طراحی خط شکل‌دهی پالس الکترومغناطیسی بلوملین و بررسی رفتار آن در برابر اغتشاش پارامترها

کاظم پوربدخشان
استادیار- دانشگاه صنعتی قوچان- قوچان- ایران
k.poorbadakhshan@qiet.ac.ir

چکیده: **در مقاله پیش روی شما، پارامترهای مدل خط شکل‌دهی پالس بلوملین با استفاده از پدیده انعکاس موج ولتاژ در خطوط انتقال به طور دقیق محاسبه شده است. تأثیر اغتشاش پارامترهای مختلف این مدل از جمله شعاع هادی، طول خط، امپدانس بار و دی‌الکتریک خط، بر شکل پالس ولتاژ خروجی موردبررسی قرارگرفته است. سپس برای داشتن یک پالس تیز و صاف پارامترهای خط به‌صورت بهینه طراحی‌شده‌اند. از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی طراحی کمک گرفته‌شده است. درنهایت برای تأیید درستی پارامترهای مدل به‌دست‌آمده، پالس خروجی خط طراحی‌شده با پالس‌های ایده‌آل و نرمال در یک خط واقعی مقایسه شده‌اند. پالس-های خروجی این سیستم دارای کاربردهای فراوانی در حوزه‌های صنعتی، زیست‌محیطی، پزشکی و نظامی هستند.**

واژه‌های کلیدی: **پالس الکترومغناطیسی، خط شکل‌دهی پالس بلوملین، اغتشاش پارامترها، طراحی، بهینه‌سازی**

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶
نام نویسنده‌ی مسئول: کاظم پوربدخشان
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – قوچان – دانشگاه صنعتی قوچان – گروه برق

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

۱- مقدمه

پالس‌های الکترومغناطیسی (EMP[1]) در زیرشاخه‌های صنعتی، زیست‌محیطی، پزشکی و نظامی کاربردهای فراوانی دارند. اگرچه ژنراتورهای تک ضربه‌ای توان پالسی[2] که داری قله جریان بالا هستند، ابتدا برای مقاصد نظامی و گداخت هسته‌ای استفاده می‌شدند [۱]، اما باگذشت زمان ژنراتورهای توان پالسی دارای قدرت تکرار و با توان متوسط برای کاربردهای صنعتی و زیست‌محیطی به‌صورت گسترده موردمطالعه و استفاده قرار گرفتند [۲و۳و ۴و ۵و ۶]. معمولاً در اکثر این موارد از انرژی ذخیره‌شده برای تولید میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی استفاده می‌شود و نهایتاً از می‌توان این میدان‌ها را برای شتاب دادن ذرات باردار، تولید اثرات گرمایی، شیمیایی، مکانیکی، امواج الکترومغناطیسی استفاده نمود. افزون بر این، میدان‌های الکترومغناطیس عامل حمل انرژی به‌صورت اشعه‌ی ایکس، میکرو موج و لیزر می‌باشند و می‌توانند فشارهایی در محدوده‌ی یک‌دهم گیگا پاسکال و بیشتر را امکان‌پذیر سازند. پیشرفت‌های کنونی در فناوری توان پالسی و کاربرد آن در زمینه‌های زیست‌محیطی و صنعتی ازنقطه‌نظر اقتصادی نیز به این فناوری اهمیت بخشیده است. هم‌اکنون پیشرفت‌های فراوانی در این زمینه انجام‌شده و اکنون آزمایشگاه‌های معتبری مجهز به ابر ماشین‌های تولید پالس پرقدرت EMP در چندین کشور در حال فعالیت هستند. به‌عنوان‌مثال در کشور آلمان از سال ۱۹۹۰ تحقیقات زیادی در زمینه‌های تجاری‌سازی توان پالسی آغازشده است که این تحقیقات خبر از پتانسیل ویژه‌ی توان پالسی در بازارهای اقتصادی می‌دهد [۷]. همه‌ی این اثرات را می‌توان برای کاربردهایی نظیر تغییرات مولکولی، تغییر شکل، تغییر فشار، تغییر نقطه ذوب، خرد کردن یا تبدیل مواد به اجزای ریزتر مانند تولید پودر و ماسه از بتن مستعمل یا شکستن ذرات سنگین مواد نفتی و همچنین تخریب مواد یا نابودسازی یک ماده خاص مانند نابودی یک صخره به کار گرفت [۸]. همچنین برای تغییر سطح مواد آلی و غیر آلی نیز قابل‌استفاده هست. پالس‌های الکترومغناطیس به‌عنوان سلاحی برای جنگ سایبری یا تروریسم سایبری برای مختل کردن ارتباطات و سایر بخش‌ها و زیرساخت‌های حیاتی قابل‌استفاده هستند [۹]. در جنگ جهانی دوم برای نخستین بار از فناوری EMP در رادارها نیز استفاده شد [۱۰].

در حالت عادی، توان الکتریکی به‌صورت پیوسته و با توان کم تولید و به‌صورت آهسته و پیوسته به سمت بار حرکت می‌کند. به‌طور مثال، در یک دستگاه تلویزیون در طول سه ساعت حدود یک مگا ژول (10^6) انرژی مصرف می‌شود. این مقدار مصرف برابر ۱۰۰ وات (ژول بر ثانیه) است [۱۱]. اما در کاربردهای خاص، همچون پروژه‌های گداخت هسته‌ای و برنامه سلاح‌های انرژی مستقیم، انرژی باید با سرعت زیاد به بار منتقل شود. به‌طور مثال در عملیات گداخت هسته‌ای، به یک مگا ژول انرژی نیاز است (همان مقدار لازم برای کار تلویزیون در سه ساعت)، اما این انرژی باید در طول ده نانوثانیه (10^{-9}) به سوخت منتقل شود. این مقدار برابر صد تراوات (10^{12}) است. تولید و کنترل پالس‌های توان بالا و پرقدرت الکترومغناطیسی، نوعی فناوری پیشرفته و پیچیده به شمار می‌رود [۱۲و۱۳].

یک پالس الکترومغناطیس در مقیاس بزرگ می‌تواند از یک انفجار هسته‌ای بزرگ در جو به وجود آید. این روش به‌عنوان پالس الکترومغناطیس با توان بالا نامیده می‌شود [۱۴و ۱۵]. نمونه‌های مشابه پالس توان بالای الکترومغناطیسی در مقیاس کوچکتر، می‌توانند بدون استفاده از دستگاه‌های هسته‌ای و یا مواد رادیواکتیو ایجاد شوند. این روش مایکروویو/میکروویو توان بالا نامیده می‌شود. برای تولید این پالس‌ها اغلب از ژنراتور مارکس، بار غیرخطی یا دیود و خط انتقال هم‌محور استفاده می‌شود. خطوط انتقال، توانایی تغییر شکل پالس موردنظر را دارند. افزون بر این، بارهای غیرخطی و کلیدهای خاصی نیز در سیستم تولید پالس پرقدرت الکترومغناطیسی استفاده می‌شوند که می‌توانند به‌نوبه‌ی خود به تولید و شکل‌دهی پالس مطلوب کمک کنند. عوامل بسیاری ازجمله ساختار هندسی خط، ثابت دی‌الکتریک، ظرفیت شکست الکتریکی و همچنین عوامل خارجی مانند امپدانس بار و نوع آن، روی شکل EMP خروجی و بازده خط مؤثر هستند [۱۶].

برای طراحی یک خط انتقال با خروجی مطلوب از نظر شکل ظاهری پالس توان بالا، مقدار ولتاژ و توان خط لازم است ابتدا متغیرهای و پارامترهای تأثیرگذار بر خروجی و شکل پالس شناسایی شوند. در ادامه این مقاله تأثیر هر یک از پارامترها بر روی شکل پالس ولتاژ خروجی بررسی و شبیه‌سازی می‌گردند. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA[3]) پارامترهای خط شکل‌دهی پالس بلوملین (BFPL[4]) طراحی و بهینه‌سازی می‌شود. دلیل استفاده از این الگوریتم میزان دقت و اعتبار آن و سهولت بکارگیری آن در نرم‌افزار است. متغیرهای مسئله بهینه‌سازی مورد نظر، پارامترهای اجزای اصلی مدار ازجمله مولد مارکس، کلید، بار غیرخطی و پارامترهای فیزیکی خط ازجمله طول، شعاع، دی‌الکتریک و امپدانس بار هستند. در انتها برای تأیید صحت نتایج طراحی و سنجش درستی آن، خروجی خط طراحی‌شده با خروجی ایده‌آل و خروجی نرمال یک خط واقعی مقایسه می‌شود.

۲- مدل‌سازی BPFL

استفاده از انواع سری و موازی BPFL در مقایسه با PFL های معمولی دارای این مزیت هستند که می‌توانند خطوط مناسب‌تر و صاف‌تری تولید نمایند [۱۷]. در سامانه‌های مولد پالس EMP اغلب از یک ژنراتور مارکس برای شارژ BPFL استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای بررسی و مدل‌سازی BPFL به کار گرفته می‌شوند [۱۸و۱۹].

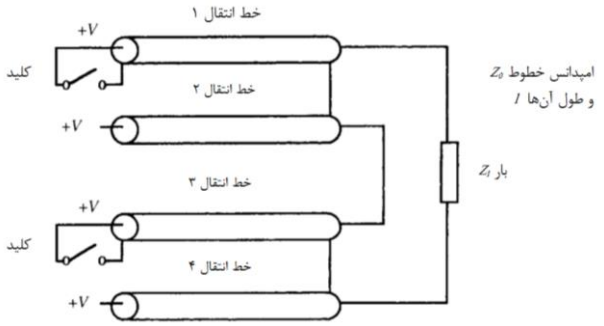
در این مقاله با استفاده از کنترل پدیده انعکاس موج ولتاژ در خطوط انتقال این خط مدل می‌گردد. در این روش، موج منتشرشده در طول خط با برخورد به قسمت انتهای خط به سه حالت مختلف منعکس می‌شود. این حالت‌ها عبارت‌اند از حالت تطبیق امپدانس، حالت اتصال

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter 2018

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]

کوتاه و حالت اتصال باز. در حالت تطبیق امپدانس موج ارسال‌شده، هیچ برگشتی ندارد. در حالت اتصال کوتاه، ولتاژ نقطه اتصال کوتاه صفر است درنتیجه موج با علامت منفی برمی‌گردد. اما در حالت اتصال باز، ولتاژی با همان دامنه و علامت برمی‌گردد. در این حالت ولتاژ این نقطه برابر ولتاژ پالس است. برای جلوگیری از تداخل امواج باید مشخصات BPFL به‌گونه‌ای انتخاب شود که طول پالس خروجی، کوچک‌تر از طول پالس موج ولتاژ شارژ شده اولیه باشد. از این حالت‌ها برای تطبیق امپدانس و معکوس سازی پالس‌ها نیز استفاده می‌شود. نمای BPFL به‌صورت ساده با ترکیبی از خط، کلید و بار در شکل (۱) ترسیم‌شده است[20]. قابلیت ساخت این سامانه بر روی PCB نیز وجود دارد [21].



شکل (۱): ترسیم ساده‌ای از خط شکل‌دهی پالس BPFL دوحالتی

۲-۱- تأثیر پارامترهای مختلف BPFL بر پالس خروجی

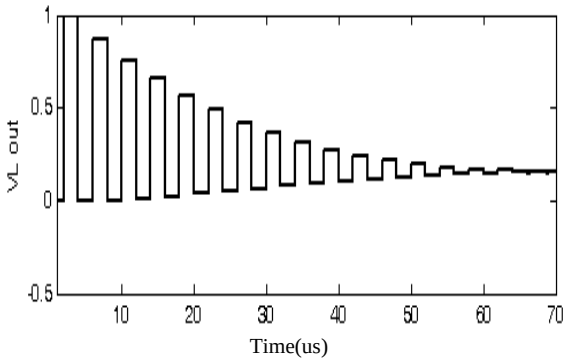
پالس EMP مورد انتظار با تغییر پارامترهای BPFL تغییر می‌یابد [۲۲]. عمده این تغییرات در اثر تغییر بار غیرخطی، دی‌الکتریک داخل خط، شعاع هادی‌ها و طول خطوط است. در این قسمت ضمن معرفی هر یک از این پارامترها، تأثیر اغتشاش آن‌ها بر توپولوژی پالس ولتاژ خروجی بررسی می‌شود [۱۷]. فرض کلی در مدل‌سازی این است که هیچ‌گونه پیش‌داوری نسبت به متغیرها و اهمیت آن‌ها وجود ندارد. با این فرض لازم است همه‌ی متغیرها از لحاظ اهمیت مورد بررسی قرار گیرند.

اثر بار غیرخطی متغیر بازمان

در BPFL منظور از بار غیرخطی متغیر بازمان، دیودی با امپدانس مشخصه زیر است [12]:

$$Z = \frac{427}{\sqrt{V}}\left(\frac{d^2}{A}\right) \quad (\Omega) \qquad (۱)$$

که در آن Z امپدانس دیود، A مساحت کاتد، d اندازه شکاف کاتد-آند، V ولتاژ اعمال‌شده به شکاف برحسب مگاولت (MV) است. بااتصال این دیود به BPFL، مقدار امپدانس بار با ولتاژ دو سر آن از رابطه غیرخطی متغیر بازمان (۱) پیروی خواهد کرد. حال برای بررسی بیش‌تر تأثیر این امپدانس بر ولتاژ خروجی BPFL رسم می‌شود.

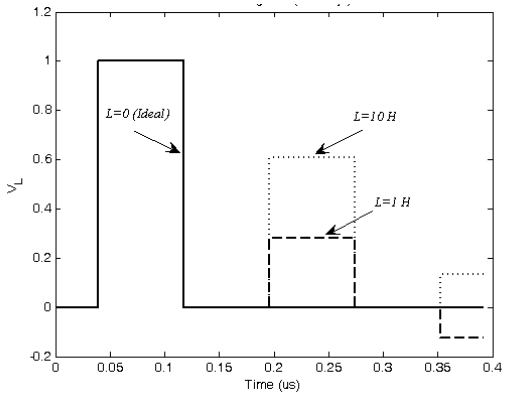


شکل (۲): ولتاژ بار برای امپدانس غیرخطی

همان‌گونه که دیده می‌شود، ولتاژ خروجی، پالس‌هایی تکراری با مقدار نرمال‌شده متناوب می‌باشند. به عبارتی موج در طول خط حالت رفت‌وبرگشتی دارد. زمان هر دوره تناوب، متناسب با سرعت حرکت موج در سیال و همچنین طول خط است.

اثر بار سلفی

در شکل (۲) بار غیرخطی Z به‌صورت امپدانس مقاومتی خالص در نظر گرفته‌شده است. حال اگر امپدانس بار به‌صورت مقاومتی- سلفی باشد، ولتاژ انعکاس ابتدای خط و ولتاژ خروجی BPFL به‌صورت شکل (۳) خواهد بود. این شکل موج نشان می‌دهد با افزایش مقدار سلف، پالس از حالت ایده‌آل خارج می‌شود.



شکل (۳): تأثیر امپدانس سلفی در ولتاژ خروجی

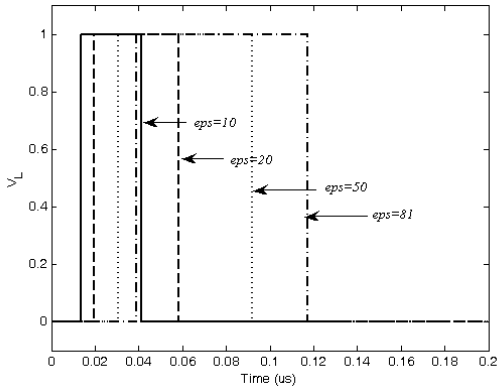
اثر تغییر ثابت دی‌الکتریک محیط واسط

همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شد، BFPL از چند خط معمولی یا هم‌محور تشکیل‌شده است. هر یک از این کابل‌ها از دو هادی هم‌محور و دی‌الکتریک داخل آن‌ها تشکیل‌شده‌اند.

پارامتر ثابت دی‌الکتریک (ε)، یکی از پارامترهای اساسی در طراحی BPFL است. این پارامتر به‌طور صریح مقدار سرعت موج در سیال و زمان انتقال پالس یا به عبارتی ثابت زمانی را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. ازاین‌رو انتظار داریم با تغییر ε در خط انتقال ایده‌آل، زمان

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

سیر موج در طول خط و طول پالس تغییر کنند. شکل (۴)، این مطلب را به‌طور واضح بیان می‌کند.



شکل (۴): تأثیر تغییر پارامتر ثابت دی‌الکتریک بر ثابت زمانی پالس خروجی

تأثیر شعاع هادی‌ها

در این قسمت تأثیر تغییر شعاع هادی‌ها بر ولتاژ خروجی بررسی می‌شود. با توجه به این‌که مقدار امپدانس هر خط با لگاریتم نسبت شعاع هادی‌های به‌صورت زیر است [11]:

$$Z_1 = 60\sqrt{\mu_r / \varepsilon_r}\,.\,\ln(r_2 / r_1)$$

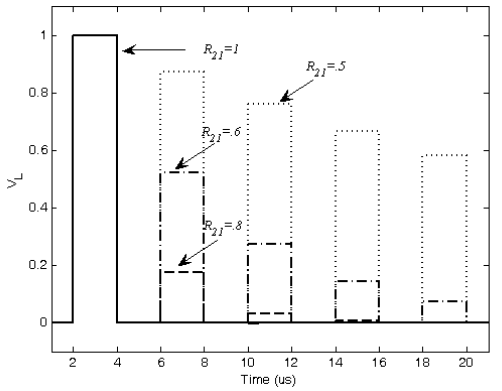
$$Z_2 = 60\sqrt{\mu_r / \varepsilon_r}\,.\,\ln(r_3 / r_2)$$

که در r_1 و r_2 شعاع بیرونی و درونی هادی خارجی و r_2 و r_3 همین مقادیر برای هادی داخلی در خط انتقال می‌باشند. همچنین برای تطبیق یک خط با امپدانس‌های متفاوت باید مقدار امپدانس بار برابر مجموع مزدوج مختلط امپدانس‌های دو خط باشد.

$$Z_c = Z_1 + Z_2$$

$$Z_{L_match} = Z_c$$

ازاین‌رو انتظار داریم با تغییر نسبت شعاع هادی‌ها به یکی از حالت‌های تطبیق امپدانس نزدیک شویم. شکل (۵) تغییر ولتاژ بار نسبت به تغییر (r_2 / r_1) را نشان می‌دهد.



شکل (۵): تغییر رفتار ولتاژ بار نسبت به تغییر نسبت شعاع $R_{21} = (r_2 / r_1)$

به‌طور مشابه تغییر نسبت (r_3 / r_2) همین رفتار را برای خروجی خواهد داشت. شکل (۵) نشان می‌دهد که در حالت تطبیق امپدانس برای ایجاد پالس ایده‌آل زمانی اتفاق می‌افتد که نسبت طول خطوط به یکدیگر برابر یک باشد. با افزایش این نسبت به نمایش شکل (۲) نزدیک می‌شود.

تأثیر تغییر طول خطوط

یکی دیگر از پارامترهای موجود در طراحی خط انتقال بلوملین طول خط است. با توجه به این‌که مقدار اثر خازنی هر خط با طول خط نسبت مستقیم دارد و این نسبت در رابطه

$$C_1 = l_1\sqrt{\varepsilon_r} / Z_0 c$$

$$C_2 = l_2\sqrt{\varepsilon_r} / Z_0 c$$

$$C = C_1 + C_2$$

نشان داده‌شده است، که در آن c سرعت نور و C_i ظرفیت خازن متناسب با خط است. افزون بر آن با توجه به تأثیر مقدار خازن خط در رفتار مدارهای معادل با تلفات و بدون تلفات، انتظار داریم تغییر طول در ولتاژ تخلیه بلوملین نیز مؤثر باشد. در این صورت بهترین حالت می‌تواند تساوی دو خط باشد.

۳- طراحی و شبیه‌سازی

در این قسمت مسئله طراحی BPFL موردتوجه قرار می‌گیرد [۱۶]. متغیرهای مسئله طراحی چهار پارامتر BPFL یعنی طول خطوط، شعاع آن‌ها، مقدار بار و دی‌الکتریک است. برای تأیید کارایی طراحی چند معیار تعریف می‌شود:

۱. زمان گذرا (نانوثانیه): زمانی که تغییرات پالس صفر می‌شود. هر چه این زمان کمتر باشد، به حالت بهینه نزدیک‌تر است.
۲. بازده انرژی (درصد): مقدار انرژی تلف‌شده را نشان می‌دهد. نزدیک شدن به صد درصد حالت بهینه مسئله است.
۳. ضریب تبدیل ولتاژ (بدون بعد): این معیار در حالت بهینه باید نزدیک یک باشد.

در این تحقیق برای بهینه‌سازی از GA و نرم‌افزار MATLAB استفاده شده‌است. عملگرهای تولید مثل[۵] و جهش[۶] و از تابع هزینه جریمه برای شناسایی میزان نزدیک شدن جواب‌های تولید شده توسط الگوریتم به پالس ایده‌آل بهره‌گیری شده است. این الگوریتم به لحاظ قدرت تکنیکی و شناسایی نقطه بهینه سراسری، یکی از بهترین الگوریتم‌های و کاربردی جامعه مهندسی امروز است. نقطه کلیدی و حساس این تحقیق استفاده از این الگوریتم در یافتن پاسخ‌های بهینه است. نتایج بهینه‌سازی برای پارامترهای یک خط واقعی انجام‌شده است. جدول (۱) معیارهای موردنظر را برای مسئله بهینه‌سازی کامل و مسائل زیر بهینه که با پارامترهای کمتر انجام‌شده، مقایسه می‌کند.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]

جدول (۱): مقایسه نتایج بهینه‌سازی برای مسائل مختلف

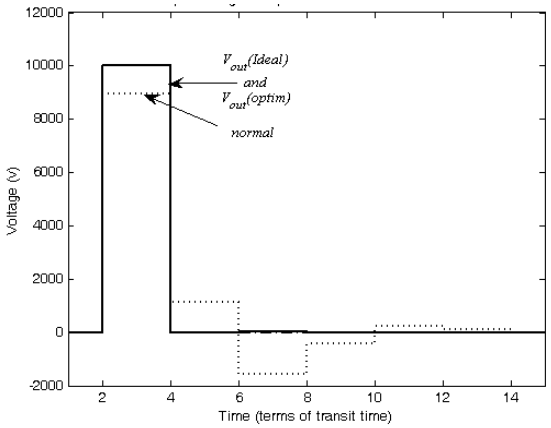
نوع مسئله	زمان گذرا (ns)	بازده انرژی (٪)	ضریب تبدیل ولتاژ
بدون بهینه‌سازی	6.1505	95.2896	0.89384
دی‌الکتریک	8.8549	98.8866	1.09255
طول خطوط	6.1505	95.8873	1.03439
شعاع خطوط	6.1505	95.9991	1.00225
بار	6.1505	98.8872	1.09284
تمام موارد	7.7933	99.9991	1.0013

مقایسه نتایج مندرج در جدول (۱) نشان می‌دهد که نگاه کلی و جامع‌نگر به متغیرها تأثیر بهتری از جداسازی و بررسی تک وجهی آن‌ها دارد. افزون بر آن نشان می‌دهد که ضریب دی‌الکتریک در تغییر زمان انتقال بسیار مؤثرتر از پارامترهای دیگر است. تغییر پارامترهای طول خطوط، شعاع آن‌ها، بار و دی‌الکتریک تأثیر بیش‌تری در کنترل ولتاژ خروجی از تغییر پارامتر طول خط‌دارند. همچنین بهینه‌سازی پارامترها باعث افزایش بازده انرژی تا حدود ۱۰۰ درصد و نزدیکی ضریب تقویت ولتاژ به مقدار واحد می‌گردد. پس از بهینه‌سازی، با کاربرد پارامترهای به‌دست‌آمده از مسئله بهینه‌سازی، خروجی BPFL را برای حالت‌های ایده‌آل، بهینه و بدون بهینه‌سازی در شکل (۶) مقایسه می‌نماییم.

این مقایسه نشان می‌دهد که بهینه‌سازی با GA خروجی BPFL را تا حد ایده‌ال بالابرده و یک پالس EMP بسیار صاف تولید کرده است.

۴- نتیجه‌گیری

پالس‌های پرقدرت EMP افزون بر کاربردهای فراوان در صنایع، زیست‌محیطی و نظامی، در افزایش سطح و کیفیت زندگی بشر بسیار مفید هستند. ساخت و تولید این پالس‌ها در سطوح مختلف انرژی و توان انجام‌شده است[23]. به همین ترتیب شبیه‌سازی عملکرد آن در حالت‌های گوناگون راهبرد بسیاری مناسبی برای بهینه‌سازی و ساخت مؤثرتر آن خواهد بود[25-24].



شکل (۶): ولتاژ خروجی BPFL برای حالت‌های ایده‌آل (-.) و طراحی بهینه (-) و معمولی (...)

برای تولید باکیفیت این‌گونه پالس‌ها استفاده از BPFL توصیه می‌گردد. با تغییر مشخصات فیزیکی خط و دی‌الکتریک آن می‌توان به انواع جالبی از پالس‌ها با اندازه‌ها و طول‌موج‌های گوناگون دست‌یافت. در این مقاله تأثیر اغتشاش‌های مختلف بر هر یک از این پارامترها شبیه‌سازی شد. هرچند ممکن است بسیاری از متغیرهای شناسایی شده در این مقاله بدیهی به‌نظر ایند، اما فرآیند مدل‌سازی حکم می‌کند بدون هیچ‌گونه پیش‌داوری نقش و اهیمت همه آن‌ها بررسی گردد. نتایج نشان می‌دهند که بار سلفی اثر نامطلوبی بر خروجی ایجاد می‌نماید. پارامتر ثابت دی‌الکتریک اثر شدیدی بر طول پالس دارد. نسبت شعاع هادی‌ها به یکدیگر نزدیک شدن به حالت تطبیق امپدانس را در پی دارد. همچنین برای رسیدن به پالس صاف و ایده‌آل باید طول خطوط هم‌اندازه باشند. استفاده از GA برای طراحی و بهینه‌سازی پارامترهای BFPL نتیجه بسیار مثبتی در مقدار دستیابی به راندمان و ضریب تبدیل ولتاژ مناسب دارد. در مقایسه خط طراحی‌شده با GA، خط واقعی و پالس ایده‌آل نزدیک بودن طراحی به مقدار ایده‌آل و برتری مناسب آن نسبت به خط واقعی را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] M. Abdelsalam; Y. Eyss, "Pulsed magnetic energy storage for space applications," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 23, no. 2, pp. 533 - 536, 1987.

[2] A. H. El-hag, S.H jayaram, M,W Griffiths, "inactivation of naturally grown microorganisms in orange juice using pulsed electric fields," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 34, pp. 1413-1415, 2005.

[3] C. E. Pollock, "Electromagnetic Effects on the Natural Hydrodynamic Instability of Stretching, High Velocity Metallic Jets," in Proceedings of Mega gauss VI, Mega gauss Magnetic Field Generation and Pulsed Power Applications, Nova Science Publishers, 1994.

[4] K. L. Felch, B. G. Danly, H. R. Jory, K. E. Kreischer, W. Lawson, B. Levush, R. J. Temkin, "Characteristics and Applications of Fast-Wave Gyrodevices," Proc. of the IEEE, vol. 87, 1999.

[5] M. Fincan, "Processing Fluid foods with high intensity pulsed electric field," M.Sc. thesis, Lund Institute of Technology, 1998.

[6] E. J. M. Heesch, "Pulsed corona for gas and water treatment," in 11th IEEE International pulsed power conf..

[7] T. H. G. G. Weise, M. J. Löffler, "Overview on Pulsed Power Applications. In Germany," in the International Conference on Pulsed Power Applications, Gelsenkirchen, Germany, 2001.

[8] H. Inoue, I. V. Lisitsyn , H. Akiyama, I. Nishzawa, "Drilling of Hard Rocks by pulsed power," IEEE Electer. Insul. Mag., vol. 16 .

[9] E. Schamiloglu, " High Power Microwave Sources and Applications," IEEE MTTs, 2004.

[10] R. J. Baker, J. H. Broske, N. C. Luhman, G. S. Nusinovich, Modern Microwave and Millimeter wave Power Electronics, Piscataway: IEEE Press, 2004.

[11] S. T. Pai, Q. Zhang, Introduction to High Power Pulse Technology, World Scientific, 1995.

[12] A. Charlton, P. Ewart, A. Simple, "High Power,

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

Nanosecond Pulse," Optics Communications, vol. 50, no. 4, pp. 241-244, 1984.

[13] P. W. Smith, Transient electronics pulsed circuit technology, John Wiley & Sons, 2002.

[14] C. Wilson, "high altitude electromagnetic Pulse (HEMP) and high power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessment," US Congress, 2007.

[15] S. W. Lim; S. Katsuki; Y. S. Jin; C. Cho; Y. B. Kim, "Nanosecond High-Voltage Pulse Generator Using a Spiral Blumlein PFL for Electromagnetic Interference Test," IEEE Transactions on Plasma Science , vol. 42, no. 10 , pp. 2909-2912, 2014.

[16] B. M. Novac; M. Wang; I. R. Smith; P. Senior, "A 10 GW Tesla-Driven Blumlein Pulsed Power Generator," IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 42, no. 10 , pp. 2876 - 2885, 2014.

[17] J. Oh; J. Rhee; C. Lee; K. Ko; J. Kim, "Numerical analysis and experiment of Blumlein-nonlinear transmission line," in IEEE Pulsed Power Conference (PPC), 2015 .

[18] M. Twati, "A Novel Distributed Parameter Model of a Blumlein-Line Laser Circuit Including the Effect of Time Varying Spark-Gap Inductance and Resistance," in 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2014.

[19] A. I. Pushkarev; Y. I. Isakova; I. P. Khaylov, "Improvement in the performance statistics of a Blumlein in double pulse mode," in IEEE International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS), 2014.

[20] Haddad, A., D.F. Warne, Advances in High Voltage Engineering, IET, 2004.

[21] Y. Mi; J. Wan; C. Bian; Y. Zhang; C. Yao; C. Li, "A Multiparameter Adjustable, Portable High-Voltage Nanosecond Pulse Generator Based on Stacked Blumlein Multilayered PCB Strip Transmission Line,," IEEE Transactions on Plasma Science, no. 99, pp. 1 - 8, 2016.

[22] J. L. Korioth, "A Computational Analysis of Stacked Blumlein Pulse Generators," PhD Thesis, Univ. of Texas, 1998.

[23] جلالی تهمینه، بررسی موجبر جداکننده توان بهینه بلور فوتونی، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۳، شماره ۴، ۱۳۹۵.

[24] عریضی ه.، سلامی ا. و چایچی زاده م.، بهینه سازی و افزایش پهنای باند پیوننده خط شاخه ای موجبری محتمع شده در زیر لایه به روش حداقل، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۲، شماره ۲، ۱۳۹۴.

[25] دل آرام س.، حاج قاسم ح. و عرفانیان ع. و علی احمدی م.، طراحی،شبیه سازی و ساخت سوئیچ خازنی RFMEMS بر روی بستر آلومینا، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال ۱۲، شماره ۲، ۱۳۹۴.

زیرنویس‌ها

[1] EMP: Electro-Magnetic Pulse

[2] Pulse Power

[3] GA: Genetic Algorithm

[4] BPFL: Blumlein Pulse Forming Lines

[5] Crossover

[6] Mutation

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.22.3]