

ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY PHÁT HỎA CỦA NGÒI LỰU ĐẠN THÔNG QUA SƠ ĐỒ CẤU TRÚC

ANALYSING THE RELIABILITY OF GRENADE FUZES BY USING THE RELIABILITY BLOCK DIAGRAM

Bùi Xuân Sơn¹, Phạm Đức Hùng¹, Đỗ Văn Minh¹, Hoàng Văn Cường¹,
Đỗ Văn Giôn¹, Lê Xuân Cường²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Khoa học Hình sự, Bộ Công an

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng biểu thức tính xác suất làm việc không hỏng (XSLVKH) từ sơ đồ cấu trúc của ngòi lựu đạn LD-01, ngòi nổ YĐ3 và ngòi lựu đạn URG-86. Từ các biểu thức nhận được thực hiện mô phỏng theo phương pháp Monte Carlo để tính XSLVKH của các ngòi từ XSLVKH của các bộ phận của chúng. Kết quả nhận được cho thấy, ngòi LD-01 có sơ đồ cấu trúc đơn giản nên XSLVKH của ngòi đạt 0,9024 với độ lệch chuẩn là 0,0194. Các ngòi YĐ3 và ngòi của lựu đạn URG-86 được bổ sung thêm các bộ phận bảo hiểm, ngăn cách nâng cao độ an toàn của ngòi nên số lượng các bộ phận tăng gấp đôi so với ngòi lựu đạn LD-01, nhưng nhờ có các cấu trúc dự trữ nên độ tin cậy đạt được tương đương với ngòi lựu đạn LD-01. Đặc biệt, ngòi YĐ3 có độ tin cậy làm việc khá cao khi XSLVKH đạt 0,9104 với độ lệch chuẩn là 0,0188.

Từ khóa: Độ tin cậy phát hỏa; Xác suất làm việc không hỏng; Sơ đồ cấu trúc; Mô phỏng Monte Carlo.

ABSTRACT

The paper establishes equations to calculate the probability of working without failure of LD-01 grenade fuze, YĐ3 fuze and URG-86 grenade fuze by using the reliability block diagrams. The received equations are simulated by the Monte Carlo simulation to understand the reliability of there granade fuzes. The results shows that, also the reliability block diagram of LD-01 has no redundance, but with only 4 components so that the mean of the reliability of this fuze is 0.9024 and the sigma is 0.0194. The YĐ3 fuze and URG-86 grenade fuze has reasonable reliability block diagram with some redundance components so that with twice more components than LD-01 but there fuzes has the probability without failure same as the LD-01 grenade fuze. The YĐ3 fuze has the best reliability block diagram with the mean of its reliability is 0.9104 and the sigma is 0.0188.

Keywords: Reliability of ignition; Reliability of fuze; Reliability block diagram; Monte Carlo simulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để lựu đạn thực hiện đúng chức năng, tránh các trường hợp làm việc bất thường hoặc không làm việc khi sử dụng, các ngòi dùng cho lựu đạn phải đạt độ tin cậy hoạt động rất cao [1, 4-9]. Trong trang bị hiện nay phổ biến nhất là ngòi hẹn giờ bằng liều thuốc cháy. Kết cấu ngòi giữ chậm thuốc cháy đơn giản, dễ sử dụng và giá thành chế tạo thấp, tuy nhiên ngòi có độ an toàn và độ bền lâu kém. Để nâng cao hiệu quả chiến đấu và độ an toàn trong bảo quản và sử dụng, một số ngòi đã được thiết kế kết hợp tác dụng chậm nổ với tác dụng giữ chậm đồng thời bổ sung các bộ phận ngăn cách, bảo hiểm nhờ đó nâng cao độ an toàn của ngòi [1].



a) b) c)

Hình 1. Một số loại lựu đạn

a) Lựu đạn LD-01;

b) Lựu đạn chậm nổ PFO (lắp ngòi YĐ3);

c) Lựu đạn chậm nổ URG-86

Sơ đồ cấu trúc biểu diễn mối liên hệ logic độ tin cậy của các bộ phận chức năng trong thiết bị. Mỗi khối trong sơ đồ cấu trúc sẽ tượng trưng cho một bộ phận mà tổng những hỏng hóc của các bộ phận sẽ dẫn tới hỏng hóc của toàn bộ thiết bị. Từ sơ đồ cấu trúc cho phép người thiết kế tính toán độ tin cậy của sản phẩm, từ đó so sánh và lựa chọn phương án thiết kế đạt được độ tin cậy làm việc theo yêu cầu [1, 3, 4, 9].

Phương pháp Monte Carlo dùng mô phỏng những sự kiện ngẫu nhiên. Trong tính toán độ tin cậy, phương pháp mô phỏng Monte

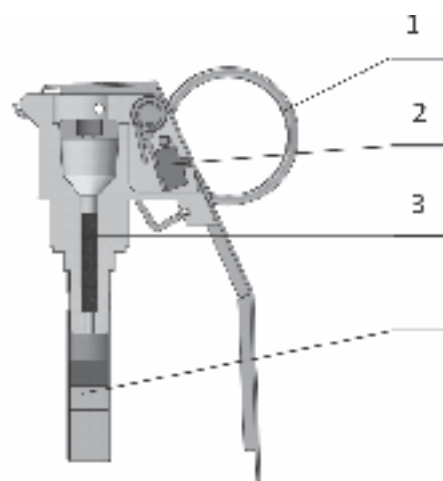
Carlo sẽ lấy ngẫu nhiên độ tin cậy của từng bộ phận trong khoảng giá trị khả dĩ của nó, từ đó xác định được vùng phân bố độ tin cậy của hệ thống. Kết quả mô phỏng cho phép đánh giá ảnh hưởng của sự phân bố và cấp độ tin cậy của các bộ phận chức năng đến độ tin cậy chung của toàn sản phẩm [1, 3, 9].

Bài báo thiết lập biểu thức xác định xác suất làm việc không hỏng (XSLVKH) từ sơ đồ cấu trúc cho một số ngòi lựu đạn hiện nay (ngòi lựu đạn LD-01, ngòi YĐ3 và ngòi lựu đạn URG-86) kết hợp với phương pháp mô phỏng Monte Carlo để xác định và so sánh xác suất làm việc không hỏng của các ngòi lựu đạn với nhau.

2. THIẾT LẬP SƠ ĐỒ CẤU TRÚC VÀ BIỂU THỨC TÍNH XÁC SUẤT LÀM VIỆC KHÔNG HỎNG CỦA CÁC NGÒI LỰU ĐẠN

2.1. Sơ đồ cấu trúc của ngòi lựu đạn LD-01

LD-01 là ngòi giữ chậm bằng liều thuốc cháy có cấu tạo như trên Hình 2.



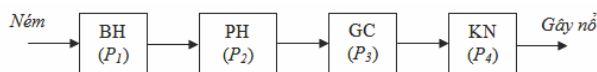
Hình 2. Ngòi lựu đạn LD-01

1. Bộ phận bảo hiểm; 2. Cơ cấu chậm nổ;

3. Bộ phận giữ chậm; 4. Kíp nổ



Khi bộ phận bảo hiểm (BH) giải phóng thì cơ cấu phát hỏa (PH) làm việc tạo ra tín hiệu và truyền tới bộ phận giữ chậm (GC). Sau 3,2-4,2s, tín hiệu được truyền tới kíp nổ (KN), chức năng của ngòi được thực hiện. Với kết cấu, sự liên hệ về chức năng làm việc của các bộ phận như vậy, sơ đồ cấu trúc của ngòi như thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của ngòi LD-01

Trong sơ đồ cấu trúc trên Hình 3, các khối chức năng của ngòi có XSLVKH lần lượt là: bộ phận bảo hiểm (BH) - P₁, cơ cấu phát hỏa (PH) - P₂, bộ phận giữ chậm (GC) - P₃ và kíp nổ (KN) - P₄. XSLVKH của ngòi được xác định bằng biểu thức [1, 3]:

$$P_{ld01} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \quad (1)$$

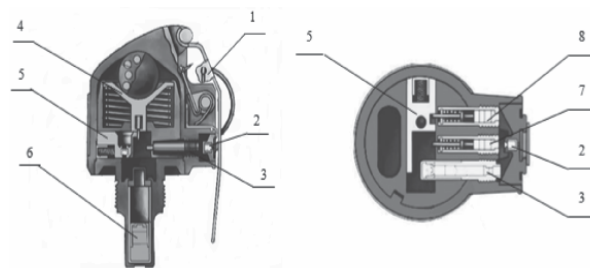
Trong đó: P_{ld01} là xác suất làm việc không hỏng của ngòi lựu đạn LD-01.

2.2. Sơ đồ cấu trúc của ngòi YĐ3

Ngòi YĐ3 dùng cho các lựu đạn chạm nổ PGO và PGH có cấu tạo như trong Hình 4 gồm: Bộ phận bảo hiểm cho cơ cấu phát hỏa (BH); Cơ cấu phát hỏa (PH); Cơ cấu chạm nổ bán toàn phương (ChN); Cơ cấu ngăn cách (NC); 3 bộ phận giữ chậm (GC₁, GC₂, GC₃) và Kíp nổ (KN). Hai bộ phận giữ chậm GC₁, GC₂ chặn giữ con trượt trong cơ cấu ngăn cách, bộ phận giữ chậm GC₃ gây nổ cho ngòi sau 3-4 giây nếu cơ cấu chạm nổ không làm việc. Cơ cấu chạm nổ bán toàn phương làm việc tin cậy ở các góc chạm từ 0° đến 150° [10]. Từ mối liên hệ chức năng như vậy, ta có sơ đồ cấu trúc của ngòi chạm nổ YĐ3 như trên Hình 5. Như vậy, so với ngòi nổ LD-01, ngòi nổ YĐ3 đã có

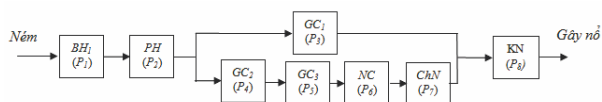
dự trữ song song giữa bộ phận giữ chậm và bộ phận chạm nổ bảo đảm độ tin cậy làm việc của ngòi trong trường hợp một trong các bộ phận trên bị hỏng. Đồng thời, ngòi đã bổ sung thêm cơ cấu ngăn cách hạt lửa, từ đó nâng cao đáng kể độ an toàn của ngòi trong bảo quản và chuẩn bị sử dụng.

Trong ngòi YĐ3, các cụm giữ chậm 2 (GC₂) và giữ chậm 3 (GC₃) chặn giữ song song về mặt hình học đối với con trượt của cơ cấu ngăn cách, nhưng bất kỳ cụm giữ chậm nào không hoạt động đều dẫn tới sự không hoạt động của bộ phận bảo hiểm và cơ cấu chạm nổ, do vậy thực tế hai bộ phận này là nối tiếp nhau về chức năng như biểu diễn trên sơ đồ cấu trúc.



Hình 4. Ngòi nổ YĐ3

1. Bộ phận bảo hiểm; 2. Cơ cấu phát hỏa; 3, 7, 8. Bộ phận giữ chậm; 4. Cơ cấu chạm nổ; 5. Cơ cấu ngăn cách; 6. Kíp nổ



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc của ngòi lựu đạn chạm nổ YĐ3

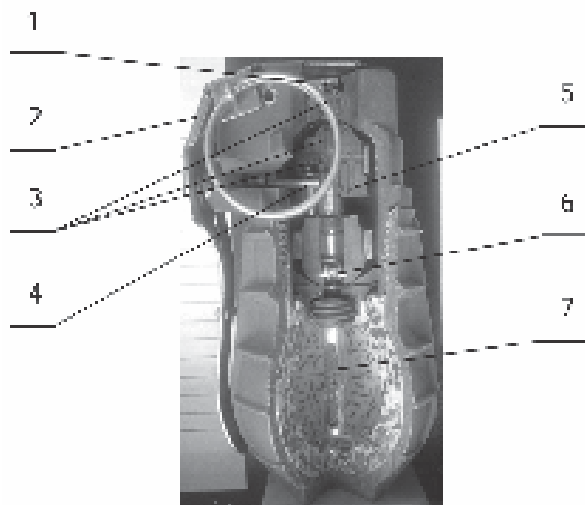
Biểu thức tính XSLVKH của ngòi YĐ3:

$$P_{YĐ3} = P_1 \cdot P_2 \cdot (1 - (1 - P_3) \cdot (1 - P_4 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7))) \cdot P_8 \quad (1.2)$$

Trong đó: P_{YĐ3} là XSLVKH của ngòi YĐ3, P_i (i = 1-8) là XSLVKH của các bộ phận trong ngòi như biểu diễn trên sơ đồ cấu trúc ở Hình 5.

2.3. Sơ đồ cấu trúc của ngòi lựu đạn URG-86

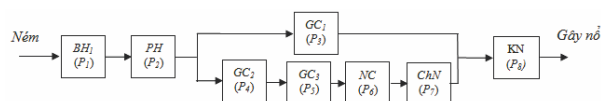
Ngòi dùng cho lựu đạn URG-86 cấu tạo gồm: Bộ phận bảo hiểm (B_{H1}) chặn giữ cơ cấu phát hỏa (PH); 3 khối giữ chậm (GC_1 , GC_2 , GC_3) như trên Hình 6.



Hình 6. Ngòi lựu đạn URG-86

1. Cơ cấu phát hỏa; 2. Bộ phận bảo hiểm;
3. Bộ phận giữ chậm; 4. Bộ phận bảo hiểm;
5. Cơ cấu chậm nổ; 6. Hạt lửa; 7. Kíp nổ

Khi làm việc, bộ phận giữ chậm GC_1 nhận tín hiệu từ cơ cấu phát hỏa và truyền tới hai bộ phận GC_2 và GC_3 . Bộ phận GC_2 giữ chậm quá trình bộ phận bảo hiểm (B_{H2}) giải phóng cơ cấu chậm nổ (ChN) từ 1,2-2s bảo đảm an toàn cho chiến sĩ khi ném. Bộ phận GC_3 gây nổ lựu đạn sau 3,2-4,6s nếu không có tín hiệu từ cơ cấu chậm nổ (ChN); Cơ cấu chậm nổ dạng toàn phương có khả năng làm việc ở mọi góc chạm. Như vậy, tương tự với ngòi YĐ3, trong ngòi lựu đạn URG-86 có dự trữ song song độ tin cậy làm việc giữa bộ phận giữ chậm và cơ cấu chậm nổ, đồng thời có các bộ phận bảo hiểm giữ an toàn cho ngòi khi bảo quản và chuẩn bị sử dụng. Từ mối liên hệ giữa các bộ phận, ta thiết lập được sơ đồ cấu trúc của ngòi URG-86 như trong Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ cấu trúc của ngòi URG-86

Từ sơ đồ cấu trúc, ta thiết lập được biểu thức xác định độ tin cậy hoạt động của ngòi lựu đạn URG-86:

$$P_{URG-86} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot [1 - (1 - P_4) \cdot (1 - P_5 \cdot P_6 \cdot P_7)] \cdot P_8 \cdot P_9 \quad (1.3)$$

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ NHẬN XÉT

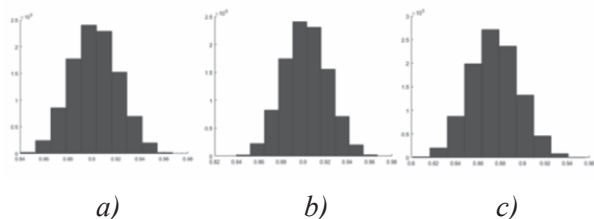
Để xác định XSLVKH của các ngòi lựu đạn, bài báo sử dụng XSLVKH của cơ cấu chậm nổ, bộ phận bảo hiểm, kíp nổ và hạt lửa trong các ngòi nằm trong khoảng 0,95-0,99 như công bố trong tài liệu [9]. XSLVKH của các liều giữ chậm 0,9783 đến 0,9988 [8]. Cơ cấu chậm nổ bán toàn phương trong ngòi YĐ3 có khả năng làm việc đến góc chạm 150°, tương đương 85% góc chạm có thể xảy ra khi va đập với mục tiêu [10]. Như vậy, có thể giả thiết cơ cấu chậm nổ trong ngòi YĐ3 có độ tin cậy tương đương là 0,81-0,842. Giá trị XSLVKH của các bộ phận trong các ngòi được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. XSLVKH của các bộ phận trong ngòi lựu đạn

Bộ phận	XSLVKH
Cơ cấu chậm nổ toàn phương	0,95÷0,99
Cơ cấu chậm nổ bán toàn phương	0,81÷0,842
Cơ cấu phát hỏa	0,95÷0,99
Bộ phận giữ chậm	0,95783÷0,9988
Bộ phận bảo hiểm	0,95÷0,99
Bộ phận ngăn cách	0,95÷0,99
Kíp nổ, hạt lửa	0,95÷0,99



Dùng phần mềm Matlab, lấy ngẫu nhiên độ tin cậy của các bộ phận 106 lần trong khoảng XSLVKH của các cơ cấu bộ phận như trong Bảng 1 theo thuật toán của Monte Carlo, tính toán XSLVKH của các ngòi theo các biểu thức (1.1), (1.2) và (1.3). Sự phân bố XSLVKH của các ngòi được thể hiện như trong Hình 8.



Hình 8. Đồ thị phân bố độ tin cậy của các ngòi khảo sát
a) Ngòi lựu đạn LD-01; b) Ngòi lựu đạn YĐ3;
c) Ngòi lựu đạn URG-86

Từ các kết quả trong Hình 8 có thể thấy:

- Ngòi lựu đạn chạm nổ YĐ3 cho độ tin cậy cao nhất với độ tin cậy trung bình đạt 0,9104; Ngòi LD-01 và ngòi lựu đạn URG-86 có độ tin cậy thấp hơn với độ tin cậy trung bình lần lượt là 0,9024 và 0,8746.

- XSLVKH của ngòi lựu đạn URG-86 có độ phân tán tương đối lớn, độ lệch chuẩn là 0,0215. Trong khi đó, XSLVKH của độ lệch chuẩn của các ngòi LD-01 và YĐ3 lần lượt là 0,0194 và 0,0188.

- XSLVKH của ngòi LD-01 đạt được tương đối cao do cấu trúc ngòi đơn giản, ít bộ phận, tuy nhiên sơ đồ cấu trúc cũng cho thấy ngòi chỉ có duy nhất một bộ phận bảo hiểm cho cơ cấu phát hỏa nên độ an toàn không cao. Ngòi cũng hoàn toàn không có dự trữ độ tin cậy nên khi bất kỳ bộ phận nào trong ngòi gặp hỏng hóc đều dẫn tới mất khả năng làm việc của ngòi.

- Các ngòi lựu đạn chạm nổ đã bổ sung

các bộ phận bảo hiểm, cơ cấu ngăn cách để nâng cao độ an toàn trong bảo quản, vận chuyển và chuẩn bị sử dụng. Việc này làm tăng số bộ phận trong cấu trúc của ngòi. Nhưng sơ đồ cấu trúc của ngòi đã bố trí một số bộ phận mắc song song tạo ra dự trữ độ tin cậy, do vậy XSLVKH của ngòi được nâng cao đáng kể. Mặc dù số các bộ phận trong các ngòi chạm nổ đã tăng gấp đôi so với ngòi LD-01, nhưng XSLVKH của ngòi vẫn được duy trì tương đương với ngòi LD-01.

- Sơ đồ cấu trúc của ngòi YĐ3 khá hợp lý nên XSLVKH của ngòi cao, độ lệch chuẩn của XSLVKH nhỏ.

- Với ngòi lựu đạn URG-86, do số lượng phần tử nối tiếp lớn làm XSLVKH của ngòi bị giảm thấp hơn so với ngòi lựu đạn LD-01. Để nâng cao XSLVKH của ngòi cần phải có những giải pháp công nghệ để tăng XSLVKH của từng bộ phận của ngòi, điều chỉnh thiết kế, giảm bớt số khâu mắc nối tiếp trong ngòi.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng sơ đồ cấu trúc, biểu thức tính XSLVKH của ngòi lựu đạn LD-01, ngòi chạm nổ YĐ3 và ngòi lựu đạn URG-86 và sử dụng mô phỏng Monte Carlo để xác định XSLVKH của các ngòi từ XSLVKH của các bộ phận trong ngòi.

Kết quả tính toán cho thấy ngòi YĐ3 có sơ đồ cấu trúc tương đối hợp lý, XSLVKH trung bình của ngòi đạt 0,9104 với độ lệch chuẩn là 0,0188; ngòi LD-01 do có số lượng bộ phận chức năng ít nên XSLVKH cũng đạt được 0,9024. Trong khi đó, do số lượng bộ phận mắc nối tiếp lớn, ngòi lựu đạn URG-86 có XSLVKH khá thấp chỉ đạt 0,8747, trong khi độ lệch chuẩn là 0,0215, tương đối lớn so với các ngòi lựu đạn LD-01 và ngòi YĐ3.

Để nâng cao độ tin cậy của các ngòi, cần thiết phải bảo đảm độ tin cậy làm việc của các bộ phận trong ngòi. Có thể nghiên cứu điều chỉnh thiết kế theo xu hướng tăng dự trữ tin cậy bằng các khâu mắc song song và giảm số khâu nối tiếp.

Phương pháp đánh giá độ tin cậy trong bài báo có thể được sử dụng trong nghiên cứu thiết kế mạch hỏa thuật của ngòi mới, hoặc đánh giá, so sánh độ tin cậy làm việc của các ngòi hiện có. Hướng nghiên cứu tiếp theo là đánh giá độ tin cậy làm việc của ngòi theo vòng đời, có kể tới sự suy giảm XSLVKH của các bộ phận theo thời gian. ❖

Ngày nhận bài: 02/5/2022

Ngày phản biện: 12/5/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Đức Hùng, Barbashov G.V.; *Độ tin cậy ngòi đạn*. Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2009.
- [2]. Phan Văn Khôi; *Cơ sở đánh giá độ tin cậy*. NXB. Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
- [3]. *Department of defences*, Electronic reliability design handbook, 1998.
- [4]. Alanna Sharp, Jose Andrade, Nicholas Ruffini; *Design for reliability for the high reliability fuze*. Reliability Engineering and system safety, 2018.
- [5]. Ali Peiravi; *Redundancy and reliability of air to air missile fuze electronics*. Journal of American Science, 2010.
- [6]. Silva Jhon, Li Lifeng, Germand Jeremy M.; *Reliability analysis for mine blast performance based on delay type and firing time*. International Journal of mining Science and technology, 2018.
- [7]. Bo Li, Ya Zhang; *Reliability design to circuit system in harg target smart fuze*. Advanced research on electronic commerce, web application, and communication, 2011.
- [8]. Xiaoyu Yang, YUquan Wen, Haiping Dong, Quhai Liang, Bin Qin, Xiaojian Yi; *Bayesian reliability assessment for high-value pyrotechnics systems based on inheritance factor*. 11th International conference on reliability, maintainability and safety, 2016.
- [9]. Dongze Qin, Ningjun Fan; *Analyse of the sub-munitions fuze reliability*. Applied mechanics and materials Vol.203, 2012.
- [10]. Николай Свертилов, *Боеприпасы и средства поражения*, 1999.

