

VOL.17 / ISSUE 1/ SPRING 2024/ (NO. 60) Print ISSN: 2008-4560 / Online ISSN: 2423-4516 DOI:10.22034/JSST.2024.1440





Pages: 37-48/ Research Paper / Submit: 5 May 2023/ Accepted: 19 June 2023

Available in:htto://jsst.ias.ir

## Increasing the Efficiency and Reliability of the High-Power Supply with the Application of TWTA Lamps

Payman Mohammadi<sup>1\*</sup> <sup>(0)</sup>, Mahdi Alemi Rostami <sup>2</sup> <sup>(0)</sup>

1- PhD, Student, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology, Tehran, Iran 2- Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology, Tehran, Iran \*Corresponding Author's E-Mail: pa.mohammadee@gmail.com

#### Abstract

One of the most important issues related to the power supply of TWTA (traveling-wave-tube amplifier) lamps is have low ripple, high efficiency, high reliability and optimal volume and weight, and so on. In this article, the efficiency and reliability of high voltage DC/DC converter is optimized for use in TWTA systems. The goal of optimization using multi-objective genetic algorithm (NSGA-II) in this article is to minimize the objective function, which includes efficiency and reliability. Markov model is used to evaluate reliability, in which short-circuit and open-circuit errors are considered for circuit switches and diodes, and short-circuit errors are considered for passive circuit elements. For optimization, the input variables of the algorithm are determined as the input of the objective function, so that with the help of sensitivity analysis, the parameters that have low sensitivity and their changes do not have a major impact on the objective function, the number of populations, and the probability of intersection and mutation, have been determined for accurate calculation of circuit variables. In this method, in addition to maintaining high efficiency, with the optimal selection of elements, high reliability can be achieved for this converter.

Keywords: HVDC converter, Reliability, Efficiency, Genetic algorithm, Markov model.

#### 1. Introduction

Today, the use of high voltage power sources is widely used in various industries. Among these applications, we can mention photovoltaic arrays [1], electrostatic precipitators [2], X-ray and laser power sources [3], vacuum lamp modulators [4] and pulse applications.

In recent years, optimization and efficiency of DC/DC switching converters have been widely studied, and various control strategies have been proposed to increase converter efficiency and improve efficiency [2]-[4] In some articles, new hardware topologies are presented in order to improve converter efficient [5]. Another important criterion in the design of converters is increasing reliability or effective life span. In some applications such as telecommunication systems or space systems, it is very important to use a power source with high reliability.

Because the power supply provides the required electrical power of the system and in case of failure, it causes the entire system to fail. Therefore, efforts have always been made to improve the reliability of these converters. The converter components under investigation include a boost converter, a full-bridge inverter controlled by the phase shift method, a resonant series-parallel converter after the inverter in order to combine the dispersion elements to reduce switching losses by soft switching and increase efficiency, and a transformer and output rectifier (Fig 1).



Fig. 1. High voltage converter circuit used in satellite.

**COPYRIGHTS** 

© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of <u>the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)</u>

How to cite this article:

P. mohammadi and M. Alemi Rostami." Increasing the Efficiency and Reliability of the High-Power Supply with the Application of TWTA Lamps," *Journal of Space Science and Technology*, vol. 17 no. 1, pp. 37-48, 2024 (in Persian).

38 Journal of Space Science and Technology Vol. 17 / Issue.1/ SRRING 2024/ No. 60

#### 2. Reliability

The reliability of electronic-power converters can be defined as the probability of satisfactory performance of the converter for a certain period of time and under specified conditions. Markov model is used to analyze and evaluate the reliability of each part of the circuit and consider the effect of various errors on the reliability of the converter. According to the inherent fault tolerance in the desired converter, three operational modes can be realized. According to the proposed Markov model in Fig2, reliability is calculated according to Equation 1:



Fig2. Reliability graph of different circuit components.

Converter variables such as the value of inductance and capacitors, switching frequency of the first and second converter, DC link voltage and transformer conversion ratio are optimized by minimizing the following objective function:

$$OF = w_1(MTTF_d - MTTF_c) + w_2(1-\eta)$$
(2)

where the value of  $MTTF_d$  is the desired value that is selected for 40000 hours and  $MTTF_c$  is calculated in each iteration of the algorithm.

#### 3. conclusion

The purpose of this article is to optimize the parameters of the high voltage converter used in the TWTA section of space structures using genetic algorithm and multi-objective cost function and increase its reliability by Markov model. In this article, the cost function includes two parts: efficiency and reliability, which are two important parameters in the power sources of space structures. The value of the converter elements is considered in the range of the value obtained in the theory, then using the genetic algorithm, the cost function of equation 2 is analyzed and the goal is to minimize this cost function. The values corresponding to the minimum objective function for the duration of the first MTTF failure are about 20,000 hours and the efficiency value is 91%.



Fig 3. Reliability diagram for different powers.

 
 Table 1. High voltage converter failure rate equations in this article

Fault rate	Equation
$\lambda_{12}$	$(1-\alpha_s)\lambda_{sb}$
$\lambda_{13}$	$4(1-\alpha_s)\lambda_s$
$\lambda_{14}$	$(1-\alpha_D)\lambda_D$
$\lambda_{15}$	$\lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + \alpha_D \lambda_D + \lambda_{cb} + 4\alpha_s \lambda_s + 4\alpha_D \lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_c out$
$\lambda_{25}$	$\lambda_{25} = \lambda_{Lb} + (1 + \alpha_D)\lambda_D + \lambda_{cb} + 4\alpha_s\lambda_s + 4\alpha_D\lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_{c out}$
$\lambda_{35}$	$\begin{split} \lambda_{35} &= \lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + (1 + \alpha_D) \lambda_D + \lambda_{cb} \\ &+ (2 + \alpha_s) \lambda_s + (2 \\ &+ 2\alpha_D) \lambda_D + \lambda_{Ls} \\ &+ \lambda_{cs} + \lambda_T + 7 \lambda_{c \ out} \end{split}$
$\lambda_{45}$	$\lambda_{45} = \lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + (1 + \alpha_D)\lambda_D + \lambda_{cb} + (2 + 2\alpha_s)\lambda_s + (2 + \alpha_D)\lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_{c out}$

#### 4. References

- C. Zhang, S. Du and Q. Chen, "A novel scheme suitable for high-voltage and large-capacity photovoltaic power stations," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 9, pp. 3775-3783, Sept. 2013. doi:10.1109/TIE.2012.2208438.
- [2] S. N. Vukosavić, L. S. Perić and S. D. Sušić, "A novel power converter topology for electrostatic precipitators," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 31, no. 1, pp. 152-164, Jan. 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2405471
- [3] Jiann-Fuh Chen; Ren-Yi Chen; Tsorng-Juu Liang, "Study and Implementation of a Single-Stage Current-Fed Boost PFC Converter With ZCS for High Voltage Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 1, pp. 379-386, Jan. 2008. doi:10.1109/TPEL.2007.909283.
- [4] Barbi, T. ; Gules, R., "Isolated DC-DC converters with high-output voltage for TWT A telecommunication satellite applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 4, pp. 975-984, July 2003, doi: <u>10.1109/TPEL.2003.813762</u>.
- [5] S. H. Ahn, H. J. Ryoo, J. W. Gong and S. R. Jang, "Lowripple and high-precision high-voltage DC power supply for pulsed power applications," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 42, no. 10, pp. 3023-3033, Oct. 2014, doi: 10.1109/TPS.2014.2333813.



DOI:10.22034/JSST.2024.1440

ص. ص. ۴۸-۳۷/ مقاله علمی پژوهشی / دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵ / پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹ Available in:htto://jsst.ias.ir

# افزایش راندمان و قابلیت اطمینان منبع تغذیه توان

## بالا با کاربرد لامیهای TWTA

ییمان محمدی (\* 💿، مهدی عالمی ستمی 💿

۲-۲- پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران \*ايميل نويسنده مخاطب:pa.mohammadee@gmail.com

از مهمترین مسائل مربوط به تامین توان لامپهای TWTA در ماهوارهها داشتن ریپل پایین ، بازده بالا، قابلیت اطمینان بالا، حجم و وزن بهینه می باشد. در این مقاله راندمان و قابلیت اطمینان مبدل الکترونیک-قدرت DC/DC ولتاژ بالا برای کاربرد در سامانههای ماهواره و فرستنده آن بهینه می شود. هدف بهینهسازی، حداقل سازی تابع هدف که شامل راندمان و قابلیت اطمینان است به کمک الگوریتم ژنتیک چند هدفه (NSGA-II) می باشد. بهمنظور ارزیابی قابلیت اطمینان از مدل مارکوف استفاده می شود که در آن خطاهای اتصال کوتاه و مدار باز برای کلیدها و دیودهای مدار و خطای اتصال کوتاه برای المانهای پسیو مدار در نظر گرفته شده است. برای بهینهسازی ابتدا متغيرهای ورودی الگوریتم به عنوان ورودی تابع هدف تعیین می شوند تا به کمک آنالیز حساسیت پارامترهایی که دارای حساسیت پایینی هستند و تغییراتشان بر تابع هدف تاثیر عمده ندارد، حذف شوند. همچنین پارامترهای الگوریتم NSGA-II شامل تعداد تکرار، تعداد جمعیت و احتمال تقاطع و جهش برای محاسبه دقیق متغیرهای مدار، تعیین شدهاند. همان گونه که در بخش نتایج آورده شده است در این روش علاوه بر حفظ راندمان بالا با انتخاب بهينه المانها مي توان به قابليت اطمينان بالا براي اين مبدل دست يافت.

**واژههای کلیدی:** مبدل ولتاژ بالای DC، ، قابلیت اطمینان ، بازده ، الگوریتم ژنتیک، مدل مارکوف، لامپ توان بالا در ماهواره

L <sub>b</sub>	سلف Boost	اختصاري	علائم
Lm	اندوكتانس مغناطيس كنندكي	67	
Ls	سلف مبدل رزونانسى	Cb	خازن خروجي مبدل Boost
n, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7	نسبت ترانسفورماتور	$C_{f1}, C_{f2}, C_{f3}, C_{f4} C_{f5}, C_{f6}, C_{f7}$	خازن فيلتر خروجي
Pcon	توان تلفاتی هدایتی مسیر	C <sub>p</sub> , C <sub>s</sub>	خازن های مبدل رزونانسی
$P_D$ , $P_{Db}$ , $P_{Dr}$	توانهای تلفاتی دیودهای مبدل	D	دورہ کاری (Duty Cycle)
Ploss	توان تلفاتی کل	Db	ديود Boost
Ps, Psb, Ps-con, Ps-sw	توان،های تلفاتی کلیدهای مبدل	$f_{sb}$	فرکانس کلیدزنی Boost
PT, PT-h, PT-e, PT-con	توان،های تلفاتی ترانسفورماتور	$\mathbf{f}_{\mathbf{s}}$	فرکانس کلیدزنی Full Bridge
Pout	توان خروجي	IC4, IC3, IC2, IC1, IA0, IH1x, IA1	جریانهای بار خروجی
RC4. RC3. RC2. RC1. RA0. RHIX. RA1	مقاومتھای بار خروجی میدل	ILs	جريان خروجي اينورتر

۲. استادیار

مقاومتهاي بار خروجي مبدل

۱. دانشجوی دکتری(نویسنده مخاطب)

ISSI

© 2024 by the authors. Published by Aerospace Research Institute. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

## ♦ \ فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی دورهٔ ۱۷ / شمارهٔ ۱ / بهار ۱۴۰۲ ( پیاپی ۶۰)

S <sub>b</sub>	کلید مبدل Boost
S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub>	کلیدهای اینورتر
Vb	لتاژ خروجي Boost
$V_{C4}$ , $V_{C3}$ , $V_{C2}$ , $V_{C1}$ , $V_{A0}$ , $V_{Hlx}$ , $V_{A1}$	لتاژهای خروجی مبدل
Vin	لتاژ ورودى
$\mathbf{V}_{\mathrm{inv}}$	لتاژ خروجي اينورتر
V <sub>out</sub>	لتاژ خروجي
V <sub>ref</sub>	لتاژ مرجع
η	ازده مبدل

#### مقدمه

امروزه کاربرد منابع تغذیه ولتاژ بالا در صنایع مختلف بسیار گسترده شده است. از جمله این کاربردها می توان به آرایههای فوتوولتائیک [۱]، رسوبدهندههای الکترواستاتیک [۲]، منابع تغذیه اشعه X و لیزر [۳]، مدولاتورهای لامپهای خلاً [۴] و کاربردهای پالسی [۵] و غیره اشاره کرد.

در سالهای اخیر، بهینهسازی و راندمان مبدلهای سوئیچینگ DC/DC بهطور گسترده مورد تحقیق و مطالعه قرار گرفته است و استراتژیهای کنترلی مختلفی برای افزایش راندمان مبدل و در نتیجه بهبود کارایی کل سیستم پیشنهاد شده است [۶] در برخی از مقالات توپولوژیهای سختافزاری جدید بهمنظور بهبود راندمان مبدل ارائه شده است [۷].

یکی دیگر از شاخصهای مهم در طراحی مبدلها، افزایش قابلیت اطمینان یا طول عمر موثر است. در برخی از کاربردها مانند سیستمهای مخابراتی یا سامانههای فضایی، استفاده از منبع تغذیه با قابلیت اطمینان بالا بسیار حائز اهمیت است. زیرا منابع تغذیه توان الکتریکی مورد نیاز کل سیستم را تامین میکند و در صورت خرابی، باعث از کار افتادن کل سیستم میشود [۸]. بنابراین، همواره تلاشهایی بهمنظور بهبود قابلیت اطمینان این مبدلها صورت گرفته است. در [۹] پیشبینی قابلیت اطمینان و مدل سازی ترانزیستورهای IGBT و MOSFET توان بالا مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند.

در [۱۰] یک مدل قابلیت اطمینان برای مبدل AC/DC ایزوله فرکانس بالا بهمنظور استفاده در ایستگاههای شارژ VV ارائه شده است. در [۱۱] مقایسهای بین مبدل صنعتی AC/DC با کلیدزنی سخت و کلیدزنی نرم LLC انجام شده است که نشان دهنده افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان درمقایسه با کلیدزنی سخت میباشد. در [۱۲]، بر اساس ایده مدولاسیون تک قطبی، یک استراتژی مدولاسیون برای مبدل AC/DC ارائه شده است که بهطور کامل افزایش ولتاژ را حذف میکند و عملیات کلیدزنی نرم را تحقق میبخشد. این استراتژی مدولاسیون پیشنهاد شده، عملکرد ایمن و قابل اطمینانی را برای مبدل فراهم میکند. براساس مطالعات انجام شده ادوات نیمههادی مانند دیود و ترانزیستورهای IGBT و

MOSFET در مبدلهای سوئیچینگ آسیب پذیرترین اجزای مبدل هستند که تهدیدی بالقوه برای قابلیت اطمینان می باشند. از آنجایی که کلیدها نقش مهمی در مبدلهای الکترونیک- قدرت دارند، می توان با افزایش قابلیت اطمینان کلیدهای قدرت با استفاده از انتخاب بهینه اجزا و عملیات کلیدزنی نرم و غیره، قابلیت اطمینان کل مبدل را افزایش داد [۱۳].

روشهاى مختلفى بهمنظور ارزيابى قابليت اطمينان مبدلهاى قدرت [10]-[۱۴] ارائه شدهاند. مدل مار کوف به عنوان یک راه حل برای پیشبینی قابلیت اطمینان مبدل های الکترونیک-قدرت و ارزیابی سیستمهایی با قابلیت تحمل پذیری خطا، مورد استفاده قرار می گیرد [۱۶]. با استفاده از این مدل میتوان بسیاری از ویژگیهای سیستم با قابلیت افزونگی مانند تعداد خرابیها، ناحیهای که خرابی را پوشش ميدهد و نرخ خرابي كه وابسته به حالتها مي باشد را در أن لحاظ كرد. در [۱۷] قابلیت اطمینان مبدل بوست Interleaved DC-DC با استفاده از مدل مارکوف ارزیابی و نتایج با مبدل بوست معمولی مقایسه شده است. همچنین یک الگوریتم کنترل تطبیقی بهمنظور افزایش طول عمر مبدل DC-DC با حفظ راندمان بالا و کاهش هزینه طراحی شده است. نتایج بهدست آمده، عملکرد بهینه این روش کنترلی را نشان میدهد، بهطوری که افزایش MTTF موجب کاهش راندمان نشده است. در [۱۸] ساختار DC-DC جدید برای کاربردهای با قابلیت اطمينان بالا و ارزيابي قابليت اطمينان با استفاده از زنجيره ماركوف انجام شده است که بهبود شاخص قابلیت اطمینان و قابلیت تحمل خطا برای مبدل پیشنهادی در پاسخ به خرابی سوئیچها را نشان میدهد.

در [۱۹] یک مدل مارکوف جامع بهمنظور مطالعه عملکرد قابلیت اطمینان مبدلهای DC-DC ایزوله با مدولاسیون عرض پالس شامل ساختار DC-DC پل کامل، نیم پل و پوش-پول پیشنهاد شده است که در آن تاثیر خطاهای اتصال کوتاه و مدار باز المانهای مدار در نظر گرفته شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی تاثیرات دوره کاری، توان خروجی، نسبت تبدیل ترانسفورمر و بهره ولتاژ برای مبدل در مد گسسته و پیوسته ارزیابی شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش توان خروجی باعث کاهش قابلیت اطمینان شده است.

همچنین تحقیقات محدودی در زمینه بهینهسازی چند هدفه مبدلهای الکترونیک قدرت صورت گرفته است. در [۲۰] راندمان، کیفیت توان، ابعاد و هزینه ساخت به عنوان پارامترهای تابع هدف برای مبدل AC/DC لحاظ و بهینهسازی به کمک الگوریتم مدرن چند هدفه انجام شده است. در [۲۱] یک ساختار ریزشبکه هیبریدی AC/DC معرفی و توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه (NSGA-II) بهینه شده است.

در مراجع مطالعه شده بهطور همزمان بهینهسازی چند هدفه به کمک الگوریتم ژنتیک و ارزیابی قابلیت اطمینان به کمک مدل مارکوف برای مبدلهای ولتاژ بالا با کاربرد لامپ توان بالای

فرستنده ماهواره انجام نشده است. نوآوری این مقاله بهینهسازی پارامترهای مبدل ولتاژ بالا مورد استفاده در بخش فرستنده سازههای فضایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تابع هزینه چند هدفه و افزایش قابلیت اطمینان آن توسط مدل مارکوف می باشد.

شکل ۱ نمایی کلی از مبدل مورد بررسی را نشان میدهد. پس از طراحی اولیه، دو کمیت راندمان و قابلیت اطمینان بهعنوان متغیرهای تابع هدف در نظر گرفته می شوند. سپس، پارامترهای مدار نظیر فرکانس سوئیچینگ هر مبدل، نسبت تبدیل ترانسفورمر، ظرفیت خازنهای مبدل اول و دوم، مقدار اندوکتانس مبدل اول و دوم به

عنوان ورودی تابع هدف تعیین میشوند تا به کمک آنالیز حساسیت پارامترهایی که دارای حساسیت پایینی هستند و تغییراتشان روی تابع هدف تاثیر عمده ندارد، حذف شوند. همچنین پارامترهای الگوریتم NSGA-II شامل تعداد تکرار، تعداد جمعیت و احتمال تقاطع و جهش برای محاسبه دقیق متغیرهای مدار، مشخص میشوند. سپس با استفاده از الگوریتم NSGA-II، مقادیر بهینه (در بخش نتایج آورده شده است) المانهای مدار جهت بهبود دو کمیت راندمان و قابلیت اطمینان، بهدست میآیند.



شکل ۱ – مدار مبدل ولتاژ بالای مورد استفاده در ماهواره

مراحل مختلف مقاله بدین شرح است: بخش دوم ساختار مدار بررسی و تحلیل، بخش سوم محاسبات راندمان، بخش چهارم تحلیل و بهدست آوردن معادلات قابلیت اطمینان، بخش پنجم بهدست آوردن مقادیر بهینه المانهای مدار توسط الگوریتم ژنتیک و در نهایت در بخش ششم نتایج حاصل از شبیهسازی آورده شده است.

## تشريح ساختار مبدل مورد بررسى

در مراجع مختلف ساختارهای گوناگونی برای منابع تغذیه ولتاژ بالا ارائه شده است. استفاده از یک مبدل مدار رزونانسی در ساختار مدار قدرت این مبدل علاوه بر اینکه عناصر پراکندگی ترانسفورماتور ولتاژ بالا (که مقادیر قابل توجهی است) را در خود تجمیع میکند امکان کلیدزنی نرم برای مبدل و در نتیجه کاهش تلفات کلیدزنی و افزایش قابلیت اطمینان را فراهم میسازد. در میان ساختارهای رزونانسی، مدار

رزونانسی سری- موازی (LCC) رفتار بهتری نسبت به سایر ساختارها از خود نشان می دهد [۲۲].

شکل ۱ ساختار ارائه شده در این مقاله بهعنوان منبع تغذیه TWTA استفاده شده در فرستنده ماهواره را نشان میدهد. اجزا مبدل مورد بررسی شامل یک مبدل Boost، یک اینورتر تمام پل کنترل شده به روش شیفت فاز، یک مبدل رزونانسی سری– موازی (LCC) بعد از اینورتر بهمنظور تجمیع عناصر پراکندگی برای کاهش تلفات کلیدزنی توسط کلیدزنی نرم و افزایش بازده و یک ترانسفورماتور و یکسوساز خروجی میباشد(شکل ۱).

مدار این شکل از قسمت های زیر تشکیل شده است:

منبع تغذیه ورودی: از آنجایی که منبع ورودی مبدل، پنلهای خورشیدی و باتری می باشد، منبع تغذیه ورودی یک منبع تغذیه DC متغیر است.

مبدل Boost: ولتاژ منبع تغذیه ورودی مبدل از ۲۲ تا ۴۴ ولت متغیر است. بنابراین برای تثبیت ولتاژ از یک مبدل Boost استفاده شده است. کنترل این مبدل بهروش PWM که ولتاژ خروجی مبدل را تنظیم می کند و همچنین استفاده از این مبدل باعث کاهش ریپل جریان ورودی می شود.

بعد از اینکه ولتاژ توسط مبدل Boost در مقدار مشخص تثبیت شد، از یک ساختار تمام پل برای تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC فرکانس بالا استفاده می شود. کلیدهای اینورتر تمام پل بهنحوی کنترل می شوند که ولتاژ خروجی مبدل را ثابت و در یک مقدار مشخص تثبیت کند. این کنترل بر اساس شیفت فاز انجام می شود.

در ترانسفورماتورهای ولتاژ بالا بهدلیل فواصل عایقی زیاد، مقدار اندوکتانس نشتی قابل ملاحظه خواهد بود. همچنین بهدلیل نسبت دور بالای آن، خازن پراکندگی که از سمت ولتاژ پایین دیده میشود مقدار قابل توجهی دارد. مقادیر این سلف و خازن به گونهای است که فرکانس رزونانس آنها در محدوده فرکانس سوئیچینگ مبدل قرار گیرد. در نتیجه میتوانند بر روی رفتار مبدل تاثیرگذار باشند و بازده و قابلیت اطمینان مبدل را افزایش دهند.

یک روش مناسب برای حذف مشکل عناصر پراکندگی ترانسفورماتور، استفاده از آنها در یک مبدل رزونانسی قبل از ترانسفورماتور است. مبدل رزونانسی سری نمیتواند خازن پراکندگی ترانسفورماتور را مدل کند. مبدل رزونانسی موازی هم رفتار مناسبی از نظر بازده در بار کم ندارد. گزینه بهتر مبدل LCC است که ضمن مدل کردن عناصر ترانسفورماتور، رفتار مناسبتری در بین مبدلهای رزونانسی از خود نشان میدهد

### محاسبات بازده مبدل

تلفات مبدل شامل موارد زیر است:

- تلفات کلیدها شامل تلفات هدایتی و کلیدزنی
- تلفات ترانسفورماتور شامل تلفات هیسترزیس و جریان فوکو در هسته و تلفات هدایتی سیم پیچها
- تلفات دیودهای موازی با کلیدها، دیود مبدل Boost و دیودهای یکسوکننده خروجی مبدل
  - تلفات هدایتی سلف مبدل Boost
    - تلفات هدایتی مسیر جریان

### تلفات كليدها:

تلفات هدایتی کلیدها از این رابطه محاسبه می شود: P<sub>S-con</sub>=R<sub>on</sub>I<sup>2</sup>ms (۱) در رابطه فوق R<sub>on</sub> مقاومت هدایتی کلید و Irms مقدار موثر جریان عبوری از کلید است.

تلفات کلیدزنی از انتگرال گیری از حاصلضرب جریان و ولتاژ کلید در طول زمان انجام سوئیچینگ بهدست می آید. رابطه زیر یک رابطه تقریبی برای محاسبه این تلفات است:

$$P_{S-sw} = \frac{1}{6} V_{on} I_{on} t_{on} f_s + \frac{1}{6} V_{off} I_{off} t_{off} f_s$$
(7)

در رابطه فوق  $V_{\rm off}$  و  $I_{\rm off}$  بهترتیب ولتاژ کلید بعد از خاموش شدن و جریان کلید قبل از خاموش شدن هستند.  $V_{\rm on}$  و  $I_{\rm on}$  بهترتیب ولتاژ کلید قبل از روشن شدن و جریان کلید بعد از روشن شدن هستند. ولتاژ کلید قبل از روشن شدن و خاموش شدن کلید و  $f_{\rm s}$  فرکانس کلیدزنی کلیدها هستند.

تلفات کل هر کلید از رابطه زیر محاسبه میشود: 
$$P_{S}=P_{s-con}+P_{s-sw}$$
 (۳)

### تلفات ترانسفورماتور:

از رابطه زیر محاسبه میشود:	تلفات ھيسترزيس
$P_{T-h} = K_h f_s B_m^{1.6}$	(۴)
طه $\mathrm{K}_{\mathrm{h}}$ ثابت هیسترزیس، $\mathrm{f}$ فرکانس و $\mathrm{B}_{\mathrm{m}}$ چگالی	که در این راب
ست.	شار بیشینه هسته ا
، گردابی نیز از رابطه زیر محاسبه میشود:	تلفات جريان
$P_{T-e} = K_e f_s^2 B_m^2$	(۵)
م ترانسفورماتور نیز از رابطه زیر محاسبه می گردد:	تلفات هدايتي
$P_{T-con} = R_T I_{rms}^2$	(۶)
ات کل ترانسفورماتور را میتوان این گونه بیان کرد:	در نتيجه تلفا
$P_T = P_{T-h} + P_{T-e} + P_{T-con}$	(Y)

#### تلفات ديود:

رابطه زیر میزان تلفات دیود را به دست میدهد:  

$$P_D = V_{on} I_{avg} + R_{on} I_{rms}^2$$
 (۸)  
از تلفات Reverse Recovery دیودها صرفنظر میکنیم.

#### تلفات هدایتی مسیرها و سلفها:

تلفات هدایتی برای سلف، مسیر هدایت جریان و بقیه المانها از رابطه زیر محاسبه میگردد:  $P_{con}=RI_{rms}^{2}$  (۹) (۹) Tible The second state and the secon

## قابليت اطمينان

قابلیت اطمینان مبدلهای الکترونیک-قدرت را میتوان بهصورت احتمال عملکرد رضایت بخش مبدل برای یک دوره زمانی معین (افزایش طول عمر) و در شرایط مشخص شده، تعریف کرد. برای تحلیل و ارزیابی قابلیت اطمینان هر قسمت از مدار و در نظر گرفتن اثر خطاهای مختلف بر قابلیت اطمینان مبدل، از مدل مارکوف استفاده می شود. با توجه به قابلیت تحمل خطای ذاتی در مبدل مورد نظر، سه حالت عملکردی به شرح زیر قابل تحقق است:

**الف)** حالت سالم: در این حالت، تمام اجزای مبدل در شرایط کارکرد سالم خود هستند و مبدل با ظرفیت کامل خود کار می کند.

ب) حالت کاهش یافته: در این حالت، یک یا چند المان در مبدل با خطاهای OC یا SC مواجه هستند و مبدل می تواند با ظرفیت عملیاتی کاهش یافته به کار خود ادامه دهد، توان خروجی کاهش می یابد و تنش های وارده بر روی المان های مبدل در مقایسه با حالت سالم افزایش می یابد. در چنین شرایطی، مبدل با قطع کامل توان خروجی مواجه نمی شود، بلکه توان خروجی کاهش می یابد.

ج) حالت جذب کننده: این حالت عملیاتی منعکس کننده خرابی کامل مبدل بدون توانایی انتقال توان به بار خروجی است. مثل خطای SC هر المان مدار، خطاهای OC اجزای یک پایه مانند D1-D2 یا [۱۹] یا خطاهای OC کلیدهای مکمل و یا دیودها مانند S1-S3 یا S1-D3 مبدل رخ می دهد.

با در نظر گرفتن اصول عملکرد مبدل مورد مطالعه در برابر خطاهای مختلف، مدل مارکوف آن در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن پنج حالت برای المانهای مبدل مشخص می شود. در این مدل، وضعیت فعلی مبدل فقط به حالت قبلی مربوط می شود و هیچ ارتباطی با حالتهای قبل تر ندارد. حالت اول و آخر به عنوان حالتهای سالم و جاذب تعیین می شود و حالت های ۴–۲ حالتهای کاهش یافته هستند.

در شکل ۲، <sub>زا</sub> $\lambda_{ij}$  نرخ خرابی مبدل از وضعیت i به j است که در جدول ۱ مشخص شده است. در این جدول،  $\lambda_{Li}$ ،  $\lambda_{Lo}$ ،  $\lambda_{Co}$ ،  $\lambda_{Co}$ ،  $\lambda_{Ci}$ ،  $\lambda_{Lo}$ ،  $\lambda_{Li}$ ,  $\lambda_{S1}$  $\lambda_{S2}$ ،  $\lambda_{S1}$   $\lambda_{Co}$   $\lambda_{T}$   $\delta_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$  just  $\delta_{Co}$   $\lambda_{C}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$  just  $\delta_{Co}$   $\lambda_{C}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$  just  $\delta_{Co}$   $\lambda_{Co}$   $\lambda_{Co}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$  just  $\delta_{CO}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$  just  $\delta_{CO}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S2}$   $\lambda_{S1}$   $\lambda_{S1}$ 

مشخصه ذاتی المانهای پسیو مدار، فقط خطای اتصال کوتاه برای آنها در نظر گرفته شده است. طبق آمار و ارقام تجربی، احتمال خطای اتصال کوتاه در ادوات نیمه هادی الکترونیک-قدرت بیشتر از خطای مدار باز است. در نتیجه، احتمال خطای اتصال کوتاه برابر از خطای مدار باز است. در نتیجه، احتمال خطای اتصال کوتاه برابر یشنهادی در نظر گرفته شده است. با توجه به مدل مارکوف پیشنهادی در شکل ۲، قابلیت اطمینان طبق رابطه ۱۲ محاسبه می شود:

$$R(t) = \sum_{i=1}^{s} P_i(t) \tag{17}$$

که (P<sub>i</sub>(t) احتمال حالت عملیاتی ilم و s تعداد کل حالات عملیاتی سالم و کاهش یافته است که در این مقاله برابر با ۴ می باشد.



**شکل ۲** – گراف قابلیت اطمینان اجزا مختلف مدار.

P<sub>i</sub>(t) بهصورت معادله فضای حالت به فرم ماتریسی زیر محاسبه میشود[۱۹].

$$\frac{d}{dt}[P_{1}(t)...P_{4+1}(t)] = [P_{1}(t)...P_{4+1}(t)] \\
\times \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} & \lambda_{14} & \lambda_{15} \\ 0 & \lambda_{22} & 0 & 0 & \lambda_{25} \\ 0 & 0 & \lambda_{33} & 0 & \lambda_{35} \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{44} & \lambda_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
(17)

در ماتریس فوق، <sub>ا</sub>ن<sup>۸</sup>نرخ خرابی مبدل از حالت عملیاتی i به j است که نشان دهنده وقوع خطا در آن انتقال است. ن<sup>۸</sup>نر در قطر اصلی ماتریس نیز برابر منفی مجموع نرخ خرابیها در ردیف i ماتریس است، زیرا جمع همه درایهها در هر ردیف از این ماتریس باید برابر با صفر باشد. با فرض حالت سالم به عنوان حالت اولیه، P(t0] =(P(t0) ،تابع قابلیت اطمینان به صورت زیر بیان می شود.

## بهینهسازی مبدل با الگوریتم پیشنهادی

طراحي مبدل الكترونيك-قدرت بر اساس انتخاب خازنها، اندوکتانسها، دیودها، کلیدهای قدرت، مشخصات و ابعاد ترانسفورمر، فركانس كليدزني و مقدار ولتاژ لينك DC بهمنظور فراهم كردن شرايط کاری مطلوب است. اگرچه در مقالات روشهای مختلفی برای طراحی مبدلهای قدرت استفاده می شود، اما تحقیقات محدودی وجود دارد که راندمان و قابلیت اطمینان را بهطور همزمان در روند طراحی در نظر گرفته باشند. در این مقاله، الگوریتمی برای طراحی این مبدل با بهینهسازی راندمان و قابلیت اطمینان آن ارائه می شود که در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از طراحی اولیه مبدل و محاسبه مقدار المان های مدار و سایر مشخصات عملکردی مبدل، آنالیز حساسیت برای بررسی اثر تغییرات پارامترهایی نظیر مقدار اندوکتانس و خازنها، ولتاژ لينک DC، نسبت تبديل ترانسفورمر، و فركانس كليد زنى مبدل اول و دوم بر روی راندمان و قابلیت اطمینان انجام می شود تا در نهایت پارامترهایی با حساسیت بالاتر انتخاب شوند. راندمان و MTTF نیز بهترتیب با استفاده از معادلات (۱۱) و (۱۴) قابل محاسبه است. در مرحله بعد از الگوریتم ژنتیک برای بهینهسازی استفاده میشود. الگوریتم NSGA-II برای حل توابع هزینه چند هدفه طراحی شده است. اصول عملکردی NSGA-II بر اساس تغییر متغیرهای بهینهسازی با عملگرهای متقاطع و جهش و انتخاب جمعیت نسل بعدی است. در واقع پارامترهایی مثل تعداد تکرار، تعداد جمعیت و احتمال تقاطع و جهش برای محاسبه دقیق المان های مدار، قابل تغییر است. متغیرهای مبدل نظير مقدار اندوكتانس و خازن ها، فركانس سوئيچينگ مبدل اول و دوم، ولتاژ لینک DC و نسبت تبدیل ترانسفورمر با کمینه کردن تابع هدف زير بهينه مي شوند:

$$OF = w_1(MTTF_d - MTTF_c) + w_2(1 - \eta) \quad (10)$$

در رابطه ۱۵ مقدار MTTTF مدت زمان مورد انتظار عملکرد بدون خرابی مبدل است که ۴۰۰۰۰ ساعت انتخاب شده است و MTTFc مقدار عملکرد بدون خرابی که در هر تکرار الگوریتم محاسبه میشود. قسمت دوم رابطه (۱۵)  $\eta$  بازدهی مبدل که این بخش بهمنظور ماکزیمم شدن مقدار راندمان، همواره باید مینیمم گردد. همچنین ۷۱ و ۷2 بهترتیب تابع وزنی MTTF و راندمان هستند و بسته به توازن بین قابلیت اطمینان و راندمان مبدل، عددی بین ۰ و ۱ انتخاب میشود. ضرایب وزنی بیانگر این هستند که کدام متغیر تابع هدف از اهمیت بیشتری برخوردار است. از آنجایی که کاربرد منبع تغذیه مورد نظر در سامانههای ماهواره و فضایی این مقاله ضرایب وزنی قابلیت اطمینان و راندمان به ترتیب ۶/۰ و ۲/۰ انتخاب شدند. در ادامه روند بهینه سازی، الگوریتم تا زمانی ادامه پیدا می کند تا بتواند پارامترهای بهینه مدار را پیدا کند.

نرخ خرابی	معادله
$\lambda_{12}$	$(1-\alpha_s)\lambda_{sb}$
$\lambda_{13}$	$4(1-\alpha_s)\lambda_s$
$\lambda_{14}$	$(1-\alpha_D)\lambda_D$
$\lambda_{15}$	$\lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + \alpha_D \lambda_D + \lambda_{cb} + 4\alpha_s \lambda_s + 4\alpha_D \lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_{c out}$
$\lambda_{25}$	$\lambda_{25} = \lambda_{Lb} + (1 + \alpha_D)\lambda_D + \lambda_{cb} + 4\alpha_s\lambda_s + 4\alpha_D\lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_{c out}$
$\lambda_{35}$	$\lambda_{35} = \lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + (1 + \alpha_D) \lambda_D + \lambda_{cb} + (2 + \alpha_s) \lambda_s + (2 + 2\alpha_D) \lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7 \lambda_{c out}$
$\lambda_{45}$	$\lambda_{45} = \lambda_{Lb} + \alpha_s \lambda_{sb} + (1 + \alpha_D) \lambda_D + \lambda_{cb} + (2 + 2\alpha_s) \lambda_s + (2 + \alpha_D) \lambda_D + \lambda_{Ls} + \lambda_{cs} + \lambda_T + 7\lambda_c out$

جدول 1 - معادلات نرخ خرابی مبدل ولتاژ بالا در این مقاله

$$R(t) = e^{\lambda_{11}t} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{11} - \lambda_{22}} (e^{\lambda_{11}t} - e^{\lambda_{22}t}) + \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{11} - \lambda_{33}} (e^{\lambda_{11}t} - e^{\lambda_{33}t}) + \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{11} - \lambda_{44}} (e^{\lambda_{11}t} - e^{\lambda_{44}t})$$
(137)

باید توجه داشت که قابلیت اطمینان تنها معیار کاراًمد برای ارزیابی مبدلهای الکترونیک-قدرت نیست. در نتیجه، از پارامتری با عنوان میانگین زمان خرابی (MTTF) در مبدلهای الکترونیک-قدرت با قابلیت تحمل خطا نیز استفاده می شود که به صورت زیر تعریف می شود [۱۹]:

$$MTTF = \int_{0}^{\infty} R(t)dt =$$

$$\frac{-1}{\lambda_{11}} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{11} - \lambda_{22}} (\frac{1}{\lambda_{22}} - \frac{1}{\lambda_{11}}) +$$

$$\frac{\lambda_{13}}{\lambda_{11} - \lambda_{33}} (\frac{1}{\lambda_{33}} - \frac{1}{\lambda_{11}}) + \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{11} - \lambda_{44}} (\frac{1}{\lambda_{44}} - \frac{1}{\lambda_{11}})$$
(14)



**شکل ۳**- فلوچارت طراحی و بهینه سازی الگوریتم

نتايج شبيهسازى

بهمنظور بررسی اثر تغییر پارامترهایی نظیر مقدار اندوکتانس و خازن مبدل اول و دوم، ولتاژ لینک DC، نسبت تبدیل ترانسفورمر، فرکانس کلید زنی مبدل اول و دوم، تحلیل حساسیت برای مولفههای تابع هدف انجام می شود (در شکل ۳ اُورده شده است) تا در نهایت پارامترهایی با حساسیت بالاتر انتخاب شوند. نمودار راداری آنالیز حساسیت در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق شکل، تغییرات ولتاژ لینک DC و دوره کاری بیشترین تاثیر را روی تابع هدف دارند. همچنين افزايش مقدار خازن لينک DC و اندوكتانس ورودى، بیشترین تاثیر را بر مولفه MTTF تابع هدف دارند. تحلیل بیانگر آن است که فیلتر خازنی و اندوکتانس ترانسفورمر مبدل تاثیر چندانی روی تابع هدف ندارد. لذا از این دو المان در الگوریتم بهینهسازی صرف نظر می شود. در نتیجه پارامترهای اندوکتانس ورودی، خازن لینک DC، نسبت تبديل ترانسفورمر، ولتاژ لينک DC و فركانس كليد زني مبدل اول و دوم بهعنوان پارامترهای مورد نظر در روند بهینهسازی در نظر گرفته شدهاند. بعد از آنالیز حساسیت و مطابق با روند الگوریتم در شکل ۳، ابتدا بازه تغییرات متغیرهای ورودی تابع هدف تعیین

می شود. سپس با انتخاب ضرایب وزنی برای راندمان و MTTF، الگوریتم NSGA-II اجرا شده و مقادیر بهینه مدار استخراج می شوند.

جدول ۲ مقدار پارامترهای بهینهسازی شده توسط الگوریتم ژنتیک را نشان میدهد. در این طراحی مقادیر بهینهسازی شده، ۲۰۰۰۰ MTTF ساعت و راندمان ۹۱٪ در حالت نامی برای مبدل بهدست میآید که نشان دهنده افزایش قابلیت اطمینان با حفظ راندمان بالا است.

از آنجاکه تابع هدف شامل دو مولفه راندمان و قابلیت اطمینان میباشد بنابراین شکل ۴ آنالیز حساسیت این دو پارامتر را با توجه به تغییرات المان های مبدل نشان میدهد.



**شکل ۴** – نمایش راداری تحلیل حساسیت برای مولفههای تابع هدف(راندمان و قابلیت اطمینان

لازم بهذکر است که احتمال خطای اتصال کوتاه برای کلید ماسفت و دیود برابر ۰/۷ در نظر گرفته شد. شبیهسازی و روند بهینهسازی مبدل توسط نرم افزار Matlab انجام شده است.

شکلهای ۵ تا ۸ منحنی قابلیت اطمینان را برای پارامترهای مختلف مبدل نشان میدهد. این منحنیها برای پارامترهای دورهکاری (D) فرکانس کلید زنی (f) توان خروجی (P) و نسبت تبدیل ترانسفورمر (N) برای مدت زمان ۴۰۰۰۰ ساعت رسم شدهاند. این معودارها برای ۵ مقدار مختلف در هر حالت رسم شدهاند. بهعنوان مثال برای فرکانس کلید زنی ۱۰۰ کیلوهرتز نمودار برای پنج حالت مثال برای فرکانس کلید زنی ۱۰۰ کیلوهرتز نمودار برای پنج حالت در شکلهای ۵ تا ۸ مشخص است قابلیت اطمینان با افزایش توان خروجی ، نسبت تبدیل ترانسفورمر ، فرکانس کاری و کاهش می یابد و از آنجا که لازم است بین قابلیت اطمینان و بازدهی یک مصالحه صورت گیرد بنابراین مقادیر بهینه شده پارامتر ها بهدست آمده از الگوریتم برابر مقادیر بهدست آمده در جدول ۲ می باشند. همان گونه که از شکلهای ۵ تا ۸ مشخص است دوره کاری و توان خروجی تاثیر بیشتری را بر تغییر عملکرد قابلیت اطمینان می گذارند.

#### فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی دورهٔ ۱۷ / شمارهٔ ۱ / بهار ۱۴۰۲ ( پیاپی ۶۰)

پیمان محمدی و مهدی عالمی رستمی



شکل ۷ – نمودار قابلیت اطمینان برای نسبت تبدیل مختلف ترانسفورمر.



شکل ٨ – نمودار قابلیت اطمینان برای توان های مختلف.



**شکل ۹** – شکل موج ولتاژهای خروجی مبدل

نمودار بازده مبدل نسبت به ولتاژ ورودی و فرکانس کاری در شکل های ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۰ – نمودار بازده مبدل نسبت به ولتاژ ورودی

همان طور که در شکل ۱۰ مشخص است هرچه اختلاف ولتاژ بین ورودی و خروجی مبدل Boost بیشتر باشد، تلفات در مبدل نیز

ی بهینه شده	پارامترهای	– مقدار	۲ ز	جدوا
-------------	------------	---------	-----	------

مقدار	علامت	پارامتر
78-44 V	$V_{in}$	ولتاژ ورودى
۱۴۰ μΗ	L <sub>b</sub>	سلف Boost
۵·V	Vb	ولتاژ خروجي Boost
۱۱۵ kHz	$\mathbf{f}_{sb}$	فرکانس کلیدزنی Boost
۹۵ µF	Cb	خازن خروجی مبدل Boost
۹۰ kHz	fs	فرکانس کلیدزنی Full Bridge
49 µH	Ls	سلف مبدل رزونانسي
۹۰۰ µH	Lm	اندوکتانس مغناطیس کنندگی
۶۷ nF	$C_s$	خازن سری مبدل رزونانسی
۱۰ nF	Cp	خازن موازی مبدل رزونانسی
1A, TA/9, 1., 14/9, TT/1, 15/T, T/T	n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7	نسبت ترانسفورماتور
۹۵ nF	$\begin{array}{c} C_{f1},C_{f2},C_{f3},C_{f4} \\ C_{f5},C_{f6},C_{f7} \end{array}$	خازن فيلتر خروجي
лл., түл., ттү., 4, аду., ятя., ятт. V	Vc4, Vc3, Vc2, Vc1, VA0, VHIX, VA1	ولتاژهای خروجی (نسبت به Cathode)
Ψ m, V m, 1۶ m, 1δ m , τδμ, Ψm, ۴λμΑ	Ic4, Ic3, Ic2, Ic1, Ia0, I <sub>H1x</sub> , Ia1	جریانهای بار خروجی
No. W	Pout	توان خروجي







**شکل ۶** – نمودار قابلیت اطمینان برای فرکانس کلید زنی مختلف

Current-Fed Boost PFC Converter With ZCS for High Voltage Applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 1, pp. 379-386, Jan. 2008. doi:10.1109/TPEL.2007.909283.

- [4] Barbi, T.; Gules, R., "Isolated DC-DC converters with high-output voltage for TWT A telecommunication satellite applications," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 4, pp. 975-984, July 2003, doi: 10.1109/TPEL.2003.813762.
- [5] S. H. Ahn, H. J. Ryoo, J. W. Gong and S. R. Jang, "Low-ripple and high-precision high-voltage DC power supply for pulsed power applications," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 42, no. 10, pp. 3023-3033, Oct. 2014, doi: 10.1109/TPS.2014.233813.
- [6] X. Wang, W. Yang, and D. Liang, "Multi-Objective Robust Optimization of Hybrid AC/DC Distribution Networks Considering Flexible Interconnection Devices," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166048-166057, 2021. doi:10.1109/ACCESS.2021.3135609.
- [7] Y.-W. Cho, J.-M. Kwon, and B.-H. Kwon, "Single power-conversion AC--DC converter with high power factor and high efficiency," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 29, no. 9, pp. 4797-4806, 2013, <u>doi:</u> <u>10.1109/TPEL.2013.2286832</u>
- [8] G. Li, D. Yang, B. Zhou, Y.-F. Liu, and H. Zhang, "A Topology-Reconfigurable Fault-Tolerant Twoand-Single Stage AC-DC Converter for High Reliability Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2022, <u>doi:</u> 10.1109/TIE.2022.3174236.
- [9] S. Raj, V. Singh, N. K. Rajalwal, and D. Ghosh, "Reliability prediction of a distribution protection scheme using Markov model," in 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO), 2020, pp. 868-87 IEEE, doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9197804.
- [10] M. Ghavami and C. Singh, "Reliability evaluation of electric vehicle charging systems including the impact of repair," *in 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2017, pp. 1-9: IEEE, <u>doi:</u> 10.1109/IAS.2017.8101865.
- [11] M. Ghavami and C. Singh, "Reliability evaluation of electric vehicle charging systems including the impact of repair," *in 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2017, pp. 1-9: IEEE, <u>doi:</u> 10.1109/IAS.2017.8101865.
- [12] S. A. Q. Mohammed and J.-W. Jung, "A Stateof- the-Art Review on Soft-Switching Techniques for DC–DC, DC–AC, AC–DC, and AC–AC Power Converters," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 10, pp. 6569-6582, 2021, doi: 10.1109/TII.2021.3058218.

بیشتر است. در نتیجه بازده بیشینه در بیشترین ولتاژ ورودی حاصل



شکل 11 – نمودار بازده مبدل نسبت به فرکانس کلیدزنی

## نتيجهگيرى

هدف این مقاله بهینه سازی پارامترهای مبدل ولتاژ بالا مورد استفاده در بخش TWTA سازه های فضایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تابع هزینه چند هدفه و افزایش قابلیت اطمینان آن توسط مدل مارکوف می باشد . در این مقاله تابع هزینه شامل دو بخش بازدهی و قابلیت اطمینان می باشد که دو پارامتر مهم در منابع تغذیه سازه های فضایی به حساب می آیند. مقدار المان های مبدل در بازه هایی متناسب فضایی به حساب می آیند. مقدار المان های مبدل در بازه هایی متناسب ام مقدار به دست آمده در تئوری در نظر گرفته می شوند سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تابع هدف معادله ۱۵ مورد تحلیل قرار می گیرد و هدف مینیمم کردن این تابع می باشد. مقادیر متناظر با تابع هدف مینیم برای مدت زمان اولین خرابی MTTF در حدود ۲۰۰۰۰ ساعت و مقدار بازدهی ۹۱ درصد می باشد هم چنین مقادیر به دست آمده برای المان های مدار در این حالت در جدول ۲ آورده شده است.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

- [1] C. Zhang, S. Du and Q. Chen, "A novel scheme suitable for high-voltage and large-capacity photovoltaic power stations," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 9, pp. 3775-3783, Sept. 2013. doi:10.1109/TIE.2012.2208438.
- [2] S. N. Vukosavić, L. S. Perić and S. D. Sušić, "A novel power converter topology for electrostatic precipitators," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 31, no. 1, pp. 152-164, Jan. 2016. doi:10.1109/TPEL.2015.2405471
- [3] Jiann-Fuh Chen; Ren-Yi Chen; Tsorng-Juu Liang, "Study and Implementation of a Single-Stage"

پیمان محمدی و مهدی عالمی رستمی

فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی دورهٔ ۱۷ / شمارهٔ ۱ / بهار ۱۴۰۲ ( پیاپی ۶۰)

2018, pp. 280-285, <u>doi:</u> 10.1109/ITEC.2018.8450102.

- [18] J. L. Soon, D. D.-C. Lu, J. C.-H. Peng, and W. Xiao, "Reconfigurable nonisolated DC–DC converter with fault-tolerant capability," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no. 9, pp. 8934-8943, 2020, <u>doi:</u> 10.1109/TPEL.2020.2971837.
- [19] H. Tarzamni, F. Tahami, M. Fotuhi-Firuzabad and F. Blaabjerg, "Improved Markov Model for Reliability Assessment of Isolated Multiple-Switch PWM DC-DC Converters," *in IEEE Access*, vol. 9, pp. 33666-33674, 2021, <u>doi:</u> <u>10.1109/ACCESS.2021.3060950.</u>
- [20] B. Ye, X. Shi, X. Wang, and H. Wu, "Optimisation configuration of hybrid AC/DC microgrid containing electric vehicles based on the NSGA-II algorithm," *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 10, pp. 7229-7236, 2019, <u>doi:</u> <u>https://doi.org/10.1049/joe.2018.5043.</u>
- [21] T. B. Soeiro, J. Mühlethaler, J. Linnér, P. Ranstad and J. W. Kolar, "Automated design of a highpower high-frequency LCC resonant converter for electrostatic precipitators," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 11, pp. 4805-4819, Nov. 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2227897.

- [13] W. Kuo and V. R. Prasad, "An annotated overview of system-reliability optimization," *IEEE Transactions on reliability*, vol. 49, no. 2, pp. 176-187, 2000, doi: 10.1109/24.877336.
- [14] A. T. Bryant, P. A. Mawby, P. R. Palmer, E. Santi, and J. L. Hudgins, "Exploration of power device reliability using compact device models and fast electrothermal simulation," *IEEE transactions on industry applications*, vol. 44, no. 3, pp. 894-903, 2008, doi: 10.1109/TIA.2008.921388.
- [15] A. H. Ranjbar, M. Kiani, and B. Fahimi, "Dynamic Markov model for reliability evaluation of power electronic systems," in 2011 International conference on power engineering, energy and electrical drives, 2011, pp. 1-6: IEEE. Doi: 10.1109/PowerEng.2011.6036439.
- [16] P. Babcock and S. Philip, "An introduction to reliability modeling of fault-tolerant systems," *The Charles Stark Draper Laboratory, Cambridge, MA, Tech Rep. CSDL*, 1986.
- [17] V. Mulpuri, M. Haque, M. N. Shaheed and S. Choi, "Multistate Markov Analysis in Reliability Evaluation and Life Time Extension of DC-DC Power Converter for Electric Vehicle Applications," *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*,