20.06 dBm'e yükseltmiştir.

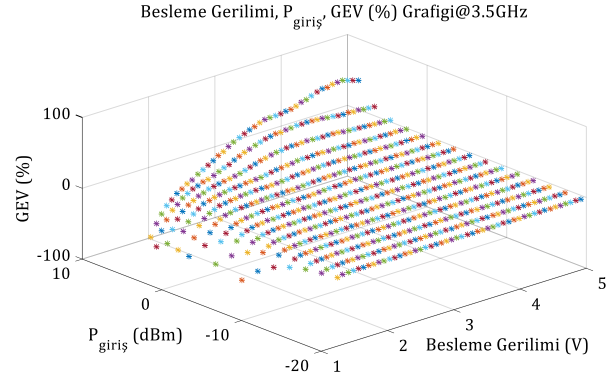


Şekil 5. 3.5 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık G grafiği

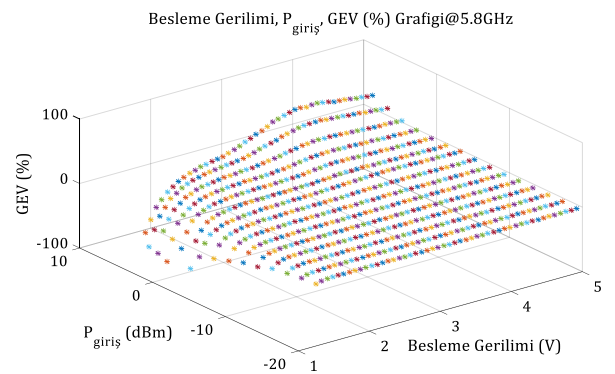


Şekil 6. 5.8 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık G grafiği

Şekil 5 ve 6'daki grafikler incelendiğinde, 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında artan V_{DC} değerlerine karşılık, GY modülü kazancının arttığı gözlenmiştir. 3.5 GHz frekansında 8 dBm $P_{giriş}$ için, V_{DC} 'nin 3V'den 5V'ye artırılması kazancı 2.76 dB'den 14.33 dB'ye yükseltmiştir. 5.8 GHz frekansında ise 8 dBm $P_{giriş}$ için V_{DC} değerindeki 2V'lık artış, kazancı 0.81 dB'den 12.06 dB'ye yükseltmiştir.



Şekil 7. 3.5 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık GEV(%) grafiği



Şekil 8. 5.8 GHz frekansında $P_{giriş}$ - V_{DC} 'ye karşılık GEV(%) grafiği

Son olarak, Şekil 7 ve 8'deki grafikler incelendiğinde, artan $P_{giriş}$ değerlerine göre, GY modülü GEV(%) değeri önemli ölçüde artmaktadır. Benzer şekilde artan V_{DC} gerilim değerlerine göre GY modülü GEV(%) değeri de artış göstermektedir. Yükseltcin V_{DC} değeri artırıldığı zaman, Güç Tüketimi (P_T) artmasına rağmen,

yükselteç $P_{\text{çıkış}}-P_{\text{giriş}}$ farkının artış miktarı, güç tüketiminin ($V_{\text{DC}}*I_{\text{DC}}$) artış hızından daha fazla olduğu için, artan V_{DC} değerlerine göre GY GEV(%) davranışı önemli bir iyileşme göstermiştir.

3.5 GHz frekansında, $P_{\text{giriş}}$ değerindeki -10 dBm'den +8 dBm'e olan +18 dBm'lik artış, GEV(%)'yi %0.13'den %46.22'ye yükselterek yaklaşık %46'lık bir artış sağlamıştır. 5.8 GHz frekansında ise, $P_{\text{giriş}}$ değerini -10 dBm'den +8 dBm'e artırmak, GEV değerinde %26'lık bir artış ile %0.37'den %26.54'e çıkarmaktadır. 3.5 GHz frekansında 8 dBm $P_{\text{giriş}}$ için V_{DC} değerinin 3V'den 5V'ye artırılması, GEV değerinin %9.55'den %46.22'ye yükselterek %36.67 artırmıştır. 5.8 GHz frekansında 8 dBm $P_{\text{giriş}}$ için ise V_{DC} değerinin 3V değerinden 5V'ye artırılması, GEV değerini %23.62 artırarak, %2.92 değerinden %26.54 değerine yükseltmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada 3.5 GHz ve 5.8 GHz WiMAX frekanslarında çalışan SBB5089Z GY modülünün değişen RF $P_{\text{giriş}}$ ve V_{DC} değerlerine göre $P_{\text{çıkış}}$, G ve GEV (%) performans parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada RF $P_{\text{giriş}}$ -20 dBm ile 10 dBm arasında 2 dB'şer dB'lik adımlarla ve V_{DC} değeri ise 0V ile 5V arasında 75mV'luk adımlar ile artırılmıştır. V_{DC} Arduino'lu SAD ve GİD oluşan BKB ile artırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre incelenen iki farklı frekans değerinde SBB5089Z GY modülü için, P_{1dB} noktasına kadar artan RF $P_{\text{giriş}}$ ve V_{DC} değerleri ile GY $P_{\text{çıkış}}$, G ve GEV (%) davranışları olumlu yönde değişmiştir. Çalışmanın bir sonraki adımında Arduino'lu BKB ile GY girişine uygulanan RF $P_{\text{giriş}}$ değerlerine göre V_{DC} değiştirilerek yükseltece adaptif bir yapı kazandırılacaktır. Aynı zamanda değişen RF $P_{\text{giriş}}$ değerlerine karşılık, V_{DC} üreten Arduino'lu BKB frekans ve $P_{\text{giriş}}$ 'den bağımsız olarak, farklı yükselteç uygulamaları için de kullanılabilir olacaktır.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Chen, C., X. Xu, vd., 2017. A 20–30 GHz high efficiency power amplifier IC with an adaptive bias circuit in 130-nm SiGe BiCMOS. Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF), 2017 IEEE 17th Topical Meeting on, IEEE.
- Chen, W., Z. Wang, vd., 2017. "4 - 20 GHz low noise amplifier MMIC with on-chip switchable gate biasing circuit." IEICE Electronics Express advpub.
- Cho, Y., K. Moon, vd., 2016. Linear Doherty power amplifier with adaptive bias circuit for average

power-tracking. Microwave Symposium (IMS), 2016 IEEE MTT-S International, IEEE.

- Cripps, S. C., 2002. Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design. Artech House.
- Gecan, D., M. Olavsbraten, vd., 2016. Comprehensive investigation of a dynamic gate biasing technique for linearity improvement based on measurement of a 10 W GaN HEMT power amplifier. Telecommunications Forum (TELFOR), 2016 24th, IEEE.
- Guo, Y. ve A. Zhu, 2017. Power adaptive decomposed vector rotation based digital predistortion for RF power amplifiers in dynamic power transmission. RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR), 2017 IEEE Topical Conference on, IEEE.
- Ishikawa, S. H. a. R., 2017. Electrothermal Transient Analysis of GaN Power Amplifier With Dynamic Drain Voltage Biasing., IEEE Microwave and Wireless Components Letters vol. PP(no. 99): pp. 1-3.
- Kaya A., Coskun. Ö., Ardıç S.,B., 2008. 2.4 GHz (WLAN) İçin A-Sınıfı Güç Yükseltici Tasarımı. Endüstri & Otomasyon Elektrik, Elektronik, Makina, Bilgisayar ve Kontrol Sistemleri Dergisi. 139: 22-25.
- Lasser, G., M. Duffy, vd., 2017. Gate control of a two-stage GaN MMIC amplifier for amplitude and phase linearization. Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), 2017 IEEE 18th, IEEE.
- Lee, H., J. Kwon, vd., 2017. "Optimized Current of the Peaking Amplifier for Two-Stage Doherty Power Amplifier." IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.
- Lee, S., S. Lee, vd., 2017. A 1.7-GHz GaN MMIC Doherty power amplifier using an adaptive bias circuit with a quadrature coupler. Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), 2017 IEEE International Symposium on, IEEE.
- Mohamed, A. M., 2013. Adaptive Power Amplifiers for Modern Communication Systems with Diverse Operating Conditions Doctor of Philosophy, University of Waterloo
- Kaya, A., Coşkun, Ö., 2013. "Single-Pole Double Throw Switches for 2.4 GHz Transceiver in Wireless Communication Applications." The Arabian Journal of Science and Engineering 38(12): 3421-3427.
- O. Arı, Coşkun, Ö., A. Kaya, 2012. "Biyomedikal Uygulamalar İçin Ultra Geniş Bant (UWB) Anten Tasarımı Ve Analizi." Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi Cilt:2(Sayı:3): Sayfa:1-4.
- Pedro, J. C. ve N. B. Carvalho, 2003. Intermodulation Distortion in Microwave and Wireless Circuits, ARTECH HOUSE.
- Pozar, D. M., 2012. Microwave Engineering.

- Prasad, K. M. ve H. Suresh, 2016. An efficient adaptive digital predistortion framework to achieve optimal linearization of power amplifier. Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), International Conference on, IEEE.
- Songratthaset, D. ve S. Pattaramalai, 2017. Adaptive polynomials method for FBMC nonlinear power amplifier complex gain. Advanced Communication Technology (ICACT), 2017 19th International Conference on, IEEE.
- Tsai, W.-T., C.-Y. Liou, vd., 2017. Wide-Bandwidth and High-Linearity Envelope-Tracking Front-End Module for LTE-A Carrier Aggregation Applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.
- Vidojkovic, M., 2011. Configurable circuits and their impact on multi-standard RF front-end architectures Eindhoven University of Technology
- Zhang, X. ve L. Siek, 2017. An 80.4% Peak Power Efficiency Adaptive Supply Class H Power Amplifier for Audio Applications. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems.
- Zhao, S., vd., 2016. An adaptive polarization-QAM modulation scheme for improving the power amplifier energy efficiency in OFDM systems. Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2016 IEEE 27th Annual International Symposium on, IEEE.