

ՀՏԴ 621.396

Ա.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

**ԲԱԶԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՈՒԺԵՂԱՐԱՐՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱԾԱԽՍԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ**

Վերլուծվել են բջջային կապի բազային կայաններում (BS) կիրառվող տարբեր դասերի ուժեղարարների սխեմատեխնիկական, կառուցվածքային և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Գնահատվել են դրանց օ. գ. գ. -ն և էներգաձախսը՝ կախված ելքային աշխատանքային և առավելագույն հզորությունների հարաբերությունից: Տույց է տրվել, որ ժամանակակից BS-ներում գերադասելի է կիրառել Դոհերտիի բազմաուղի ուժեղարարներ:

Առանցքային բառեր. բազային կայան, ուժեղարար, օ. գ. գ., էներգաձախս:

Բջջային կապի բազային կայանների (BS-ների) էներգաձախսի գնահատումն օգտակար և անհրաժեշտ է կայանների էներգաարդյունավետության որոշման, տարբեր տեխնիկական լուծումների էներգահետևանքների ուսումնասիրման, էներգետիկական իրավիճակային վերլուծության, էներգաարդյունավետության բարձրացման և էներգախնայողության միջոցառումների վերաբերյալ հետևություններ, կարգավորումներ և փոփոխություններ իրականացնելու համար: Անհրաժեշտ է նաև նշել, որ բջջային լայնաշերտ կապի տեխնիկական միջոցների համար 2019թ. Եվրամիության կողմից սահմանվել են էներգաձախսի վարքագծային կանոններ (Code of Conduct) [1]: Մասնավորապես, LTE (Long Term Evolution – Երկարաժամկետ էվոլյուցիա) ցանցերում 3 սեկտորով 2X2 MIMO համակարգով և 20 ՄՀց հաճախականային թողունակությամբ BS-ների էներգաձախսի քանակական թիրախները ցածր, միջին և բարձր բեռնվածությունների վիճակների դեպքում համապատասխանաբար կազմում են 585, 700 և 855 Վտ:

BS-ների ուժեղարարները նախատեսված են ազդանշանի ուժեղացման համար մինչև ալեհավաքին փոխանցումը [2, 3]: Դրանք համարվում են խոշոր BS-ների (macroBS) հիմնական էներգասպառիչը և ծախսում են ամբողջ էներգաձախսի 50-60%-ը [4]: Այդ իսկ պատճառով ուժեղարարների էներգաձախսի գնահատումը և բարձր էներգաարդյունավետության ապահովումն առաջնային խնդիր է, որին էլ նվիրված է այս աշխատանքը:

Ներկայումս BS-ներում լայնորեն կիրառվում են գծային A, B, AB, ինչպես նաև ոչ գծային E, F, G, H, J, S դասերի ուժեղարարներ [3]: Հեռանկարային է, այսպես կոչվող, «Դոհերտիի (Doherty)» ուժեղարարը, որը զուգահեռ միացված

հիմնական (main) և առնվազն մեկ լրացուցիչ (auxiliary) ուժեղարարներով համակարգ է [5, 6]: Լրացուցիչ ուժեղարարը գործարկվում է, երբ հիմնականն անցում է կատարում հազեցման ռեժիմին:

Ուժեղարարների պատրաստման համար կիրառվում են տարբեր տեխնոլոգիական եղանակներ (ինտեգրալ, հիբրիդային, դիսկրետ), տրանզիստորների կառուցվածքներ (HB - Heterojunction Bipolar, CMOS - Complementary Metal Oxide Semiconductor, LDMOS - Lateral Diffused MOS, HEM - High Electron Mobility, pHEM - pseudomorphic HEM), կիսահաղորդչային նյութեր (Si, GaAs, GaN, SiGe) և հարթակներ (SiC, Si, սապֆիր): BS-ներում ուժեղարարների դասի, տեխնոլոգիայի, տրանզիստորների ընտրությունը պայմանավորված է մի շարք գործոններով, այդ թվում՝ աշխատանքային հաճախականություն և հզորություն, օ.գ.գ., գծայնություն, ինքնարժեք: Նշենք նաև, որ հատուկ BS-ների համար նախատեսված ուժեղարարների արտադրությամբ զբաղվում են այնպիսի հայտնի ընկերություններ, ինչպիսիք են Ericsson-ը, Lucent-ը, Bravo Tech. Inc-ը, PARADIGM-ը, NXP-ը, Texas Instruments-ը և Motorola Inc-ը:

Ուժեղարարների արդյունավետությունը կամ օ.գ.գ.-ն բնութագրվում է ելքային և մուտքային միջին հզորությունների հարաբերակցությամբ: Մեր [7] աշխատանքում արձածրվել է BS-ներում կիրառվող տարբեր դասերի ուժեղարարների օ.գ.գ.-ն նկարագրող հետևյալ ընդհանրական առնչությունը.

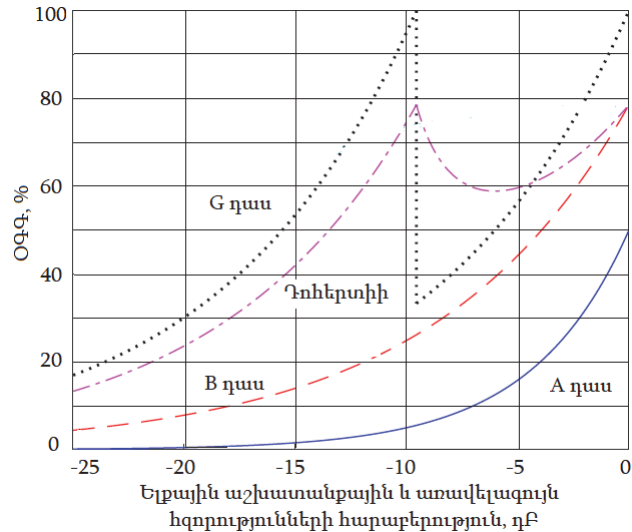
$$\eta_{PA} = \eta_{PA,R} \left[1 - \gamma \log_2 \left(\frac{P_{out}}{P_{out,max}} \right) \right], \quad (1)$$

որտեղ P_{out} -ը ուժեղարարի ելքային աշխատանքային հզորությունն է (մեր դեպքում՝ BS-ի ելքային հաղորդման հզորությունը), $P_{out,max}$ -ը՝ ելքային առավելագույն հաղորդման հզորությունը, $\eta_{PA,R}$ -ը՝ ուժեղարարի օ.գ.գ.-ն, երբ $P_{out}/P_{out,max} = 1$, γ -ն՝ գործակից, որը բնութագրում է դիտարկվող դասի օ.գ.գ.-ի փոփոխությունը:

Նկ.1-ում բերված են տարբեր դասերի ուժեղարարների օ.գ.գ.-ների հաշվարկային կորերը՝ կախված $P_{out}/P_{out,max}$ հարաբերությունից:

A դասի ուժեղարարներն ապահովում են բարձր գծայնություն և մեծ հզորության ուժեղացման գործակից: Դրանց ակնթարթային օ.գ.գ.-ն գծայնորեն մեծանում է P_{out} ելքային հզորության մեծացմանը զուգընթաց և հասնում է 50%-ի՝ $P_{out,max}$ առավելագույն ելքային հզորության դեպքում: B դասի ուժեղարարների ակնթարթային օ.գ.գ.-ն գծայնորեն մեծանում է և հասնում է 78.5%-ի՝ $P_{out,max}$ առավելագույն ելքային հզորության դեպքում: G դասի ուժեղարարներն օգտագործում են մեկից ավելի սնուցման լարում և դրանց միացված առնվազն երկու ակտիվ սարքեր: Դրանցից առաջինը գործարկում է ուժեղարարը ցածր ելքային լարման դեպքում, իսկ երկրորդը՝ բարձր: Այդպիսի ելքային լարմանը հետևող

փոխանջատման ռեժիմը հանգեցնում է «սահմանագծային կետի» առաջացմանը: Դոհերտիի ուժեղարարներն ունեն միշտ ակտիվ մեկ հիմնական ուժեղարար և մի քանի $(b - 1)$ ուժեղացման գործակցով ուժեղարարներ, որոնք գործարկվում են, երբ մուտքային հզորությունը գերազանցում է շեմային մեծությունը՝ $P_{in,max}/b^2$:



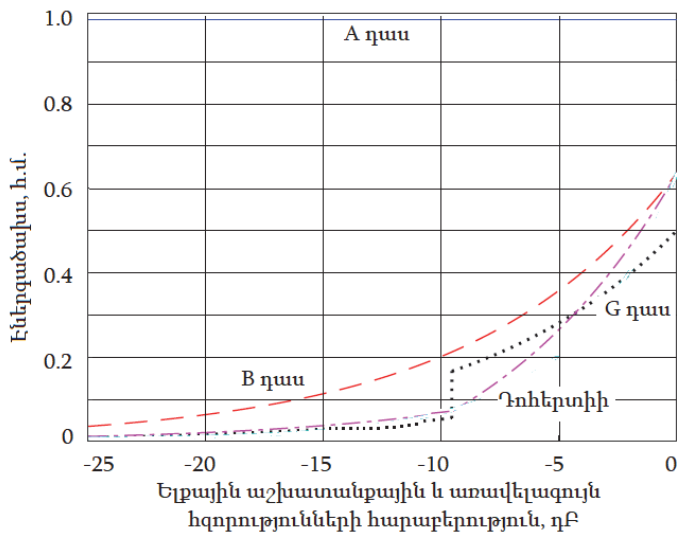
Նկ. 1. Ուժեղարարների օ.գ.գ.-ի կախվածությունները ելքային աշխատանքային և առավելագույն հզորությունների հարաբերությունից

A և B դասերի ուժեղարարներն օ.գ.գ.-ով զիջում են G դասի և Դոհերտիի ուժեղարարներին: A դասի ուժեղարարների օ.գ.գ.-ն առավելագույն ելքային հզորության դեպքում կազմում է 50%, իսկ B դասի ուժեղարարներինը՝ 78%: G դասի և Դոհերտիի ուժեղարարներն ապահովում են առավելագույն օ.գ.գ. նաև ավելի փոքր ելքային հզորության դեպքում՝ մոտավորապես 10 դԲ փոքր առավելագույնից: -10-ից մինչև 0 դԲ միջակայքում օ.գ.գ.-ն նվազում է, որը պայմանավորված է լրացուցիչ ակտիվ սարքերի գործարկմամբ: Այնուհետև օ.գ.գ.-ն կտրուկ աճում է, քանի որ աշխատում են միայն հիմնական ուժեղարարները, որոնք նաև ապահովում են լավ զծայնություն:

Ուժեղարարների էներգաձախսը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P_{PA} = \frac{P_{out}}{\eta_{PA}} \quad (2)$$

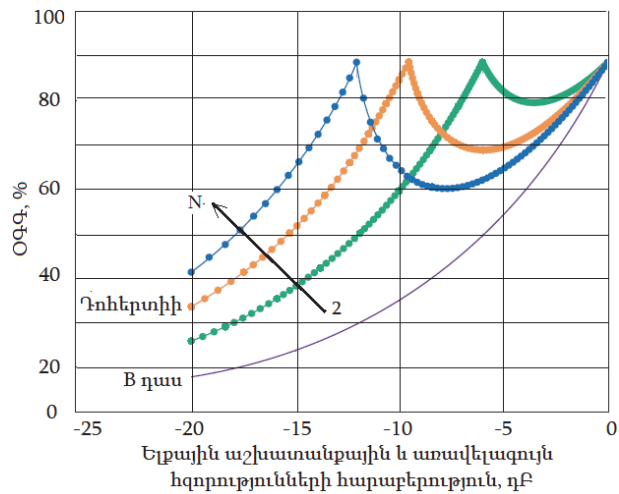
Նկ. 2-ում բերված են ուժեղարարների էներգաձախսի հաշվարկային կախվածությունները $P_{out}/P_{out,max}$ հարաբերությունից՝ A դասի ուժեղարարների համեմատ:



Նկ. 2. Ուժեղարարների էներգաձախսի կախվածությունները ելքային աշխատանքային և առավելագույն հզորությունների հարաբերությունից՝ A դասի ուժեղարարների համեմատ

A դասի ուժեղարարների էներգասպառումը հաստատուն է և կախված չէ ելքային հզորությունից: Այդ իսկ պատճառով այն ոչ արդյունավետ է լայն դինամիկ տիրույթ ունեցող ազդանշանների դեպքում: Գտնում ենք, որ դրանց կիրառումը ժամանակակից BS-ներում նպատակահարմար չէ: Էներգաձախսի և օ.գ.գ.-ի տեսակետից գերադասելի են Դոհերտիի ուժեղարարները: Սակայն դրանց էներգաձախսը, ինչպես հետևում է նկ. 2-ից, կտրուկ մեծանում է -10-ից մինչև 0 դԲ սահմանագծային կետերի միջակայքում՝ պայմանավորված այդ միջակայքում օ.գ.գ.-ի զգալի փոքրացմամբ, հատկապես հիմնական և լրացուցիչ ուժեղարարների հզորությունների մեծ հարաբերակցության դեպքում:

Նշված խնդրի արդյունավետ տեխնիկական լուծում է բազմակասկադ կամ N ուղիով Դոհերտիի ուժեղարարների կիրառումը՝ բաղկացած մեկ հիմնական և զուգահեռ միացված N-1 լրացուցիչ ուժեղարարներից, որոնց թվաքանակով պայմանավորված՝ ընդլայնվում է սահմանագծային կետերի միջակայքը (նկ.3) [8]: Փոփոխելով-միացնելով անհրաժեշտ քանակությամբ լրացուցիչ ուժեղարարներ՝ կարգավորվում է Դոհերտիի ուժեղարարի օ.գ.գ.-ն:



Նկ. 3. Դոհերտրիի ուժեղարարների օ.գ.գ.-ի կախվածությունները ելքային աշխատանքային և առավելագույն հզորությունների հարաբերությունից՝ լրացուցիչ ուժեղարարների փարբեր թվաքանակների դեպքում

Այսպիսով, ժամանակակից BS-ներում էներգաձախսի և օ.գ.գ.-ի տեսանկյունից գերադասելի է կիրառել Դոհերտրիի ուժեղարարները: Դրանց բազմաուղի սխեմատեխնիկական լուծումն ընդլայնում է սահմանազծային կետերի միջակայքը, որը կհանգեցնի ուժեղարարների օ.գ.գ.-ի համեմատական մեծացմանը և էներգաձախսի փոքրացմանը:

Հեղափոխությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 10-4/22AA-2B001 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Bertoldi P.** Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment. Version 7.0, European Commission, Ispra, 2019.- 65 p.
2. **Gregorio F., González G., Schmidt C., Cousseau J.** Signal Processing Techniques for Power Efficient Wireless Communication Systems.- Switzerland: Springer Nature, 2020.- 258 p.
3. **Cripps S.C.** RF Power Amplifiers for Wireless Communications. - Norwood, MA: Artech House, 2006.- 456 p.
4. **Այվազյան Ա.Գ., Խուդավերդյան Ա.Խ.** Բջջային կապի ցանցերի բազային կայանների էներգաձախսի գնահատումը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2021.- Հ. LXIX, № 1.- Էջ 173-181:
5. **Шурыгина В.** Усилители мощности. Уменьшение потребляемой мощности // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес.- 2009. - Т. 6.- С. 58-64.

6. The Doherty Power Amplifier: Review of Recent Solutions and Trends / V. Camarchia, M. Pirola, R. Quaglia, et al // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.- 2015.- V. 63(2).- P. 559–571.
7. Aghabekyan D.V., Ayvazyan A.G., Barseghyan A.R. Efficiency of Macro Base Station Power Amplifiers // Proceedings of Engineering Academy of Armenia. – 2020.- V. 17 (2). – P. 157-160.
8. Вонг Д., Ватанабе Н., Гребенников А. Усилитель Догерти на GaN-транзисторах с мощностью 1 кВт в диапазоне частот 2,11–2,17 ГГц // СВЧ электроника.- 2017.- N 2.- С. 46-50.

А.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Проанализированы схемотехнические, конструктивные и технологические особенности усилителей мощности различных классов, используемых в базовых станциях (BS) мобильной связи. Оценивались их коэффициент полезного действия (КПД) и энергопотребление в зависимости от соотношения выходных рабочей и пиковой мощностей. Показано, что в современных BS предпочтительнее использовать многокаскадные усилители Догерти.

Ключевые слова: базовая станция, усилитель, КПД, энергопотребление.

A.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

ASSESSMENT OF POWER CONSUMPTION OF BASE STATION AMPLIFIERS

The circuitry, design and technological features of power amplifiers of various classes used in base stations (BS) of mobile communication are analyzed. Their efficiency and power consumption are assessed depending on the ratio of output working and maximum powers. It is shown that in modern BS it is preferable to use multicarrier Doherty amplifiers.

Keywords: base station, amplifier, efficiency, power consumption.