کاهش PAPR در سیستم‌های دیجیتال OFDM مبتنی بر روش SLM

نویسندگان: قاسم ملکی مقدم – Gh.maleki7394@gmail.com

محمدحسین مدنی – Madani1355@yahoo.com

چکیده: در حال حاضر، روش مالتی‌پلکس تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) به محبوب‌ترین روش مدولاسیون برای انتقال داده با سرعت‌بالا تبدیل‌شده است. بااین‌حال، نسبت بالای پیک توان به توان متوسط (PAPR) یک اشکال عمده در این روش مدولاسیون شناخته‌شده است. ازآنجاکه پیک بالا باعث کاهش کارایی توان تقویت‌کننده RF در فرستنده می‌شود. درنتیجه این مقاله به بررسی روش نگاشت انتخابی (SLM) جهت کاهش PAPR در مدولاسیون OFDM پرداخته است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد روش SLM عملکرد خوبی را برای کاهش PAPR در مدولاسیون OFDM ارائه می‌دهد.

کلیدواژه: پیک توان، توان متوسط، OFDM، PAPR، SLM

1- مقدمه

سیستم OFDM در حال حاضر یکی از محبوب‌ترین سیستم-های مدولاسیون غیرخطی در سیستم های ارتباطی می باشد. فن‌آوری تقسیم‌بندی فرکانسی متعامد (OFDM) یک روش مدولاسیون ارتباط چندرسانه‌ای است که از چندین زیرحامل و تکنولوژی فرکانس‌های دارای هم پوشانی استفاده می‌کند [1]. این سیستم به طور گسترده در ارتباطات بی سیم مدرن به علت نرخ بالای داده‌ها، و مصونیت در برابر گستردگی زمانی و بازدهی طیفی فرکانس و سایر مزایا استفاده شده است. در کنار این مزیت‌ها، مشکل اصلی سیستم OFDM نسبت توان پیک به قدرت متوسط (PAPR) سیگنال خروجی فرستنده می‌باشد که منجر به محدودیت عمکرد سیستم، تضعیف در بهره‌وری انرژی و افزایش هزینه سیستم می شود [1،2]. سیگنال OFDM ترکیبی از چندین سیگنال تکی است که بر روی یک گروه زیر حامل‌های متعامد با پهنای باند برابر ارسال می‌شوند، بنابراین، هنگامی که در گیرنده بصورت همدوس جمع میشوند، سیگنال OFDM دارای پیک بزرگ می‌شود، در حالی‌که متوسط توان کم می‌باشد [2]. هرگاه PAPR بالا رخ دهد، مبدل DIA[1] و تقویت کننده توان فرستنده نیاز به محدوده دینامیکی بزرگی برای جلوگیری از برش دامنه دارند. در نتیجه زمانی که یک سیگنال OFDM از طریق تقویت کننده توان غیرخطی عبور می‌کند، ویژگی PAPR بالا باعث کاهش کارایی مصرف انرژی، اعوجاج باند و گسترش طیفی، افزایش مصرف انرژی و هزینه اجزای گیرنده/ فرستنده می شود [1]. با این حال، اگرچه زیر حامل ها از لحاظ آماری مستقل هستند، زمانی که تعداد زیر حامل ها به مقدار مشخصی می رسد، حداکثر توان متوسط بسیار بزرگتر از یک سیستم تک حامله می‌باشد، که این امر مستلزم نیاز به تقویت کننده توان، مبدل A / D و D / A با یک محدوده دینامیکی خطی بزرگ می‌باشد، به طوری که سیستم OFDM به آسانی می تواند منجر به اعوجاج در کانال های مجاور شود و تعامد سیگنال‌ها از بین می‌رود. بنابراین مهم است که PAPR را به حداقل برسانیم. کاهش PAPR را می توان با تغییر ویژگی‌های سیگنال OFDM در حوزه زمان یا فرکانس در فرستنده به دست آورد. اگر اطلاعات در مورد این تغییرات به گیرنده منتقل شود، می تواند عملیات را معکوس کند و داده ها را به طور صحیح دمدوله کند [2]. در حال حاضر، تکنیک های جهت کاهش PAPR در وجود دارد. اولین تکنیک کاهش PAPR، روش برش (قطع کردن) [2] می‌باشد. در میان تمام این تکنیک های موجود، روش برش و فیلتر کردن (ICF)[3] ساده ترین روش برای رسیدن به یک آستانه مشخص PAPR در نمادهای OFDM پردازش باشد [1].

[2] Cliping
[3] Iterative cliiping and filtering

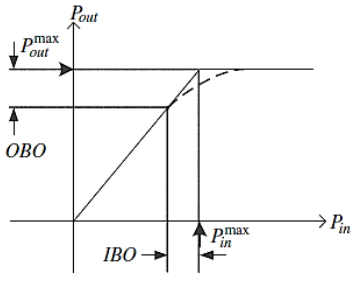
با این حال، برش زمانی سیگنال‌های حوزه‌ی زمان باعث افزایش رشد طیفی، اعوجاج باند، کاهش عملکرد خطای بیت (BER) سیستم OFDM می شود، و همچنان پیک های بزرگی در حوزه زمان تولید کند.

روش نگاشت انتخابی (SLM) یک رویکرد دیگر است که عملکرد خوبی برای کاهش PAPR ارائه می دهد، جایی که سیگنال ارسالی واقعی از بین مجموعه‌ای از سیگنال‌ها برای ساخت سیگنال ارسالی اصلی انتخاب شده است [1]. در ادامه‌ی مقاله به معرفی مدل سیستمی و مفاهیم PAPR پرداخته شده است. همچنین در قسمت سوم به بررسی روش (SLM) و تاثیر آن بر روی کاهش PAPR بررسی شده است و در قسمت چهارم و پنجم بترتیب به شبیه‌سازی روش پیشنهادی و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آن و جمع‌بندی پرداخته شده است.

2- معرفی PAPR

به طور کلی، حتی تقویت کننده های خطی به دلیل ویژگی های اشباع ناشی از ورودی بسیار بزرگتر از مقدار اسمی آن، اعوجاج های غیر خطی را بر خروجی‌های آنها اعمال می کنند. شکل (1) مشخصات ورودی/ خروجی تقویت کننده توان بالا (HPA)[1] را از لحاظ توان ورودی (P_{in}) و توان خروجی (P_{out}) نشان می دهد. با توجه به ویژگی اشباع فوق الذکر تقویت کننده، حداکثر خروجی ممکن توسط P_{maxout} محدود می شود زمانی که توان ورودی متناظر توسط P_{maxin} داده می شود. توان ورودی باید در محدوده Back-Offقرار گیرد تا در منطقه خطی کار کند. بنابراین، منطقه غیر خطی را می توان با (IBO)[2] یا (OBO)[3] توصیف کرد [4]:

$$IBO = 10\log_{10}\frac{P_{in}^{max}}{P_{in}}\ ,OBO = IBO = 10\log_{10}\frac{P_{out}^{max}}{P_{out}} \quad (1)$$



شکل1: مشخصات ورودی- خروجی یک HPA

توجه داشته باشید که ویژگی غیرخطی HPA (تقویت کننده قدرت بالا)، که توسط یک ورودی بزرگ تحریک می شود، موجب تشعشع خارج از محدوده باند می شود که در سیگنال های مجاور، و اعوجاج های درون باندی تاثیر می گذارد که موجب تضعیف و آفست در سیگنال دریافت شده می‌شود.

2-1- تعریف مدل PAPR

یک سیگنال PAM پایه برای یک دنباله داده مختلط $\{a[n]\}$ را در نظر بگیرید:

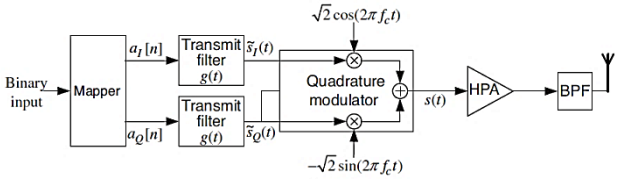
$$\tilde{s}(t) = \sum_k a[n]g(t-kT_s) \quad (2)$$

جایی که g(t) یک پالس ارسالی برای هر سمبل و T_s زمان دوام هر سمبل است. به عنوان مثال شکل (2) یک فرستنده PAM برای معادله بالا را نشان می دهد که در آن خروجی از مدولاتور باند پایه بصورت زیر نشان داده شده است:

$$s(t) = \sqrt{2}\,\mathrm{Re}\{(\tilde{s}_I(t) + j\tilde{s}_Q(t))e^{j2\pi f_c t}\} \quad (3)$$

که $\tilde{s}_I(t)$ و $\tilde{s}_Q(t)$ مولفه‌های حقیقی و موهومی سیگنال مختلط باند پایه $\tilde{s}(t)$ می‌باشد.

$$\tilde{s}(t) = \tilde{s}_I(t) + j\tilde{s}_Q(t) \quad (4)$$



شکل 2: سیگنال ارسالی باند پایه

همچنین نسبت توان پیک به متوسط پوش PMEPR[4] برابر نسبت بین حداکثر توان به متوسط توان پوش یک سیگنال مختلط باند پایه $\tilde{s}(t)$ میباشد، یعنی:

$$PMEPR\{\tilde{s}(t)\} = \frac{\max|\tilde{s}(t)|^2}{E\{|\tilde{s}(t)|^2\}} \quad (5)$$

و توان پیک پوش PEP[1] نشان دهنده حداکثر توان سیگنال مختلط باند پایه است، یعنی:

[1] high power amplifier
[2] Back-Off Input
[3] Output Back-Of
[4] Peak-to-Mean Envelope Power Ratio =PMEPR

www.kahrobaonline.ir

$$PMEPR\{\tilde{s}(t)\} = \max|\tilde{s}(t)|^2 \quad (6)$$

در مورد که توان متوسط سیگنال نرمال شده است $(i.e., E\{|\tilde{s}(t)|^2\} = 1)$، PMEPR معادل PEP است. نسبت حداکثر توان به توان متوسط PAPR برابر نسبت حداکثر توان به توان متوسط سیگنال مختلط s(t) است، یعنی:

$$PMEPR\{\tilde{s}(t)\} = \frac{\max|\mathrm{Re}(\tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t}|^2}{E\{|\mathrm{Re}\,\tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t}|^2\}} = \frac{\max|s(t)|^2}{E\{|s(t)|^2\}} \quad (7)$$

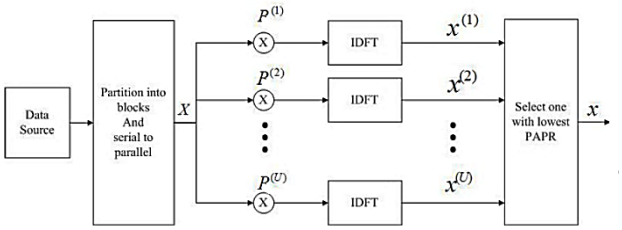
ویژگی های توان بالا نیز می تواند با توجه به اندازه های آن‌ها (نه توان) و با تعریف فاکتور قله (CF)[2] بصورت زیر تعریف شود:

$$\begin{aligned} Passband\ condition &: CF = \sqrt{PAPR} \\ baseband\ condition &: CF = \sqrt{PMEPR} \end{aligned} \quad (8)$$

3- روش SLM

نگاشت انتخابی (SLM) یک روش کاهش PAPR در سیستم‌های OFDM است. ایده اصلی تکنیک SLM این است که یک تعداد سیمبل های OFDM را به عنوان کاندیدای انتخاب، تولید می‌کند و سپس یکی از آن‌ها را با پایین‌ترین PAPR برای ارسال انتخاب می‌کند [6].

ایده اساسی این تکنیک بر مبنای چرخش فاز است. پایین‌ترین سیگنال PAPR برای ارسال از میان تعدادی مختلف از بلوک های داده (توالی فاز مستقل) که اطلاعات مشابه در فرستنده دارند انتخاب می شود. شکل (3) نمودار بلوکی طرح SLM را نشان می دهد.



شکل3: بلوک دیاگرام روش SLM

فرض کنیم که داده های اصلی ورودی X $[X_0, X_1, ..., X_{N-1}]$ ضرب شده با دنباله‌های فاز مستقل $(u = 0,1,U-1)$ $P^{(u)} = [P_0^{(u)}, P_1^{(u)}, ...P_{N-1}^{(u)}]^T$، که U تعداد دنباله‌های فاز است. هر دو داده ورودی و توالی فاز دارای طول برابر N هستند. پس از ضرب، تبدیل سریع فوریه معکوس (IFFT) در هر دنباله برای تبدیل سیگنال از حوزه‌ی فرکانس به حوزه‌ی زمانی اعمال خواهد شد. درنتیجه این عمل، بلوک داده‌ای از یک سیستم OFDM که دارای سیگنال های حوزه‌ی زمانی مختلف با طول U و مقادیر PAPR متفاوت $X^{(u)} = [X_0^{(u)} + X_1^{(u)} + ... + X_{N-1}^{(u)}]$ تولید خواهد کرد.

آخرین مرحله‌ی مقایسه‌ی PAPR در میان بلوک های داده های مستقل است و نامزد با کمترین PAPR برای انتقال انتخاب می شود. معادله زیر نامزد مطلوب $\hat{X}$ را نشان می دهد که دارای کمترین PAPR است و برای ارسال انتخاب شده است [2].

$$\hat{X} = \arg\min_{0 \le u \le U}[PAPR(X^{(u)})] \quad (9)$$

3-1- آستانه انتخاب نگاشت

یک سیگنال OFDM باند پایه مختلط که دارای زیر حامل های N با نرخ نمونه‌برداری نایکویست می تواند به صورت بیان شود:

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i e^{j\frac{2\pi t}{N}} \quad (10)$$

که Xi سیمبل‌های مدولاسیون است. قضیه حد مرکزی نشان می دهد که اگر تعداد زیرمجموعه‌های N بزرگ باشد، x(t) متغیرهای تصادفی گاوسی با میانگین صفر هستند. و برای سیگنال گاوسین مختلط OFDM، توزیع رایلی با واریانس 0.5 و فاز سیگنال یکنواخت است. مقدار پیک سیگنال‌هایی که توزیع رایلی دارند، از هر مقدار با احتمال غیر صفر تجاوز می‌کند. فرض کنیم که مقدار توان متوسط x(t) برابر صفر است و Z_n متغییر تصادفی رایلی (iid) می‌باشد. تابع چگالی احتمال Z_n داده می‌شود توسط:

$$f_{z_n}(z) = 2Ze^{-z} \quad , n = 0,1,2,...N-1 \quad (11)$$

حداکثر مقدار Z_n برابر با PAPR است. اگر $z_{\max} = \max_{n=0,1,...N-1}$ باشد، سپس تابع توزیع تجمعی

[1] Peak Envelope Power (PEP)
[2] Crest Factor=CF

www.kahrobaonline.ir

(CDF)[1] و احتمال نسبت توان پیک به توان متوسط (PAPR) زیر آستانه داده شده توسط:

$$F_{z_{\max}}(z) = P(Z_{\max} \prec z) = P(Z_0 \prec z).P(Z_{\max} \prec z)...P(Z_{N-1} \prec z) \quad (12)$$

$$P(PAPR \le z) = F_{z_{\max}}(z)^N = (1-e^{-z})^N \quad (13)$$

تابع توزیع تجمعی مکمل (CCDF) هنگامی استفاده می شود که مقدار PAPR از آستانه فراتر رود. برای پیدا کردن احتمال اینکه PAPR یک سیگنال OFDM بیش از آستانه باشد، فرض کنید تابع توزیع تجمعی مکمل[2] زیر (CCDF) را داشته باشد [2]:

$$\tilde{F}_{z_{\max}}(z) = P(Z_{\max} \succ z) = 1 - P(Z_{\max} \le z) = 1 - F_{z_{\max}}(z) \quad (14)$$

$$P(PAPR \succ z) = 1-(1-e^{-z})^N \quad (15)$$

در روش SLM هر بلوک داده دنباله‌های فاز U را ایجاد می کند، اگر هر نگاشت به صورت آماری مستقل در نظر گرفته شود، سپس CCDF نسبت PAPR در نگاشت انتخابی (SLM) برابر خواهد بود با:

$$P(PAPR \succ z) = (1-(1-e^{-z})^N)^U \quad (16)$$

جایی که U تعداد دنباله‌های فاز است، N تعداد زیر حامل و z آستانه است. همانطور که از معادلات (15) و (16) دیده می شود، این‌ها زمانی بدست می‌آیند که تعداد زیر حامل N بزرگ است و نمونه‌ها با سرعت نمونه‌گیری نایکوئیست مستقل هستند. اما، هر دو معادله، نمی‌توانند نرخ بیش از حد نمونه برداری و باند محدود اشاره کنند. این به دلیل این واقعیت است که سیگنال نمونه-برداری نیازی به داشتن نقاط حداکثر سیگنال اصلی ندارد [2].

به منظور صرفه جویی در انرژی از طریق نگاشت انتخابی، توان متوسط ورودی در سیستم OFDM باید طوری تنظیم شود تا اثر اعوجاج در پیک سیگنال کاهش یابد، برای انجام این کار باید یک ورودی (IBO)[3] مورد استفاده قرار گیرد. IBO اندازه گیری میزان کاهش توان ورودی است، به طوری که توان خروجی مورد نظر را می توان به دست آورد. مقدار IBO اعمال شده مربوط به PAPR به حداکثر توان متوسط و بازده‌ی η است، PAPR بالا باعث افزایش IBO و کاهش η می‌شود. IBO معادل PAPR با یک احتمال خاص(معین و یقینی) است. کارایی η تقویت کننده توان که در سیستم OFDM استفاده می شود، می تواند به‌صورت زیر تعریف شود [6]:

$$\eta = \frac{P_{out,avg}}{P_{DC}} \quad (17)$$

بهره صرفه‌جویی انرژی ناشی از کاهش PAPR را میتوان بصورت زیر بدست آورد [6]:

$$G_s = \frac{2P_{out,avg}(PAR_1 - PAR_2)}{P_{out,avg}} = 2(PAR_1 - PAR_2) \quad (18)$$

4- شبیه سازی و نتایج

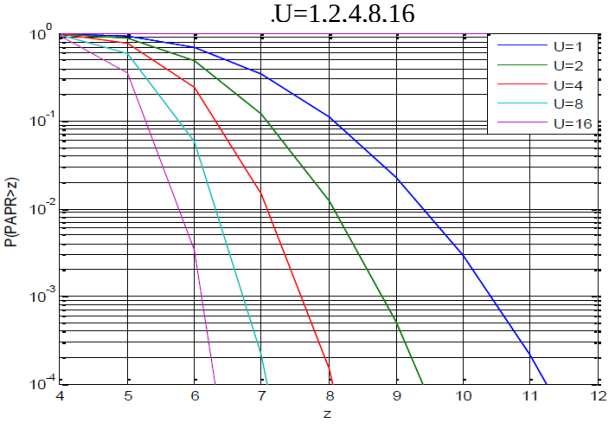
شبیه‌سازی‌ها با استفاده از معادله (16)، که در آن تعداد زیر حامل N برابر 256، با مقادیر مختلف توالی فاز U(1,2,4,8,16) تنظیم شده، به دست آمده است. شکل (4) عملکرد ضریب PAPR سیمبل های OFDM را با استفاده از طرح نگاشت انتخاب شده (SLM) نشان می دهد. واضح است که افزایش در تعداد دنباله فاز U (طرح SLM)، می تواند به کاهش بزرگ در PAPR منجر گردد. تمرکز اصلی در اینجا صرفه‌جویی در توان از طریق نگاشت انتخابی می‌باشد. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، افزایش بهره صرفه‌جویی در افزایش اختلاف PAPR $G_s = 2(PAR_1 - PAR_2)$ است.

جدول (1) خلاصه‌ای از عملکرد کاهش PAPR را مطابق با احتمال قطع (برش)10^{-3}، و N=256 ارائه می‌دهد. تمام مقادیر جدول (1) مربوط به منحنی هستند. از جدول (1) به وضوح روشن است که با افزایش دنباله فاز (دنباله‌ی فاز SLM) صرفه جویی در بهره به‌خوبی انجام شده است. معادله (18) نشان می دهد که با افزایش در بهره، صرفه‌جویی در انرژی افزایش می یابد. بنابراین، صرفه‌جویی در انرژی را می توان از طریق نگاشت انتخاب شده به دست آورد.

[1] Cumulative Distribution Function
[2] Complementary
[3] input backoff

www.kahrobaonline.ir

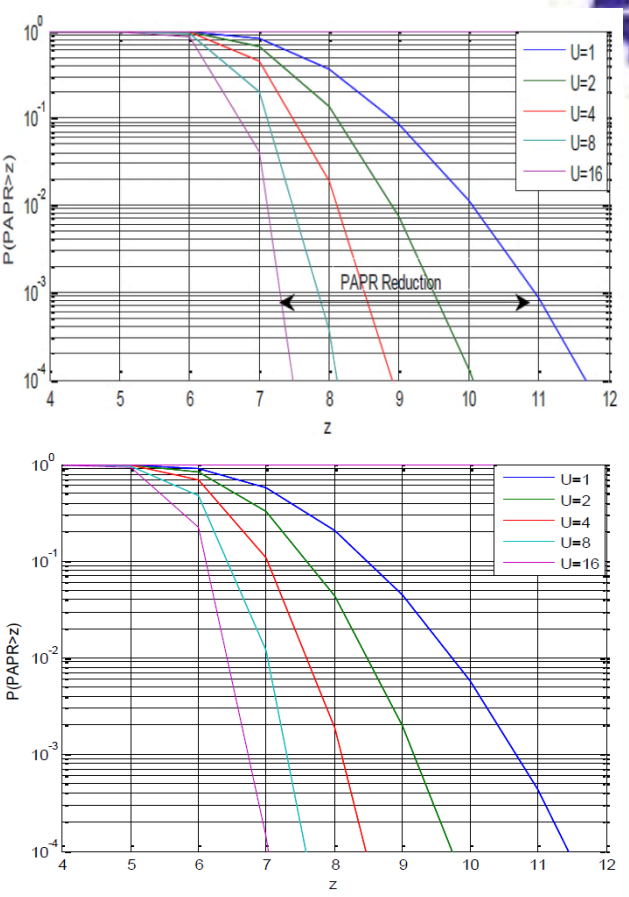
شکل5 : کاهش PAPR با روش SLM، N=64، U=1.2.4.8.16.



از شکل می توان دید زمانی که SLM وجود ندارد (U=1) آستانه مورد نیاز برای دریافت عملکرد خوب PAPR، 10.5 می باشد، در حالی که برای U = 16، تنها 6.2 برای عملکرد PAPR مناسب لازم است، جدول (2) خلاصه ای از عملکردهای مختلف کاهش PAPR مربوط به احتمال برش 10^{-3} برای مقادیر مختلف دنباله-های فاز U و زیر حامل N(64,128,256,512) را نشان می‌دهد.

جدول 2: کاهش PAPR مربوط به دنباله های فاز مختلف برای تعداد متغییر زیر حامل‌ها

PAPR				
N	64	128	256	512
D=1(NO SLM)	10.5	10.9	10.9	11.2
D=2	8.8	9.2	9.6	9.9
D=4	7.7	8.2	8.6	8.9
D=8	6.8	7.4	7.9	8.4
D=16	6.2	6.8	7.4	7.9



شکل 4: کاهش PAPR با روش SLM برای N=256، و U=1,2,4,8,16

جدول 1: کاهش PAPR و بهره‌ی صرفه‌جویی با بکارگیری روش SLM و U=1,2,4,8,16.

دنباله‌ی فاز (U)	نسبت پیک به متوسط (PAPR)	بهره صرفه‌جویی (G_s)
1 (بدون SLM)	10.9	0
2	9.6	2.6
4	8.6	4.6
8	7.9	6
16	7.4	7

5- خلاصه

شکل (4،5،6) به ترتیب نشان دهنده عملکرد ضریب توان پیک (PAPR) طرح کاهش آستانه نگاشت انتخابی (SLM) با استفاده از معادله (16) برای مقادیر مختلف توالی فاز U و زیر حامل (N=64,128,256) می‌باشد. واضح است که با افزایش تعداد توالی فاز، کاهش بیشتری را در PAPR بدست خواهد آمد. به عنوان مثال، شکل (5)، منحنی کاهش PAPR برای سیمبل OFDM که در آن N = 64 می‌باشد، رسم شده است.

مساله مربوط به نسبت توان پیک به توان متوسط (PAPR) مورد بحث قرار گرفت، و نشان داده شد که PAPR چگونه می‌تواند بر سیگنال ارسالی تأثیر بگذارد. روش‌های زیادی برای کاهش PAPR وجود دارد ک در این مقاله تمرکز بر روی روش SLM بوده است. در این مقاله روش SLM با جزئیات توضیح داده شده و نشان داده است که SLM یکی از روشهای کمکی امیدبخش در جهت کاهش PAPR می‌باشد. همچنین ذکر شد که صرفه‌جویی در انرژی می تواند از طریق این روش حاصل شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که کاهش بزرگ در PAPR با روش SLM

www.kahrobaonline.ir

امکان پذیر است و نشان می دهد کـه چگونـه بـا افـزایش تعـداد دنباله‌های فاز، کاهش بزرگی در PAPR می تواند به دست آید.

6- مراجع

[1] Aparna P. More, S.Somani, The Reduction of PAPR in OFDM Systems Using Clipping and SLM Method, MIT COE Pune. India.2015

[2] C.V. Arasu1,P.Hyanki, PAPR Reduction For Improveing Performance of Mimo System, IEEE 2010

[3] V.Anilkumar, M.S.Samatha , A Low-Complexity Modified SLM with New Phase Sequences for PAPR Reduction in OFDM System, National Institute of Technology, Tamil Nadu, India, 2015

[4] Y. Soo Cho, J. Kim, Mimo Ofdm Wireless Communication, John Wiley & Sons,2010

[5] S. P.Yadav, S. C.Bera, PAPR Reduction using Clipping and Filtering Technique for Nonlinear Communication Systems, IEEE. 2015

[6] W.Mohamed, Reducing Peak to Average Power Ratio of OFDM by Using Selected Mapping, California State University, Mat 2012