

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS. TSKH. Trần Hoài Linh, TS. Nguyễn Trường Sơn cùng với các tài liệu tham khảo đã trích dẫn.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

Tác giả

Nguyễn Đức Thi

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin trân trọng cảm ơn PGS. TSKH. Trần Hoài Linh, người hướng dẫn khoa học thứ nhất và TS. Nguyễn Trường Sơn, người hướng dẫn thứ hai, đã tận tình chỉ bảo, giúp đỡ và hướng dẫn tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án này.

Tôi xin trân trọng cảm ơn các Quý Thầy, Cô và các nhà khoa học đã đọc và góp ý cho luận án của tôi.

Tôi xin được bày tỏ lòng cảm ơn và trân trọng đến Ban Giám đốc, Khoa Kỹ thuật Điều khiển, Bộ môn Kỹ thuật Điện, Phòng Sau đại học - Học viện Kỹ thuật Quân sự; Đảng ủy, Thủ trưởng Tổng cục Công nghiệp quốc phòng, Thủ trưởng Bộ Tham mưu/TCCNQP đã luôn tạo mọi điều kiện tốt nhất để tôi hoàn thành bản luận án này.

Qua đây, tôi cũng xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc đến gia đình, người thân, bạn bè và các đồng nghiệp đã luôn động viên, chia sẻ và giúp đỡ tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án.

Tác giả luận án

Nguyễn Đức Thi

MỤC LỤC

Table of Contents

LỜI CAM ĐOAN.....	i
MỤC LỤC.....	iii
Table of Contents.....	iii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ VIẾT TẮT.....	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	ix
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ NGÒI NỔ KHÔNG TIẾP XÚC.....	8
1.1. Tổng quan về thiết bị chiến đấu của tên lửa phòng không có điều khiển. 8	
1.2. Phân loại ngòi nổ.....	9
1.3. Ngòi nổ không tiếp xúc.....	9
1.3.1. Phân loại ngòi nổ không tiếp xúc.....	11
1.3.2. Một số yêu cầu đối với ngòi nổ không tiếp xúc.....	12
1.3.3. Các đặc trưng cơ bản của ngòi nổ không tiếp xúc lắp cho TLPK.....	12
1.4. Ngòi nổ không tiếp xúc sử dụng cảm biến laser.....	17
1.4.1. Phương pháp đo thời gian xung.....	19
1.4.2. Phương pháp đo điều chế chùm tia.....	20
1.4.3. Nguyên lý và kết cấu cơ bản của bộ đo cự ly laser xung.....	21
1.4.4. Các nhược điểm của ngòi nổ laser.....	22
1.5. Tổng quan các hướng nghiên cứu về ngòi nổ không tiếp xúc laser dùng cho TLPK.....	23
1.5.1. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	23
1.5.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước.....	24
1.6. Đặt bài toán nghiên cứu.....	25
1.7. Kết luận chương 1.....	33
Chương 2 NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ QUANG HỌC.....	35
CHUYÊN DỤNG CHO NGÒI NỔ LASER.....	35

2.1. Cơ sở tính toán hệ quang học chuyên dụng cho ngòi nổ laser	38
2.2. Xây dựng biểu thức tính toán một số tham số quang hình học quan trọng của ngòi nổ laser.....	43
2.3. Kết luận chương 2.....	55
Chương 3 NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THAM SỐ HỢP LÝ CHO HỆ QUANG CỦA NGÒI NỔ LASER.....	56
3.1. Nghiên cứu, khảo sát sự ảnh hưởng của tham số quang hình học đến thông số làm việc của ngòi nổ laser.....	56
3.1.1. Mối quan hệ của các tham số quang hình học.....	56
3.1.2. Ảnh hưởng của tham số quang hình đến thông số làm việc của ngòi nổ laser.....	59
3.2. Tính toán tham số hợp lý cho hệ quang học trên ngòi nổ laser.....	75
3.2.1. Phương án ứng dụng phương pháp bình phương cực tiểu.....	76
3.2.2. Phương án ứng dụng thuật toán di truyền:.....	82
3.3. Kết luận chương 3.....	90
Chương 4 NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CHO NGÒI NỔ LASER TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT MÃ HÓA XUNG THĂM DÒ.....	91
4.1. Ảnh hưởng của nhiễu đến hoạt động của ngòi nổ laser.....	91
4.2. Các phương pháp chống nhiễu cho ngòi nổ laser.....	93
4.3. Nâng cao chất lượng ngòi nổ laser bằng kỹ thuật mã hóa.....	94
4.3.1. Mã hóa và truyền rời rạc từng bit mã.....	97
4.3.2. Mã hóa và truyền liên tục chuỗi mã.....	1122
4.4. Giải pháp hiện thực hóa kỹ thuật mã hóa xung thăm dò.....	1144
4.5. Mô phỏng và thực nghiệm phương pháp mã hóa.....	1155
4.5.1. Tính toán thiết kế.....	116
4.5.2. Xây dựng mô hình mô phỏng.....	120
4.5.3. Khảo sát, đánh giá khả năng kháng nhiễu.....	120
4.5.4. So sánh sử dụng và không sử dụng chuỗi mã.....	123
4.5.5. Khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của chuỗi tạo và giải mã ngẫu nhiên.....	124
4.5.6. Khảo sát, đánh giá tính bảo mật và phá mã.....	126
4.5.7. Triển khai giải pháp trên phần cứng.....	128

4.6. Kết luận chương 4.....	131
KẾT LUẬN.....	132
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	134
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	135

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ VIẾT TẮT

Kí hiệu	Ý nghĩa
APD	Avalanche Photodiode
CBLS	Cảm biến laser
FPGA	Field-programmable gate array
FMCW	Frequency modulated continuous wave
TLHK	Tên lửa hàng không
TLPK	Tên lửa phòng không
TIA	Trans Impedance Amplifier
$\vec{V}_{tl}$	Véc-tơ vận tốc của TLPK
$\vec{V}_{mt}$	Véc-tơ vận tốc của mục tiêu
$\vec{V}_{td}$	Véc-tơ vận tốc tương đối giữa tên lửa và mục tiêu
$\vec{V}_0$	Véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ tĩnh
$\vec{V}_{0+tl}$	Véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ động
$\vec{V}_{0+tl+mt}$	Véc-tơ vận tốc bay tán tương đối (so với mục tiêu) của mảnh văng khi nổ động bay theo đường phân giác góc φ_{0+tm}
$\vec{D}_m$	Véc-tơ khoảng cách từ TLPK tới mục tiêu
$\vec{D}_{m\min}$	Véc-tơ khoảng cách ngắn nhất từ TLPK tới mục tiêu
φ_{0+tm}	Góc hướng véc-tơ vận tốc bay tán tương đối so với mục tiêu của mảnh văng khi nổ động
P_T	Công suất phát của nguồn laser
η_T	Hiệu suất của hệ thống phát laser
“ _{xd} ” và “ _{kt} ”	Chỉ số tương ứng chỉ mặt phẳng xích đạo và mặt phẳng kinh tuyến
“ _{ph} ” và “ _{th} ”	Chỉ số tương ứng chỉ bộ phận phát và bộ phận thu laser

Kí hiệu	Ý nghĩa
S_{ph}, S_{th}	Nguồn phát laser và đầu thu quang
O_{ph1}, O_{ph2}	Quang tâm của các thấu kính phát 1, 2
O_{th1}, O_{th2}	Quang tâm của các thấu kính thu 1, 2
O_{ph3}, O_{th3}	Quang tâm của màn chắn phát và màn chắn thu
F_{ph1}, F_{th1}	Tiêu điểm trước của các thấu kính phát 1 và các thấu kính thu 1
F'_{ph2}, F'_{th2}	Tiêu điểm sau của các thấu kính phát 2 và các thấu kính thu 2
$F'_{ph2} x_{ph},$ $F'_{th2} x_{th}$	Trục quang của hệ quang bộ phận phát laser và của bộ phận thu laser
$l_{kt\ mc\ ph},$ $l_{kt\ mc\ th}$	Độ rộng khe hở (trong mặt phẳng kinh tuyến) của màn chắn phát và của màn chắn thu
$l_{xd\ mc\ ph},$ $l_{xd\ mc\ th}$	Chiều dài khe hở (trong mặt phẳng xích đạo) của màn chắn phát và của màn chắn thu
$x_{mc\ ph}$	Khoảng cách từ tâm của màn chắn phát (từ trục quang) đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn phát)
$x_{mc\ th}$	Khoảng cách từ tâm của màn chắn thu (từ trục quang) đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn thu)
$y_{mc\ ph}$	Khoảng cách từ tiêu điểm sau của các thấu kính phát và tâm của màn chắn phát (tính theo trục Oy)
$y_{mc\ th}$	Khoảng cách từ tiêu điểm sau của các thấu kính thu và tâm của màn chắn thu (tính theo trục Oy)
$\psi_{xd\ th}, \psi_{kt\ th}$	Góc mở trong mặt phẳng xích đạo và trong mặt phẳng kinh tuyến của bộ phận phát laser
$\psi_{xd\ th}, \psi_{kt\ t}$	Góc mở trong mặt phẳng xích đạo và trong mặt phẳng kinh tuyến của bộ phận thu laser
$\beta_{kt\ ph1}, \beta_{kt}$	Các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần, biên

Kí hiệu	Ý nghĩa
$\rho_{ph2}, \beta_{kt\ ph}$	xa và trung bình của chùm laser ló ra từ bộ phận phát laser
$S'_{ph}, S'_{th}, S'_{pt}$	Diện tích phần bề mặt mục tiêu được chiếu laser, có thể được thu laser và phần giao nhau giữa chúng
$l'_{kt\ ph}, l'_{kt\ th}, l'_{kt\ pt}$	Chiều rộng trong mặt phẳng kinh tuyến tương ứng của các phần diện tích bề mặt mục tiêu
x'_{ph}, x'_{th}	Khoảng cách từ giao điểm trục quang bộ phận phát laser và bộ phận thu laser với bề mặt mục tiêu đến mép dưới tương ứng của các phần diện tích bề mặt mục tiêu
d_P	Đường kính ngoài TLPK
$l_{kt\ ph\ 1}, l_{kt\ th\ 1}$	Kích thước của nguồn phát laser và của đầu thu quang tính theo mặt phẳng kinh tuyến (tại mặt phẳng tiêu cự trước của các thấu kính)
$f_{ph\ 1}, f_{ph\ 2}$	Tiêu cự trước và tiêu cự sau của các thấu kính bộ phận phát laser
$f_{th\ 1}, f_{th\ 2}$	Tiêu cự trước và tiêu cự sau của các thấu kính bộ phận thu laser.

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1. 1. Sơ đồ khối cơ bản của phần chiến đấu.....	8
Hình 1. 2. Sơ đồ chức năng chung của ngòi nổ không tiếp xúc.....	10
Hình 1. 3. Mặt kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc	14
Hình 1. 4. Sơ đồ cấu trúc hệ đo cự ly của ngòi cận đích laser	19
Hình 1. 5. Sơ đồ cấu trúc LRF.....	21
Hình 1. 6. Bộ thu laser dùng bộ dò trùng hợp.....	22
Hình 1. 7. Sơ đồ chọn thời điểm kích nổ phần chiến đấu.....	26
Hình 1. 8. Sơ đồ tính điều kiện gặp của mảnh phần chiến đấu.....	29
Hình 1. 9. Vùng quan sát mục tiêu và vùng kính nổ của ngòi nổ.....	32
Hình 2. 1. Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm thấp “Игла-Д” (Nga).....	35
Hình 2. 2. Vùng quan sát của ngòi nổ (biểu diễn trong mặt phẳng xích đạo).....	36
Hình 2. 3. Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm gần AIM 9L Sidewinder (Mỹ)....	36
Hình 2. 4. Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm gần V3C Darter (Nam Phi). 37	
Hình 2. 5. Nguyên lý tạo chùm tia ló song song và chùm tia ló phân kỳ.....	38
Hình 2. 6. Nguyên lý cấu tạo của hệ quang ngòi nổ quang học.....	39
Hình 2. 7. Nguyên lý cấu tạo của hệ phát laser dùng màn chắn.....	40
Hình 2. 8. Nguyên lý hệ quang dùng màn chắn trong thiết bị thu - phát laser....	43
Hình 2. 9. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PA1.....	44
Hình 2. 10. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PA2 (Nghiêng cả thiết bị phát và thu laser).....	45
Hình 2. 11. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PA3.....	46
Hình 2. 13. Xác định góc mở trong mặt phẳng xích đạo $\psi_{\text{xd ph}}$	50
Hình 2. 14. Sơ đồ xác định chiều dài tính theo mặt phẳng xích đạo của phần bề mặt mục tiêu được chiếu (thu) laser $l'_{\text{xd ph}}$ (vẽ tượng trưng).....	53

Hình 3. 1. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\psi}_{\text{xd ph}}, \underline{\psi}_{\text{xd th}}$ vào $l_{\text{xd ph } 2}, l_{\text{xd th } 2}$	59
Hình 3. 2. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\beta}_{\text{kt ph } 1}, \underline{\beta}_{\text{kt th } 1}$ vào $l_{\text{kt ph } 2}, l_{\text{kt th } 2}$	62
Hình 3. 3. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $l_{\text{kt ph } 2}, l_{\text{kt th } 2}$	62
Hình 3. 4. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $l_{\text{kt pt}}^*$	63
Hình 3. 5. Đồ thị sự phụ thuộc của $\quad_{\text{ph } 2}, \quad_{\text{th } 2}$ vào $l_{\text{kt mc ph}}, l_{\text{kt mc th}}$	66
Hình 3. 6. Đồ thị sự phụ thuộc của $\quad_{\text{pt}}$ vào $l_{\text{kt mc ph}}, l_{\text{kt mc th}}$	66
Hình 3. 7. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{min} vào $l_{\text{kt mc ph}}, l_{\text{kt mc th}}$	66
Hình 3. 8. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\psi}_{\text{xd ph}}, \underline{\psi}_{\text{xd th}}$ vào $l_{\text{xd mc ph}}, l_{\text{xd mc th}}$	69
Hình 3. 9. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\beta}_{\text{kt ph } 1}, \underline{\beta}_{\text{kt th } 1}$ vào $x_{\text{mc ph}}, x_{\text{mc th}}$	71
Hình 3. 10. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $x_{\text{mc ph}}, x_{\text{mc th}}$	71
Hình 3. 11. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\beta}_{\text{kt ph } 1}, \underline{\beta}_{\text{kt th } 1}$ vào $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$	73
Hình 3. 12. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$	73
Hình 3. 13. Đồ thị sự phụ thuộc $\underline{\beta}_{\text{kt ph } 2}, \underline{\beta}_{\text{kt th } 2}, \underline{\beta}_{\text{kt ph}}, \underline{\beta}_{\text{kt th}}, \underline{\Psi}_{\text{kt ph}}, \underline{\Psi}_{\text{kt th}}$ vào $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$	73
Hình 3. 14. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{min} vào $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$	74
Hình 3. 15. Đồ thị sự phụ thuộc của $\underline{\Psi}_{\text{xd ph}}, \underline{\Psi}_{\text{xd th}}$ vào $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$	74
Hình 3. 16. Lưu đồ thuật toán phần mềm tính toán tham số tối ưu cho hệ quang	80
Hình 3. 17. Tính toán tham số hệ quang ngòi nổ laser TL tầm thấp, $\beta_{\text{ktp h-yc}} = 5.67^0$	81
Hình 3. 18. Tính tham số hệ quang ngòi nổ laser TL tầm trung, $\beta_{\text{ktp h-yc}} = 18.2^0$...	81
Hình 3. 19. Quá trình lập của quần thể tự nhiên.....	82
Hình 3. 20. Lưu đồ thực hiện thuật toán GA.....	84
Hình 3. 21. Đồ thị hàm thích nghi của cá thể tốt nhất trong quần thể qua các thế hệ	88

Hình 3. 22. Đồ thị hàm thích nghi của cá thể tốt nhất trong quần thể qua các thế hệ	89
Hình 4. 1. Gói dữ liệu mã hóa bởi 31 bit mã.....	988
Hình 4. 2. Sự phụ thuộc của tỷ số $E_{thu}(R)/E_{ngưỡng}$ vào khoảng cách R từ máy đo xa laser đến mục tiêu.....	1055
Hình 4. 3. Cụ ly quan sát của cảm biến laser tăng khi năng lượng xung laser tăng.	1066
Hình 4. 4. Lưu đồ thuật toán phát chuỗi ngẫu nhiên và xác định vận tốc tiếp cận	1122
Hình 4. 5. Dữ liệu mã hóa bởi 31 bit mã truyền liên tục.....	113
Hình 4. 6. Sơ đồ chức năng hệ thống mã hóa dùng trên ngòi nổ laser.....	114
Hình 4. 7. Lưu đồ thuật toán chống nhiễu.....	11819
Hình 4. 8. Sơ đồ Matlab-Simulink của hệ thống sử dụng mã hóa.....	1201
Hình 4. 9. Sơ đồ khối hệ sinh mã Gold chiều dài 31 bằng 5 thanh ghi dịch...	1212
Hình 4. 10. Dạng xung dữ liệu truyền đi và mã Gold.....	1212
Hình 4. 11. Tín hiệu được mã hóa kết hợp nhiễu.....	1223
Hình 4. 12. Dạng xung dữ liệu sau khi đã được giải điều chế chế ở máy thu.	1223
Hình 4. 13. Khảo sát lỗi bit khi thay đổi nền nhiễu.....	1234
Hình 4. 14. So sánh tỷ lệ lỗi bit giữa sử dụng và không sử dụng mã Gold.....	1235
Hình 4. 15. Đồ thị khảo sát lỗi bit theo nhiễu.....	1267
Hình 4. 16. Sơ đồ mô phỏng đánh giá tính bảo mật và phá mã.....	1278
Hình 4. 17. KIT FPGA Spartan 3E làm khối phát và khối thu dữ liệu.....	12829
Hình 4. 18. Thiết kế khối phát trên FPGA.....	1280
Hình 4. 19. Khai báo khối phát.....	1291
Hình 4. 20. Thiết kế khối thu trên FPGA.....	1291
Hình 4. 21. Đồ thị phân tích tín hiệu trên KIT FPGA.....	1312

Hình 4. 22. Chuỗi dữ liệu phát và giải mã được.....	1312
Hình 4. 23. Thời gian trễ xử lý 1 bit dữ liệu phát và giải mã được.....	1312

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2. 1. Một số tính năng chính của TLPK tầm thấp “Игла-Д” (Nga).....	36
Bảng 2. 2. Một số tính năng chính của TLPK AIM 9L Sidewinder (Mỹ).....	37
Bảng 2. 3. Một số tính năng chính của TLPK V3C Darter (Nam Phi).....	37
Bảng 2. 4. Kết quả đo một số thông số kết cấu hình học theo hình vẽ.....	37
Bảng 3. 1. Ví dụ sự thay đổi của $l_{xđ\ ph\ 2}$, $l_{kt\ ph\ 2}$ ($l_{xđ\ th\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$) theo $f_{ph\ 1}$ ($f_{th\ 1}$).57	
Bảng 3. 2. Ví dụ sự thay đổi của $l_{xđ\ ph\ 2}$, $l_{kt\ ph\ 2}$ ($l_{xđ\ th\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$) theo $f_{ph\ 2}$ ($f_{th\ 2}$).57	
Bảng 3. 3. Ví dụ sự thay đổi của $l_{xđ\ ph\ 2}(l_{xđ\ th\ 2})$ theo $l_{xđ\ ph\ 1}$ ($l_{xđ\ th\ 1}$).58	
Bảng 3. 4. Ví dụ sự thay đổi của $l_{kt\ ph\ 2}$ ($l_{kt\ th\ 2}$) theo $l_{kt\ ph\ 1}$ ($l_{kt\ th\ 1}$).58	
Bảng 3. 5. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{xđ\ ph\ 2}$ và $l_{xđ\ th\ 2}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	60
Bảng 3. 6. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{kt\ ph\ 2}$ và $l_{kt\ th\ 2}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	61
Bảng 3. 7. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của kích thước $l_{kt\ pt}^*$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	64
Bảng 3. 8. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của các kích thước $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	65
Bảng 3. 9. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{xđ\ mc\ ph}$, $l_{xđ\ mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	68
Bảng 3. 10. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của các kích thước $x_{mc\ ph}$, $x_{mc\ th}$ đến một số tham số quang hình của ngòi nổ laser.....	70
Bảng 3. 11. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $y_{mc\ ph}$, $y_{mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser.....	72
Bảng 3. 12. Các tham số quang hợp lý cho ngòi nổ laser lắp trên ba loại tên lửa với các góc nghiêng khác nhau.....	82

Bảng 4. 1. Thông số một số máy đo xa laser.....	100
Bảng 4. 2. Ý nghĩa thông số hệ đo xa laser.....	104
Bảng 4. 3. Thông số đầu vào.....	116
Bảng 4. 4. Tổng hợp các thông số tính toán.....	119
Bảng 4. 5. Dữ liệu mô phỏng.....	120
Bảng 4. 6. So sánh tỉ lệ lỗi bit.....	123
Bảng 4. 7. Bảng tổng hợp một số kết quả ở các mức nhiễu khác nhau.....	125
Bảng 4. 8. Kết quả đánh giá.....	126

MỞ ĐẦU

Với sự phát triển của khoa học - công nghệ quân sự nói chung, khoa học - công nghệ hàng không nói riêng, hiện nay ở nhiều quốc gia đã có sự phát triển vượt bậc trong lĩnh vực công nghiệp sản xuất vũ khí, khí tài quân sự. Hiện nay có nhiều dự án tập trung nghiên cứu, thiết kế, chế tạo các loại phương tiện tập kích đường không mới với những tính năng vượt trội, như các loại máy bay chiến đấu thế hệ 4++, thế hệ 5 của Nga, Mỹ, Trung Quốc,... đã được thực hiện, thử nghiệm và đạt hiệu quả cao.

Bên cạnh đó, để tiêu diệt các phương tiện hàng không hiện đại này, các quốc gia cũng tập trung phát triển việc ứng dụng các công nghệ, các giải pháp kỹ thuật hiện đại để giải quyết một số bài toán then chốt sau:

- + Cải thiện khả năng cơ động của phương tiện bay bằng cách ứng dụng các phương pháp tạo lực và mômen điều khiển mới;
- + Tăng khả năng chống nhiễu bằng các giải pháp kỹ thuật như: sử dụng tự dẫn thụ động, hạn chế tối đa thời gian làm việc của đầu tự dẫn tích cực;
- + Tăng tốc độ và độ chính xác xử lý thông tin trên khoang nhờ ứng dụng phương tiện tính toán số tốc độ cao;
- + Tối ưu hóa quỹ đạo bay của tên lửa bằng các phương pháp dẫn mới;
- + Nâng cao hiệu quả tiêu diệt mục tiêu của phần tử chiến đấu (nâng cao chất lượng làm việc của ngòi nổ).

Cùng với việc nâng cao chất lượng điều khiển, cải thiện khả năng cơ động, khả năng chống nhiễu của tên lửa thì việc nâng cao chất lượng làm việc của phần tử chiến đấu cũng được chú trọng với mục đích tăng khả năng tiêu diệt mục tiêu. Yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng tiêu diệt mục tiêu của phần tử chiến đấu là thời điểm ngòi nổ kích nổ phần tử chiến đấu. Khi phần tử chiến đấu nổ, các phần tử sát thương (mảnh văng, thanh văng,...) được tạo ra và tác động

trong một vùng nào đó. Độ lớn và vị trí của vùng này phụ thuộc vào kết cấu của phần chiến đấu và vận tốc mang của TLPK. Xác suất tiêu diệt mục tiêu sẽ lớn nếu vùng đó trùng với vùng tồn tại của mục tiêu. Muốn vậy ngòi nổ phải tạo lệnh kích nổ phần chiến đấu ở khoảng thời điểm nhất định, nghĩa là phải có sự kết hợp giữa vùng tác động của các phần tử sát thương với vùng phản ứng của ngòi nổ. Nếu sự kết hợp đạt mức độ hợp lý thì hiệu quả sát thương mục tiêu sẽ được nâng cao.

Việc nghiên cứu phát triển ngòi nổ cho vũ khí phòng không là một yêu cầu quan trọng trong lĩnh vực đảm bảo an ninh quốc phòng. Đại đa số ngòi nổ lắp trên các tên lửa hiện đại ngày nay, ngoài cảm biến tiếp xúc, còn có cảm biến không tiếp xúc, nhờ đó hiệu quả sát thương mục tiêu được tăng lên. Các cảm biến không tiếp xúc thông thường là cảm biến ra-đa, laser chủ động. Ngòi nổ có lắp cảm biến laser thường được gọi tắt là ngòi nổ laser.

Với sự phát triển của công nghệ, máy tính thì kỹ thuật ngòi nổ laser đã đạt được nhiều thành tựu đáng chú ý như nâng cao khả năng chống nhiễu, độ chính xác cao,... Ngòi nổ laser ngày càng được ứng dụng nhiều trong các hệ thống vũ khí tiên tiến, hiện đại, do đó việc nghiên cứu phát triển ngòi nổ laser là hết sức cần thiết.

Trong ngòi nổ laser, hệ thống quang học thu phát laser đóng vai trò quyết định đến khả năng làm việc của hệ thống. Nghiên cứu, phân tích sự ảnh hưởng lẫn nhau của các tham số của hệ quang học đến chất lượng làm việc của ngòi nổ laser, xây dựng biểu thức và phần mềm tính toán tham số quang học là cơ sở cho công tác cải tiến, thiết kế hệ quang cho ngòi nổ laser phù hợp với các tên lửa hiện có của Việt Nam.

Trong tác chiến hiện nay, điều kiện làm việc của tên lửa phòng không, tên lửa hàng không (hay tên lửa không quân) ngày càng phức tạp, nhiều dạng nhiễu tác động đến tuyến thu, phát trên ngòi nổ như: khói bụi đường truyền, ánh sáng

mặt trời, các nguồn sáng phi tự nhiên, tán xạ do các bề mặt của đối tượng đã được xử lý, các nhiễu chủ động của đối phương gây ra,... Việc chống nhiễu cho ngòi nổ là bắt buộc, có thể áp dụng tổ hợp một số giải pháp chống nhiễu đồng thời, trong đó ứng dụng kỹ thuật mã hóa khi phát chùm tia laser của ngòi nổ để nâng cao khả năng chống nhiễu và phần nào đó giải quyết được yêu cầu khi đầu vào máy thu nhận được tín hiệu với tỉ số tín hiệu trên tạp nhiễu nhỏ, từ đó gián tiếp trong việc nâng cao chất lượng của ngòi nổ. Bên cạnh đó, ngày nay với hệ thống máy tính cấu hình cao, kích thước nhỏ, hoàn toàn có thể đưa lên ngòi nổ để thực hiện những kỹ thuật mã hóa phức tạp.

Xuất phát từ những vấn đề nêu trên, bài toán “*Nghiên cứu nâng cao chất lượng ngòi nổ có lắp cảm biến không tiếp xúc*” được đặt ra với mục đích nhằm nâng cao chất lượng làm việc của ngòi nổ ứng dụng công nghệ laser để cải thiện khả năng chống nhiễu cũng như tăng hiệu quả tiêu diệt mục tiêu.

Cơ sở khoa học của bài toán nghiên cứu ngòi nổ laser:

- Lý thuyết đạn tên lửa phòng không;
- Lý thuyết xử lý tín hiệu quang - laser;
- Lý thuyết bắn tên lửa phòng không.

Cơ sở thực tiễn của bài toán nghiên cứu ngòi nổ không tiếp xúc laser là:

Nhu cầu nâng cao chất lượng, hiệu quả cho ngòi nổ không tiếp xúc nói chung và cho ngòi nổ laser nói riêng trong quá trình thiết kế mới và nghiên cứu cải tiến các hệ thống ngòi nổ cho tên lửa phòng không luôn được đặt ra như một nhu cầu thực tế, có tính cấp thiết liên quan tới sự phát triển không ngừng của các loại mục tiêu đường không hiện đại.

Khả năng ứng dụng những thành tựu mới của công nghệ máy tính số trong việc giải các thuật toán điều chế tín hiệu phát, tối ưu hóa các hệ thống quang nhằm nâng cao chất lượng tín hiệu thu - phát laser,... cho phép hiện thực hóa các giải pháp nâng cao chất lượng ngòi nổ sử dụng công nghệ laser phức tạp trên cơ

sở nâng cao chất lượng thông tin đo được về mục tiêu đặc biệt khi tên lửa tiếp cận mục tiêu ở cự li gần.

Phạm vi, đối tượng nghiên cứu của luận án:

Phạm vi nghiên cứu của luận án được hạn chế trong khuôn khổ bài toán nâng cao chất lượng làm việc cho ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không khi cải thiện hệ thống quang với mục đích tối ưu hóa hệ thống quang để đảm bảo phối hợp vùng quan sát và vùng sát thương, đồng thời cải thiện chất lượng thu và xử lý tín hiệu laser. Bên cạnh đó nâng cao khả năng chống nhiễu bằng việc mã hóa tín hiệu phát laser đảm bảo không bị phát hiện đồng thời tăng khả năng phân biệt cự li mục tiêu.

Đối tượng nghiên cứu của luận án là lớp các TLPK hoặc TLKQ sử dụng ngòi nổ laser chủ động.

Mục đích nghiên cứu

Mục đích lý thuyết:

- Phân tích, đánh giá các tham số ảnh hưởng đến chất lượng làm việc ngòi nổ không tiếp xúc;
- Nghiên cứu, tính toán tối ưu hóa tham số cho hệ quang ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không;
- Ứng dụng giải pháp kỹ thuật mã hóa điều chế tín hiệu phát để nâng cao khả năng chống nhiễu, tăng khả năng phân biệt và đo cự li mục tiêu khi ở cự li gần.

Mục đích thực nghiệm:

- Kiểm chứng tính đúng đắn của giải pháp đưa ra để nâng cao chất lượng làm việc của hệ quang trong quá trình thu và xử lý tín hiệu laser;
- Kiểm chứng hiệu quả giải pháp luận án đưa ra trong việc tối ưu hóa hệ quang phục vụ bài toán thiết kế ngòi nổ laser khi tính đến việc nâng cao khả năng chống nhiễu bằng việc điều chế quy luật tín hiệu tín phát, qua đó nâng cao khả năng phân biệt theo cự li, cải thiện chất lượng tín hiệu đầu vào tuyến thu.

Nội dung nghiên cứu của luận án gồm:

Căn cứ mục đích, phạm vi và đối tượng nghiên cứu, căn cứ phương pháp xây dựng các bài toán cần phải giải, luận án được bố cục như sau:

Mở đầu: Đặt vấn đề nghiên cứu.

Chương 1 - Tổng quan về ngòi nổ không tiếp xúc

Nội dung chính của chương là xác định nhiệm vụ của luận án, thể hiện ở phát biểu các bài toán cần giải.

Để xác định rõ các bài toán cần giải, trong chương này ngoài phân tích tổng quan về thực trạng các ngòi nổ đang được sử dụng hiện nay, trọng tâm là ngòi nổ không tiếp xúc laser, tác giả sử dụng các nguồn tài liệu tham khảo [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [12], [14], [15], [20], [23], [24], [26], [28], [30], [31], [32] và công cụ toán giải tích, phân tích những hạn chế của ngòi nổ truyền thống khi tiêu diệt các mục tiêu cơ động. Từ đó đề xuất hướng nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả cho ngòi nổ không tiếp xúc laser khi mục tiêu cơ động cao.

Chương 2 - Nghiên cứu thiết kế hệ quang học chuyên dụng cho ngòi nổ laser

Nội dung của chương này tập trung vào việc xây dựng mô hình, xây dựng biểu thức giải tích phục vụ tính toán bộ tham số hợp lý nhất đối với hệ thống quang hình học của ngòi nổ laser. Trên cơ sở bộ tham số nhận được làm cơ sở ứng dụng cho lớp tên lửa phòng không hoặc tên lửa không quân sử dụng ngòi nổ laser. Cơ sở của nội dung chương này được xuất phát từ các nguồn tài liệu [8], [9], [10].

Chương 3 - Nghiên cứu tính toán tham số hợp lý cho hệ quang của ngòi nổ laser

Trên cơ sở các biểu thức toán học nhận được ở chương 2, nội dung chương 3 sẽ tiến hành khảo sát và đưa ra giải pháp để xác định bộ tham số quang học hợp lý để có thể phối hợp giữa vùng hoạt động của ngòi nổ với vùng sát thương của đầu đạn. Xây dựng bộ phần mềm tính toán bộ tham số quang học làm cơ sở

phục vụ bài toán thiết kế hệ quang khi sử dụng ngòi nổ laser. Cở sở của nội dung chương này được xuất phát từ các nguồn tài liệu [8], [9], [10], [37], [38], [39], [40], [41].

Chương 4 - Nâng cao độ tin cậy cho ngòi nổ laser trên cơ sở kỹ thuật mã hóa xung thăm dò.

Nội dung của chương tập trung vào việc phân tích ảnh hưởng của nhiễu đến hiệu quả tiêu diệt mục tiêu của ngòi nổ laser. Trên cơ sở những phân tích này đưa ra một giải pháp hiệu quả cho việc chống nhiễu tích cực bằng việc điều chế tín hiệu phát theo phương pháp mã hóa ứng dụng cho ngòi nổ laser. Thuật toán mã hóa tín hiệu phát được kiểm chứng thông qua việc tính toán bằng các biểu thức giải tích cũng như thông qua thực nghiệm. Các kết quả nhận được cùng cho một kết quả là nâng cao được khả năng chống nhiễu cũng như nâng cao khả năng đo cự li, phân biệt theo cự li mục tiêu đặc biệt ở giai đoạn tiếp cận gần mục tiêu. Cở sở của nội dung chương này được xuất phát từ các nguồn tài liệu [6], [7], [8], [11], [12], [13], [14], [18], [19], [21], [28], [32], [33], [35].

Phần kết luận

Khẳng định và nêu rõ những kết quả nghiên cứu đã đạt được trong luận án. Chỉ ra những đóng góp khoa học mới của luận án và những công trình khoa học mà tác giả đã công bố. Kiến nghị, đề xuất hướng ứng dụng và phát triển những kết quả nghiên cứu.

Đánh giá tính thực tiễn, tính khoa học và đóng góp mới của luận án.

Tính thực tiễn:

- Đã sử dụng công cụ toán học ứng dụng cho mô hình quang học ngòi nổ laser để đưa ra được thuật toán tính toán và tối ưu bộ tham số cho hệ quang áp dụng được cho ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không;
- Làm rõ được bài toán ngòi nổ laser ứng dụng cho tên lửa phòng không;

- Nâng cao khả năng chống nhiễu cho ngòi nổ bằng thuật toán mã hóa tín hiệu xung phát laser;

- Kết quả nghiên cứu của luận án là tài liệu tham khảo, có tác dụng tích cực phục vụ nghiên cứu và giảng dạy trong các học viện, nhà trường.

Tính khoa học và đóng góp mới của luận án.

a) Luận án có những đóng góp hoàn thiện và đề xuất một thiết kế hệ quang sử dụng trong ngòi nổ laser ứng dụng cho tên lửa phòng không. Cùng với thiết kế này, luận án đã đề xuất hai thuật toán để xác định các thông số hình học của hệ nhằm đạt được góc làm việc tối ưu để nâng cao khả năng tiêu diệt mục tiêu bởi ngòi nổ laser.

b) Luận án đưa ra một giải pháp chống nhiễu hiệu quả bằng thuật toán mã hóa xung dò, thuật toán đưa ra có khả năng chống nhiễu cao đối với các tín hiệu nhiễu tích cực, nâng cao khả năng phân biệt và độ chính xác đo cự li.

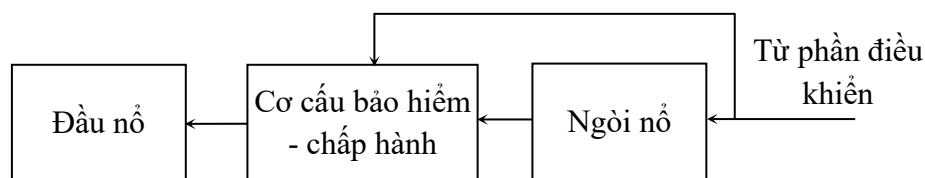
c) Về thực nghiệm đã xây dựng được phần mềm tính toán bộ tham số quang học làm cơ sở phục vụ cho bài toán thiết kế ngòi nổ laser. Khảo sát, mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink và thực nghiệm trên KIT FPGA Spartan 3E để kiểm chứng giải pháp và thuật toán mã hoá chống nhiễu mà luận án đề xuất.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ NGÒI NỔ KHÔNG TIẾP XÚC

1.1. Tổng quan về thiết bị chiến đấu của tên lửa phòng không có điều khiển

Sơ đồ khối đơn giản của thiết bị chiến đấu (phần chiến đấu) có dạng như hình 1.1 [2].



Hình 1. 1. Sơ đồ khối cơ bản của phần chiến đấu

Tên lửa phòng không có điều khiển trong thành phần của mình không thể thiếu phần chiến đấu (bao gồm ngòi nổ và đầu nổ). Đối với các loại tên lửa hiện đại, ngoài ngòi nổ tiếp xúc còn có thêm ngòi nổ không tiếp xúc; khi tên lửa tiếp cận mục tiêu, ngòi nổ không tiếp xúc sẽ xác định thời điểm nổ có hiệu quả nhất và điều khiển kích nổ đầu nổ thông qua cơ cấu bảo hiểm - chấp hành (thiết bị bảo hiểm).

Thiết bị bảo hiểm chỉ cho phép kích nổ đầu nổ khi có đầy đủ các điều kiện an toàn. Trong trường hợp tên lửa không tiếp cận được mục tiêu, để tránh nổ nguy hiểm khi tên lửa hết điều khiển hoặc hết nhiên liệu và có khả năng nổ trên mặt đất, thiết bị bảo hiểm sẽ thực hiện việc kích nổ gây tự hủy đầu nổ theo nguyên tắc ô-tô-nôm.

Ngoài ra trong các chế độ bắn đặc biệt, đầu nổ có thể được kích nổ bằng các lệnh đưa tới từ xa qua thiết bị bảo hiểm mà không cần tới ngòi nổ không tiếp xúc. Trong trường hợp khẩn cấp thiết bị bảo hiểm cũng tiến hành kích nổ đầu nổ hoặc là theo lệnh từ xa hoặc theo nguyên tắc ô-tô-nôm (các trường hợp khẩn cấp có thể là do những trục trặc kỹ thuật mà sau khi phóng tên lửa không bay về phía mục tiêu mà bay lệch khỏi hướng ban đầu và có khả năng gây nguy hiểm cho phía phóng tên lửa).

Khi được kích nổ đầu nổ sẽ nổ và bằng các phần tử sát thương của đầu nổ có thể tiêu diệt mục tiêu với xác suất yêu cầu.

1.2. Phân loại ngòi nổ

Có nhiều cách để phân loại các ngòi nổ. Tuy nhiên, ta có thể chia các loại ngòi nổ thành 3 loại khác nhau:

- Theo năng lượng để làm ngòi nổ:
 - + Ngòi cơ khí: Sự kích động mạch nổ được thực hiện bởi động năng của các chi tiết ngòi;
 - + Ngòi điện: Sự kích động mạch nổ được thực hiện bằng năng lượng điện.
- Theo vị trí lắp vào đầu đạn:
 - + Ngòi đầu;
 - + Ngòi đáy;
 - + Ngòi đầu - đáy.
- Theo tác dụng của ngòi:
 - + Ngòi chạm nổ (ngòi nổ tiếp xúc): Là ngòi hoạt động khi đầu đạn va chạm vào mục tiêu hay các chương ngại vật;
 - + Ngòi hẹn giờ: Là ngòi gây nổ đầu đạn tại một điểm xác định trên quỹ đạo;
 - + Ngòi không tiếp xúc (ngòi nổ cận đích).

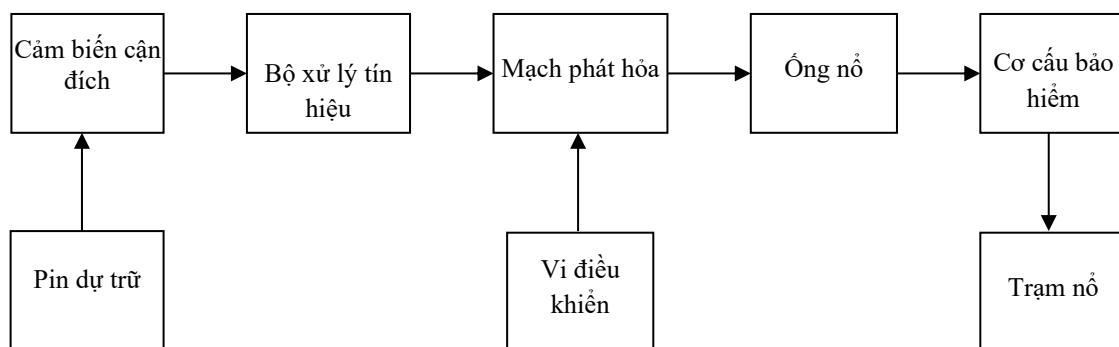
Đối với các loại tên lửa phòng không hiện đại, hầu hết đều có lắp ngòi không tiếp xúc. Do đó, đối tượng nghiên cứu trong khuôn khổ luận án tập trung vào ngòi nổ không tiếp xúc.

1.3. Ngòi nổ không tiếp xúc.

Ngòi nổ không tiếp xúc (Proximity Fuzes) là tập hợp các thiết bị dùng để kích nổ đầu nổ ở thời điểm thích hợp nhất cách mục tiêu một khoảng xác định sao cho hiệu quả tiêu diệt mục tiêu lớn nhất. Ngòi hoạt động dựa vào năng lượng phản xạ hay phát xạ từ mục tiêu.

Để kích nổ đầu nổ trong các loại tên lửa phòng không có thể dùng các loại ngòi nổ như: ngòi nổ từ tính, ngòi nổ quang học, ngòi nổ âm, ngòi nổ vô tuyến, ...

Tuy các ngòi nổ này ứng dụng các hiệu ứng khác nhau nhưng cấu trúc chung có dạng như trên hình 1.2.



Hình 1. 2. Sơ đồ chức năng chung của ngòi nổ không tiếp xúc

Tùy thuộc vào dạng mục tiêu, kiểu dạng ngòi nổ mà sơ đồ trên có thể có hoặc không có khối nguồn chiếu xạ. Các thành phần chức năng của hệ thống ngòi nổ gồm:

- Cảm biến cận đích: dùng để xác định các tham số trạng thái của mục tiêu (cự li, góc) dựa vào năng lượng phản xạ hay phát xạ từ mục tiêu;

- Bộ xử lý tín hiệu: Có nhiệm vụ so sánh tín hiệu cự ly từ cảm biến cận đích với tín hiệu chuẩn tương ứng. Từ kết quả so sánh sẽ tạo ra tín hiệu kích hoạt mạch phát hỏa.

- Mạch phát hỏa: Tạo ra xung điện để kích hoạt ống nổ khi nhận được tín hiệu từ bộ xử lý tín hiệu. Mạch phát hỏa là một cổng ngăn tín hiệu, được mở sau một khoảng thời gian đặt trước hoặc có lệnh từ vi điều khiển.

- Cơ cấu bảo hiểm: Có nhiệm vụ ngăn cách đường truyền giữa ống nổ và trạm nổ, không gây nổ ngẫu nhiên cho đến khi cơ cấu khởi động an toàn thực hiện mở bảo hiểm.

- Vi điều khiển: Kiểm tra trạng thái an toàn, mở mạch điểm hỏa vào thời điểm thích hợp. Các bộ vi điều khiển phức tạp còn thực hiện chức năng xử lý tín hiệu.

1.3.1. Phân loại ngòi nổ không tiếp xúc

Để phân loại ngòi nổ không tiếp xúc có thể căn cứ vào nhiều dấu hiệu khác nhau. Căn cứ vào nơi phát ra năng lượng mà ngòi nổ không tiếp xúc sử dụng để xác định thời điểm kích nổ thường chia ra ba loại: Ngòi nổ không tiếp xúc chủ động, ngòi nổ không tiếp xúc thụ động và ngòi nổ không tiếp xúc bán chủ động.

- Ngòi nổ không tiếp xúc chủ động là ngòi nổ chủ động phát năng lượng chiếu xạ vào mục tiêu và kích nổ dựa vào năng lượng phản xạ trở về từ mục tiêu.

- Ngòi nổ không tiếp xúc thụ động là ngòi nổ chỉ thu năng lượng phản xạ từ mục tiêu để kích nổ đầu đạn.

- Ngòi nổ không tiếp xúc bán chủ động kích nổ dựa vào năng lượng phản xạ từ mục tiêu, nhưng nguồn năng lượng này không phải do ngòi nổ và mục tiêu phát xạ ra mà do đối tượng khác (đài điều khiển, máy bay,...) phát xạ ra và chiếu vào mục tiêu.

Căn cứ vào các dạng năng lượng mà ngòi nổ không tiếp xúc sử dụng để kích nổ, có thể chia ngòi nổ không tiếp xúc ra thành các loại sau:

- Ngòi nổ tĩnh điện, ngòi nổ điện dung: dùng năng lượng điện trường;
- Ngòi từ trường, ngòi cảm ứng: dùng năng lượng từ trường;
- Ngòi vô tuyến: dùng năng lượng trường điện từ ở dải sóng vô tuyến;
- Ngòi quang học: dùng năng lượng trường điện từ ở dải sóng từ hồng ngoại tới cực tím.

Trong các loại ngòi nổ không tiếp xúc kể trên thì ngòi nổ vô tuyến và ngòi nổ quang học được sử dụng rộng rãi nhất. Căn cứ vào dải sóng làm việc ngòi nổ quang học có thể được chia thành các loại sau:

- Ngòi nổ hồng ngoại;
- Ngòi nổ quang truyền hình;
- Ngòi nổ laser.

1.3.2. Một số yêu cầu đối với ngòi nổ không tiếp xúc

Ngòi nổ không tiếp xúc phải đảm bảo các yêu cầu kỹ - chiến thuật sau:

- Đảm bảo được bán kính kích nổ theo yêu cầu;
- Ngòi nổ không tiếp xúc phải thiết lập được mối liên hệ với độ tin cậy cao với mục tiêu trong suốt thời gian hình thành tín hiệu kích nổ phân chiến đấu và kích nổ phân chiến đấu ở thời điểm hợp lý đảm bảo hiệu quả sát thương cao nhất;
- Đảm bảo hiệu quả sát thương mục tiêu cao:

Hiệu quả sát thương mục tiêu W [%] là tỷ số giữa diện tích mục tiêu bị tác động bởi các phần tử sát thương của phân chiến đấu S_{ST} [m²] với diện tích lớn nhất của mục tiêu có thể bị tác động trong điều kiện tiếp cận cụ thể $S_{ST.max}$ [m²]:

$$W = \frac{S_{ST}}{S_{ST.max}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

- Có độ chống nhiễu cao (đặc biệt là đối với các loại nhiễu có tổ chức);
- Đảm bảo kích nổ tự hủy phân chiến đấu;
- Đảm bảo an toàn tuyệt đối cho người và các trang thiết bị.

1.3.3. Các đặc trưng cơ bản của ngòi nổ không tiếp xúc lắp cho TLPK

Các đặc trưng chủ yếu của ngòi nổ không tiếp xúc ảnh hưởng đến hiệu quả chiến đấu của TLPK là [8]:

- Mặt kích nổ;
- Bán kính kích nổ;
- Độ chính xác;
- Độ chống nhiễu;
- Độ tin cậy hoạt động.

a. Mặt kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc

Một đặc trưng quan trọng của ngòi nổ không tiếp xúc lắp trên TLPK là mặt kích nổ. Mặt kích nổ là tập hợp quỹ tích các điểm xác định vị trí trung bình tâm khối của phân chiến đấu đối với mục tiêu ở thời điểm kích nổ của ngòi nổ.

Véc-tơ vận tốc tương đối của tên lửa so với mục tiêu $\bar{V}_{td}$ [m/s] được tính bởi công thức sau:

$$\bar{V}_{td} = \bar{V}_P - \bar{V}_U \quad (1.2)$$

trong đó: - $\bar{V}_P$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc của TLPK;
- $\bar{V}_U$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc của mục tiêu.

Véc-tơ vận tốc tương đối của mục tiêu so với tên lửa $\bar{V}_{dt}$ [m/s] sẽ là:

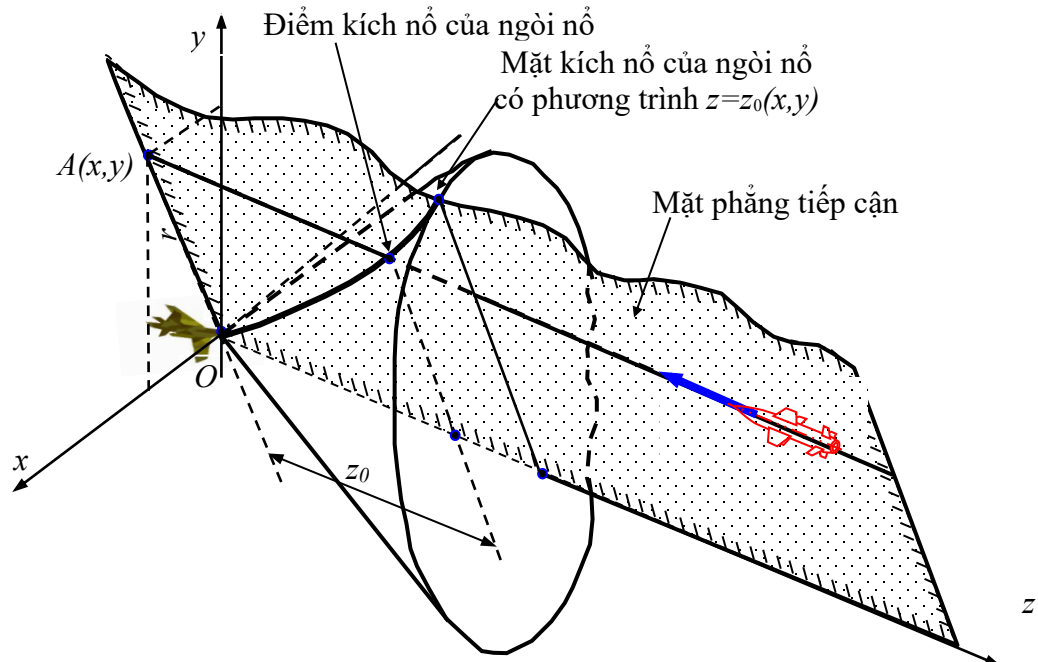
$$\bar{V}_{dt} = \bar{V}_U - \bar{V}_P \quad (1.3)$$

Trong khoảng không gian khá gần mục tiêu, nơi xảy ra sự tương tác giữa ngòi nổ không tiếp xúc với mục tiêu, với độ chính xác chấp nhận được, có thể coi véc-tơ vận tốc tương đối của TLPK là không đổi. Do đó, nếu lấy hệ tọa độ Đề-các vuông góc $Oxyz$ có gốc tọa độ gắn với tâm tên lửa O , trục Oz hướng ngược chiều với véc-tơ vận tốc tương đối $\bar{V}_{td}$ còn trục Oy nằm trong mặt phẳng thẳng đứng và hướng lên trên, thì tất cả các quỹ đạo có thể có của mục tiêu sẽ được biểu thị bởi các đường thẳng song song với trục Oz . Vị trí của các quỹ đạo này được xác định bởi các tọa độ (x, y) .

Khoảng cách r [m] giữa mục tiêu và véc-tơ vận tốc tương đối của TLPK $\bar{V}_{td}$ được gọi là độ trượt của TLPK:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.4)$$

Điểm trên quỹ đạo TLPK mà tại đó xảy ra sự kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc gọi là điểm kích nổ của ngòi nổ. Vị trí của điểm kích nổ trên quỹ đạo (x, y) được xác định bởi tọa độ z_0 [m] (hình 1.3).



Hình 1. 3. Mặt kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc [8]

Do sự kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc chịu ảnh hưởng của một số các yếu tố ngẫu nhiên nên vị trí thực tế của TLPK ở thời điểm kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc khi bắn nhiều phát TLPK trong những điều kiện giống nhau sẽ không phân bố trên bề mặt mà chiếm một vùng không gian nào đó quanh mục tiêu. Khi đó mặt kích nổ của ngòi sẽ là kỳ vọng toán học các tọa độ z của điểm kích nổ. Phương trình của mặt kích nổ ở dạng tổng quát có thể viết:

$$z_0(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z|x, y) dz \quad (1.5)$$

trong đó $f(z|x, y)$ là quy luật phân bố có điều kiện của tọa độ z của điểm kích nổ.

Hình dạng mặt kích nổ và vị trí của nó đối với mục tiêu phụ thuộc vào đặc tính của ngòi nổ không tiếp xúc, kiểu mục tiêu và điều kiện tiếp cận mục tiêu của TLPK (giá trị và hướng của véc-tơ vận tốc tương đối).

Khi bắn mục tiêu trên mặt đất (mặt nước) mặt kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc có dạng một mặt song song với mặt đất (mặt nước).

b. Bán kính kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc

Vì các phân tử nhạy cảm của ngòi nổ không tiếp xúc đều có độ nhạy nhất định, nên kích thước phần mặt kích nổ trong mặt phẳng tiếp cận bất kỳ (mặt phẳng tiếp cận chứa quỹ đạo TLPK và trục Oz) được xác định bằng góc giới hạn bởi một độ trượt lớn nhất $r_{max}(\theta)$ [m] nào đó của TLPK. Ở các độ trượt lớn hơn giá trị $r_{max}(\theta)$ ngòi nổ không tiếp xúc không kích nổ, vì cường độ tín hiệu có ích thấp hơn giá trị ngưỡng của ngòi nổ. Giá trị $r_{max}(\theta)$ được gọi là bán kính kích nổ (bán kính làm việc, bán kính hoạt động) của ngòi nổ không tiếp xúc. Bán kính kích nổ trung bình $\bar{r}_{max}$ [m] của ngòi nổ không tiếp xúc được xác định như sau:

$$\bar{r}_{max} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} r_{max}(\theta) \cdot d\theta \quad (1.6)$$

Khi bắn mục tiêu trên mặt đất (mặt nước) bán kính kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc được xác định bởi độ cao kích nổ của ngòi nổ so với mặt đất (mặt nước). Thực tế, độ cao kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc cũng là một đại lượng ngẫu nhiên và thuật ngữ “độ cao kích nổ của ngòi nổ” được hiểu là giá trị trung bình của các độ cao ngẫu nhiên đó. Độ cao kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc phụ thuộc vào đặc tính của ngòi nổ, đặc tính địa hình khu vực có mục tiêu và điều kiện tiếp cận của TLPK với mục tiêu (tức là phụ thuộc vào véc-tơ vận tốc tương đối của TLPK so với mục tiêu).

Căn cứ vào vùng sát thương động của phần chiến đấu đối với lớp mục tiêu đã cho để thiết kế ngòi nổ không tiếp xúc có mặt kích nổ và bán kính kích nổ tương ứng sao cho đạt hiệu quả sát thương của phần chiến đấu là cao nhất.

c. Độ chính xác của ngòi nổ không tiếp xúc

Độ chính xác của ngòi nổ không tiếp xúc là đặc trưng xác định giá trị sai lệch của điểm kích nổ thực tế so với mặt kích nổ của ngòi nổ. Nguyên nhân của sự tản mát điểm kích nổ là do các sai số khi sản xuất các linh kiện, chi tiết, thiết bị của ngòi nổ, do sự tăng giảm điện áp nguồn cung cấp, do đặc tính ngẫu nhiên

của quá trình tương tác giữa ngòi nổ với mục tiêu và nhiều các yếu tố khác. Về mặt định lượng độ chính xác được xác định bởi giá trị sai lệch trung bình bình phương (phương sai quân bình) σ_z [m] của các điểm kích nổ thực tế so với mặt kích nổ (hoặc độ cao kích nổ).

d. Độ chống nhiễu của ngòi nổ không tiếp xúc

Độ chống nhiễu của ngòi nổ không tiếp xúc là khả năng chống kích nổ khi có tác động của các tín hiệu giả (được gọi là nhiễu). Nhạy cảm với nhiễu là nhược điểm chính của ngòi nổ không tiếp xúc so với các loại ngòi nổ tiếp xúc.

Nhiều tự nhiên đối với ngòi nổ không tiếp xúc là các nhiễu nhiệt, nhiễu của nguồn điện nuôi hoặc các tạp nhiễu tạo nên bởi sự không đồng nhất trong khí quyển như mây, mưa, sương mù, ...

Nhiều nhân tạo đối với ngòi nổ không tiếp xúc là nhiễu do đối phương tạo ra để gây nổ sớm ngòi nổ ở cự ly an toàn cho mục tiêu. Nhiều nhân tạo được các nguồn phát nhiễu chuyên dụng của đối phương phát ra (máy phát nhiễu vô tuyến, đạn tạo nhiễu hồng ngoại, phát laser,...) hoặc các đám mây gồm các phần tử phản xạ (dải lá kim loại,...) do các phương tiện phóng rải của đối phương tạo ra.

e. Độ tin cậy của ngòi nổ không tiếp xúc

Độ tin cậy của ngòi nổ không tiếp xúc là xác suất hoạt động bình thường (không hỏng hóc và không kích nổ sớm) của nó.

Nguyên nhân hỏng hóc của ngòi nổ không tiếp xúc có thể do:

- Cơ cấu mở bảo hiểm xa không làm việc;
- Mạch lửa làm việc không bình thường do đứt dây cầu trở của môi lửa điện (kíp nổ điện), thuốc hỏa thuật hoặc thuốc gợi nổ/truyền nổ bị biến chất,...;
- Các linh kiện của ngòi nổ bị hỏng: đứt mạch, thùng tụ, cháy điện trở, gãy chân đèn,... trong quá trình sản xuất, lắp ráp, bảo quản, vận chuyển và trong quá trình phóng TLPK,...;
- Các linh kiện bị già hoá, biến chất;

- Tín hiệu kích nổ không đủ mạnh.

Nguyên nhân sự kích nổ sớm của ngòi nổ không tiếp xúc trên quỹ đạo TLPK có thể do:

- Sự tăng đột biến của điện áp trong mạch điện ngòi nổ không tiếp xúc xuất hiện tại thời điểm bắt đầu bật cho mạch hoạt động có sự cố hỏng hóc hoặc tại thời điểm có linh kiện đột nhiên bị hỏng;

- Các tạp nhiễu nhiệt, các tạp nhiễu do chấn động rung, các tạp nhiễu do nguồn nuôi.

Các tạp nhiễu chấn động rung xuất hiện do các quá tải chấn động rung của TLPK khi bay trong không khí tác động lên các chi tiết, do động cơ TLPK làm việc hoặc do các chi tiết khác chuyển động ở bên cạnh ngòi nổ không tiếp xúc (máy lái, máy phát điện,...).

Các tạp nhiễu nguồn nuôi là các dao động của điện áp nguồn nuôi. Chúng xuất hiện nhiều nhất khi bật đưa nguồn nuôi vào hoạt động.

Xác suất hoạt động bình thường của ngòi nổ không tiếp xúc p phụ thuộc vào độ trượt r [m] của TLPK. Độ trượt r càng tăng thì xác suất $p(r)$ càng giảm. Sự phụ thuộc này mang đặc tính ngưỡng, nếu biết sự phụ thuộc này thì có thể tìm bán kính kích nổ trung bình $\bar{r}_{max}$ [m] của ngòi nổ không tiếp xúc:

$$\bar{r}_{max} = \int_0^{\infty} p(r) \cdot dr \quad (1.7)$$

Khi tính toán hiệu quả bắn ta thường coi hàm $p(r)$ có dạng bậc thang:

$$p(r) = \begin{cases} 1 & \text{khi } 0 < r \leq \bar{r}_{max} \\ 0 & \text{khi } r > \bar{r}_{max} \end{cases} \quad (1.8)$$

1.4. Ngòi nổ không tiếp xúc sử dụng cảm biến laser

Ngòi nổ laser sử dụng tia laser để chiếu xạ mục tiêu sau đó thu tia laser tán xạ từ mục tiêu và xử lý tín hiệu thu được để đưa ra các tham số trạng thái của mục tiêu rồi đưa ra tín hiệu đến thiết bị chấp hành của hệ thống ngòi nổ.

Laser có khả năng tạo ra xung ngắn công suất cao, độ rộng cỡ na-nô giây. Khả năng này đã được ứng dụng để chế tạo các ra-đa laser xung dùng làm cảm biến cận đích trong ngòi nổ. Ngòi nổ cận đích laser dựa trên cơ sở máy đo xa laser xung, nhờ các thuộc tính đặc biệt của laser tạo nên ngòi nổ cận đích laser có tính ưu việt so với các ngòi nổ cận đích ra-đa sóng điều tần liên tục FMCW. Công nghệ ngòi nổ laser xung có khả năng đạt được độ chính xác và độ phân giải về cự ly rất cao, cụ thể:

- *Độ phân giải cự ly và độ chính xác*: Ra-đa xung ngắn có khả năng phân giải cự ly ở mức cao và rất chính xác. Độ chính xác của ra-đa, dựa trên kỹ thuật phát hiện sườn xung thu về có tỷ lệ tín/tạp tốt, có thể đạt đến nhỏ hơn 15cm [7].

- *Cự ly tối thiểu*: Do xung ngắn, ra-đa có thể dùng ở cự ly ngắn. Ra-đa xung 10ns có thể đo cự ly ngắn tới cỡ 1,5m thậm trí còn nhỏ hơn [7]. Độ phân giải cự ly tốt cho phép mỗi tâm điểm của từng mục tiêu phân tán được phân biệt.

- *Khả năng chống chế áp điện tử (ECCM)*: Ra-đa xung ngắn có thể vô hiệu hóa hoạt động của một số bộ chế áp điện tử hoặc bộ gây nhiễu lặp lại. Dải băng thông rộng của ra-đa xung ngắn có ưu thế để chống lại các máy gây nhiễu [1], [2], [10].

Các máy phát laser có khả năng tạo được công suất đỉnh rất cao với các xung na-nô giây. Các điôt laser xung công suất cao làm việc ở bước sóng 0,8 μm đến 0,9 μm có khả năng tạo công suất đỉnh tới 100W. Máy phát laser 10W với xung 10ns, năng lượng xung là 0,1 μJ , với công suất trung bình 10mW và độ điền đầy xung 0,1% thì sẽ đo được cự ly tới hàng chục mét. Dùng công thức tính toán chi tiết cho thấy, với cự ly khoảng 50m thì cần nguồn phát laser với mức năng lượng chỉ khoảng 1mJ; rất nhiều nguồn laser bán dẫn thương mại có thể đáp ứng được yêu cầu này.

Việc dùng laser để đo cự ly có hai ưu điểm: (i) Dùng hệ quang phù hợp có thể làm gọn chùm tia laser thích hợp với các thiết bị có yêu cầu đặc biệt; có thể

tạo ra các chùm tia dạng “bút chì”, chùm tia hình ống rỗng. (ii) Các hệ thống laser rất khó bị phát hiện bởi các bộ chế áp điện tử ECM.

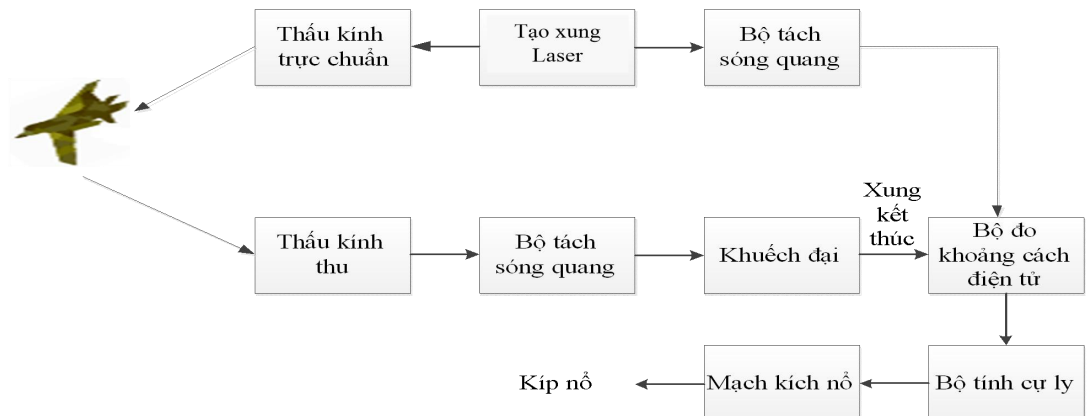
Về cơ bản, có hai kỹ thuật đo cự ly được dùng cho ngòi cận đích laser: Đo thời gian xung và đo điều chế chùm tia.

1.4.1. Phương pháp đo thời gian xung.

Phương pháp đo thời gian xung sử dụng bộ phát laser có độ rộng hẹp và công suất đỉnh xung cao, như bộ phát dùng điôt laser và bộ phát laser chuyển mạch Q. Các hệ thống laser đo cự ly này được sử dụng để đo cự ly giữa nguồn (tại nơi đặt hệ đo cự ly) và một số đối tượng được đo (là mục tiêu). Chúng được thực hiện theo trình tự sau:

- Chiếu xạ mục tiêu bằng xung laser từ máy phát;
- Dò phản xạ của chùm tia từ mục tiêu;
- Đo thời gian trễ tín hiệu laser đi từ nguồn phát tới mục tiêu và trở về.

Sơ đồ khối của hệ đo cự ly laser được trình bày trên hình 1.4.



Hình 1. 4. Sơ đồ cấu trúc hệ đo cự ly của ngòi cận đích laser [7]

Hệ đo bám cự ly đo thời gian giữ chậm giữa tín hiệu máy phát với tín hiệu phản xạ về và biến đổi thành cự ly. Thiết bị ở đầu ra máy phát và đầu vào máy thu là các hệ quang. Hệ quang ở thiết bị phát hoạt động như ăng ten có nhiệm vụ thu hẹp góc mở của chùm tia phát và hướng chùm tia tới mục tiêu. Hệ quang ở thiết bị thu hoạt động như ăng ten thu để thu các phần của chùm phản xạ, hội tụ

vào cảm biến. Tín hiệu thu được tách sóng bởi các bộ tách sóng có tốc độ và độ nhạy cao. Tín hiệu đầu ra của photodiode được khuếch đại nhờ bộ khuếch đại sơ bộ và sau đó đưa sang hệ đo cự ly để từ đó tính toán cự ly đến mục tiêu.

1.4.2. Phương pháp đo điều chế chùm tia

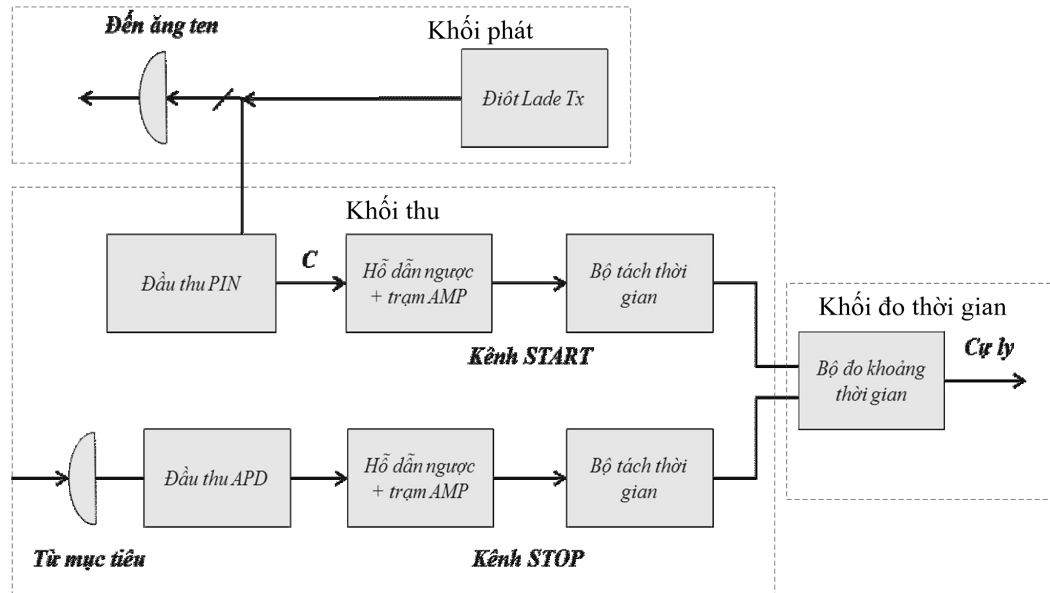
Đo xa bằng điều chế chùm tia (*Beam Modulation Telemetry*), dùng laser làm sóng mang. Thông tin về cự ly được mã hóa trong sóng mang phụ ở dải tần UHF hoặc dải tần vi ba. Sóng mang phụ điều chế nguồn laser CW, thường dùng diode laser. Sóng mang phụ trong hệ thống ra-đa là tín hiệu sóng liên tục RF, tín hiệu RF FMCW hoặc tín hiệu RF điều chế pha hoặc RF điều chế tạp. Hệ thống sóng mang phụ CW, về cơ bản, có thể tách được thông tin Doppler. Việc điều chế phức tạp như FMCW và các hệ thống điều chế khác cũng tách được thông tin cự ly. Tia laser phản xạ có biên độ đã được điều chế bởi sóng mang phụ được tách ra bởi photodiode phù hợp và được khuếch đại trong hệ thống laser xung. Thông tin Doppler và thông tin cự ly trong tín hiệu điều chế sau đó được xử lý để tách thông tin về tốc độ và cự ly. Các hệ thống đo xa điều chế tia có 2 đặc điểm:

- (a) Kế thừa mọi đặc điểm của hệ thống ra-đa dùng dạng sóng FMCW hoặc dạng sóng mã hóa - pha.
- (b) Vì thông tin sóng mang phụ được mang trong tia laser, các hệ thống đó có độ miễn chế áp điện từ cao.

Tuy vậy, hệ thống đo xa điều chế tia cũng vẫn còn một số hạn chế. Khó có thể điều chế trực tiếp diode laser tần số trên 1 GHz. Việc dải thông bị giảm sẽ hạn chế độ chính xác đo cự ly của ngòi. Dải thông có thể được tăng lên nhờ sử dụng hệ thống điều chế phức tạp, với công nghệ cũ như trước đây sẽ quá cồng kềnh để có thể đưa vào một ngòi cận đích cần kết cấu nhỏ gọn.

1.4.3. Nguyên lý và kết cấu cơ bản của bộ đo cự ly laser xung

Các khối cơ bản trong máy đo cự ly (đo xa) laser xung (LRF) như trên Hình 1.5, gồm: Khối phát laser, khối thu laser và khối đo khoảng thời gian [7].



Hình 1. 5. Sơ đồ cấu trúc LRF

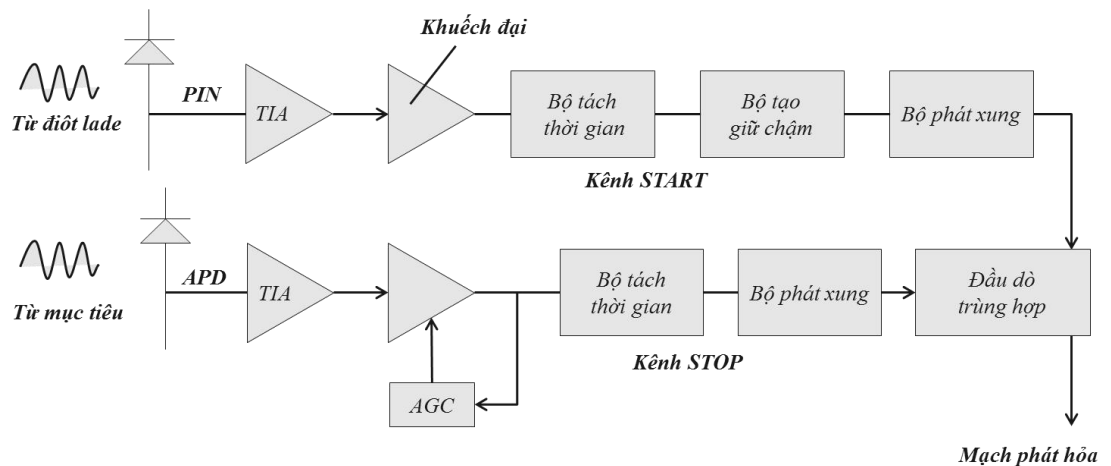
Cấu tạo của khối phát gồm hai phần chính là hệ kính quang và bộ phát laser. Các tham số cơ bản của bộ phát laser chi phối đặc trưng của máy đo xa laser xung là công suất phát ra, độ rộng xung, độ dốc của các xung laser và tần số lặp lại của xung. Các yêu cầu về công suất xung của nguồn laser thay đổi từ một vài W tới vài kW.

Phần lớn các ngòi nổ cận đích laser yêu cầu công suất từ vài W tới vài trăm W. Công suất phát được xác định bằng các yêu cầu về cự ly đối với máy đo xa laser, bản chất của mục tiêu, diện tích phản xạ hiệu dụng của mục tiêu, các điều kiện nhìn thấy được mà ngòi được thiết kế để hoạt động và độ nhạy của bộ thu. Độ rộng xung của nguồn laser được xác định bằng các yêu cầu về độ phân giải của LRF và độ dốc sườn xung. Độ rộng xung của nguồn laser thường từ trong khoảng từ 1ns đến 5ns, được xác định bằng độ chính xác cự ly. Tần số lặp lại của xung bị chi phối bởi yêu cầu số lượng xung hợp lý để đảm bảo tỷ số tín/tạp,

độ chính xác cự ly và bảo đảm không có cảnh báo sai. Tần số lặp lại biến thiên từ vài chục kHz đến 100kHz.

Bộ phát laser tạo ra các xung với độ rộng nhỏ hơn 10ns. Tín hiệu xung chuẩn được đưa trực tiếp tới đầu thu PIN (*Photodetector PIN*). Sau đó, xung chuẩn được khuếch đại và kích tạo ra xung khởi đầu (*Start Pulse*). Xung phản xạ từ mục tiêu với công suất vài trăm nW được thu bởi một PIN hoặc đầu dò quang APD. Tín hiệu thu ở đầu ra quang học với biên độ nhỏ được khuếch đại điện áp đến một mức nhất định (vài V). Khoảng thời gian giữa xung khởi đầu và xung phản xạ được đo bằng đơn vị thời gian và chuyển đổi thành tham số cự ly. Bộ phát laser thường là một điốt laser xung tiếp giáp dị thể công suất cao.

Cấu trúc của bộ thu có dạng như hình 1.6.



Hình 1. 6. Bộ thu laser dùng bộ dò trùng hợp

Các tham số cơ bản của thiết bị thu laser bao gồm: độ nhạy máy thu, hệ số khuếch đại, dải thông và dải động máy thu.

1.4.4. Các nhược điểm của ngòi nổ laser

Ngoài những ưu điểm, ngòi nổ laser còn có những nhược điểm:

- Bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường: Trong những điều kiện bụi và khí thuốc của chiến trường, trong điều kiện sương mù ngưng tụ, mây mù dày

đặc, chùm tia laser bị suy giảm lớn. Sự tán xạ do sương mù, khí thuốc hoặc bụi dày đặc cũng có thể gây ra các cảnh báo sai.

- Bị ảnh hưởng bởi bức xạ nền: Với những ngôi mặt đất, thì bức xạ nền là sự phát tán bức xạ mặt trời từ mặt đất. Trong những ngôi chống máy bay, thì vấn đề bức xạ nền ảnh hưởng nhiều đến bộ thu của ngôi ở những điều kiện hoặc những tư thế nhất định, có thể thu ánh sáng mặt trời một cách trực tiếp, làm bão hòa bộ thu quang học.

1.5. Tổng quan các hướng nghiên cứu về ngôi nổ không tiếp xúc laser dùng cho TLPK

1.5.1. Tình hình nghiên cứu trong nước

Tại Việt Nam đã có nhiều công trình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ laser cho các ngành công nghiệp dân dụng và một số khí tài quân sự (kính ngắm, ống nhòm, máy đo xa,...) nhưng chưa có công trình nghiên cứu nào về ngôi nổ laser nói chung và ngôi nổ laser dùng cho TLPK nói riêng. Do đó, nghiên cứu về ngôi nổ laser dùng cho TLPK là một vấn đề mới hiện nay.

Hiện nay trong trang bị của Việt Nam có khoảng 20 loại tên lửa phòng không và tên lửa hàng không để tiêu diệt các mục tiêu trên không và mục tiêu trên mặt đất, mặt nước. Các loại tên lửa này đều do nước ngoài sản xuất, duy nhất chỉ có tên lửa phòng không Igla do Việt Nam nhận chuyển giao công nghệ sản xuất. Trong số đó:

- Đối với tên lửa hàng không, ngôi nổ của các loại tên lửa tiêu diệt mục tiêu trên không đều dùng hai loại cảm biến là cảm biến tiếp xúc và cảm biến không tiếp xúc dạng vô tuyến làm việc theo nguyên lý Dopler (trừ tên lửa PBB-AE sử dụng cảm biến quang điện tử [12]); ngôi nổ của tên lửa tiêu diệt mục tiêu trên mặt đất, mặt nước (không đối đất, không đối hải) chỉ dùng một loại cảm biến tiếp xúc dạng cơ điện.

- Đối với tên lửa phòng không tầm thấp, chỉ dùng một loại ngòi nổ tiếp xúc, các loại tên lửa tầm trung và tầm xa có sử dụng thêm ngòi nổ không tiếp xúc dạng vô tuyến.

1.5.2. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu trang thiết bị vũ khí nói chung và ngòi nổ trên tên lửa nói riêng là lĩnh vực bí mật quốc gia. Do đó, các công bố đều không cụ thể mà chỉ chủ yếu giới thiệu về các lý thuyết và giải pháp kỹ thuật chung cho ngòi nổ không tiếp xúc [7]. Bên cạnh đó, có một số nghiên cứu liên quan đến lĩnh vực ngòi nổ laser được công bố tập trung theo các hướng sau:

1.5.2.1. Hướng nghiên cứu về hệ quang học của ngòi nổ laser

Liên quan đến hướng nghiên cứu này, một số công bố tập trung vào cải thiện công suất phát, tiết kiệm năng lượng [27], [28], giảm kích thước và trọng lượng hệ quang trên ngòi nổ tiếp xúc [15], [33]. Tuy nhiên, chưa có công bố nào cho ngòi nổ không tiếp xúc laser TLPK.

1.5.2.2. Hướng nghiên cứu về giải pháp chống nhiễu.

Liên quan đến hướng nghiên cứu này, các công bố tập trung vào việc đưa ra một số giải pháp kỹ thuật cải thiện hệ thấu kính bằng việc đặt thêm kính lọc với mục đích ngăn chặn nhiễu không nằm trong dải phổ tín hiệu mục tiêu phản xạ [3], [4], [7], [9], [10].

Bên cạnh đó, một số công bố tập trung theo hướng mã hóa tín hiệu phát laser theo nguyên tắc giả ngẫu nhiên [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Hướng nghiên cứu này cho kết quả khiêm tốn so với ngòi nổ xung laser truyền thống về khả năng chống nhiễu.

Trong [28] các tác giả đã đề xuất hướng xây dựng hệ thống thành mô-đun phát, mô-đun nhận, hệ thống quang học và mô-đun xử lý thông tin.

Tài liệu [13] nghiên cứu về hiệu suất của tín hiệu ra-đa được mã hóa với một chuỗi giả ngẫu nhiên. Các tín hiệu là sóng liên tục (*continuous wave - CW*),

được mã hóa theo pha bởi một mã tuần hoàn có độ dài tối đa tuyến tính nhị phân, được tạo ra bởi một thanh ghi dịch chuyển 8 bit và sau đó được tổng quát hóa cho mã có độ dài tùy ý.

Tài liệu [19] đã đề xuất việc sử dụng mã giả ngẫu nhiên sử dụng chống nhiễu cho thiết bị thăm dò laser dạng liên tục CW.

Các công trình nghiên cứu theo hướng nâng cao khả năng chống nhiễu cho ngòi nổ laser đã có những kết quả nhất định, nghiên cứu theo hướng mã hóa tín hiệu xung dò cho tín hiệu laser dạng liên tục; một số công trình có đề cập đến việc mã hóa theo nguyên tắc giả ngẫu nhiên. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu còn ở mức hạn chế và vấn đề đưa ra chưa được tường minh.

1.6. Đặt bài toán nghiên cứu.

Một trong những nhiệm vụ quan trọng là phải chọn cho ngòi nổ không tiếp xúc thời điểm kích nổ thích hợp, hay nói cách khác là phải chọn vị trí kích nổ phần chiến đấu sao cho có lợi nhất. Tất nhiên, tác động sát thương mục tiêu còn phụ thuộc vào tính chất của phần chiến đấu và của mục tiêu. Đối với mục tiêu có vận tốc càng lớn thì yêu cầu này càng phức tạp.

Nếu việc sát thương mục tiêu của phần chiến đấu có tính định hướng không cao thì rõ ràng kích nổ phần chiến đấu ở khoảng cách tới mục tiêu nhỏ nhất là có lợi nhất. Khi đó, nhiệm vụ của ngòi nổ không tiếp xúc là xác định thời điểm tới hạn mà lúc đó khoảng cách tới mục tiêu $D_{td}[m]$ đạt giá trị nhỏ nhất, nghĩa là:

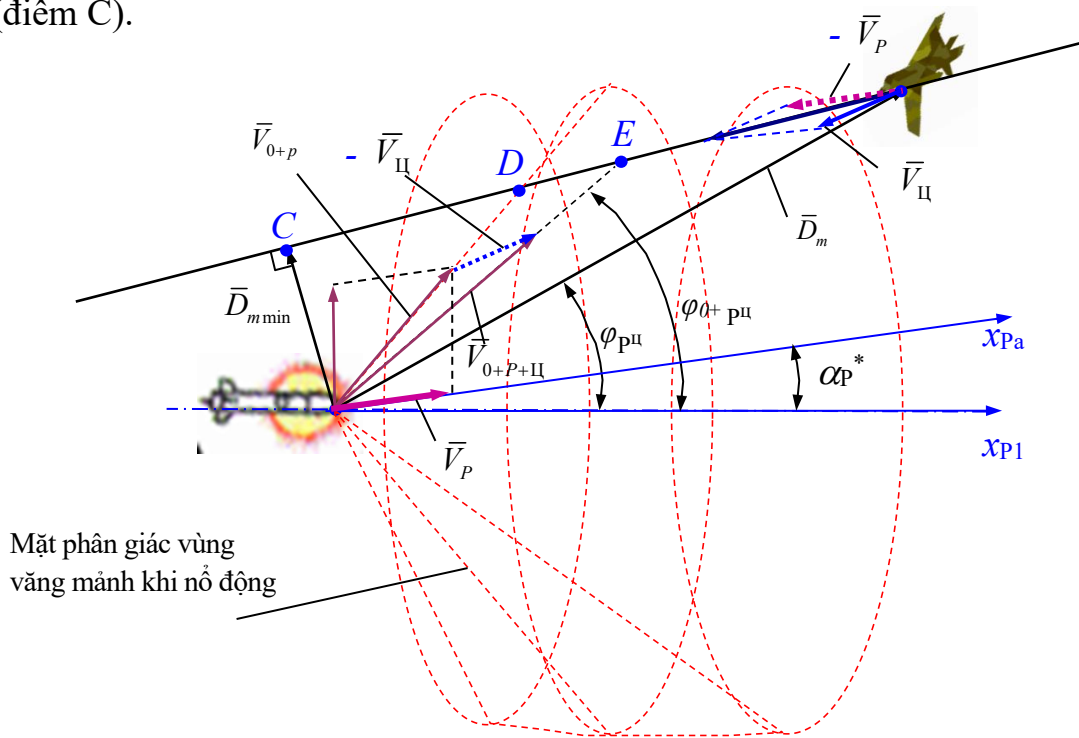
$$\frac{dD_{td}(t)}{dt} = 0 \quad (1.9)$$

Với trường hợp này, để xác định thời điểm kích nổ phần chiến đấu có lợi phải đo khoảng cách giữa TLPK và mục tiêu $D_{td}(t)$.

Trong trường hợp phần chiến đấu có tính định hướng sát thương không cao thì mật độ mảnh văng trong vùng bán kính sát thương thấp hơn nhiều so với trường hợp phần chiến đấu có tính định hướng sát thương cao. Vì vậy, phần chiến đấu của

TLPK thường có tính định hướng sát thương ở những mức độ nhất định nào đó. Khi đó, việc kích nổ phần chiến đấu ở khoảng cách cực tiểu tới mục tiêu không còn có lợi nhất nữa.

Giả sử vùng văng mảnh đạn khi nổ động của phần chiến đấu có dạng hình rẻ quạt quay xung quanh trục dọc phần chiến đấu (hình 1.7), tên lửa chuyển động tương đối so với mục tiêu và đang ở khoảng cách nhỏ nhất so với mục tiêu (điểm C).



Hình 1. 7. Sơ đồ chọn thời điểm kích nổ phần chiến đấu

Giải thích các ký hiệu trên Hình 1.7:

- $\bar{V}_{\Pi}$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc của mục tiêu;
- $\bar{V}_p$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc của TLTK;
- $\bar{V}_0$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ tĩnh;
- $\bar{V}_{0+p}$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ động (có tính đến véc-tơ vận tốc mang của TLTK) bay theo đường phân giác góc $\varphi_{0+p+\Pi}$ (bay trong mặt phân giác của vùng văng mảnh khi nổ động);

- $\bar{V}_{0+P+\Pi}$ [m/s]: Véc-tơ vận tốc tương đối ban đầu của mảnh văng khi nổ động bay theo đường phân giác góc $\varphi_{0+\Pi}$ (bay trong mặt phân giác của vùng văng mảnh khi nổ động);
- $\bar{D}_m$ [m]: Véc-tơ khoảng cách từ TLPK tới mục tiêu;
- $\bar{D}_{m\min}$ [m]: Véc-tơ khoảng cách ngắn nhất từ TLPK tới mục tiêu;
- $\varphi_{0+\Pi}$ [độ]: Góc hướng véc-tơ vận tốc tương đối so với mục tiêu của mảnh văng khi nổ động (có tính đến véc-tơ vận tốc mang của TLPK) bay trong mặt phân giác của vùng văng mảnh khi nổ động;
- φ_{Π} [độ]: Góc hướng từ TLPK đến mục tiêu.

Nếu ở thời điểm này ta kích nổ phần chiến đấu thì toàn bộ mảnh sẽ bay vào vùng không có mục tiêu, tức là sẽ không có mảnh nào bay trúng mục tiêu.

Thời điểm kích nổ có lợi nhất là khi mục tiêu ở điểm E và sẽ gặp những mảnh đạn bay theo mặt phân giác vùng rẽ quạt văng mảnh khi nổ động (phân giác của góc φ_{0+td}) với véc-tơ vận tốc của chúng $\bar{V}_{0+P}$ [m/s] có tính đến vận tốc mang của TLPK $\bar{V}_p$ [m/s] tại điểm D. Điểm D chính là giao điểm của quỹ đạo bay mục tiêu với mặt phân giác vùng rẽ quạt văng mảnh khi nổ động. Ta có:

$$\bar{V}_{0+P} = \bar{V}_0 + \bar{V}_p \quad (1.10)$$

Như vậy, để xác định thời điểm kích nổ phần chiến đấu có lợi nhất ta phải giải bài toán gặp (va chạm) giữa mảnh văng và mục tiêu.

Trong trường hợp chung, ta phải biết các đặc trưng vùng văng của mảnh đạn và các tham số chuyển động của mục tiêu so với TLPK (véc-tơ vận tốc tương đối của mục tiêu so với TLPK $\bar{V}_{td}$, véc-tơ khoảng cách từ TLPK đến mục tiêu $\bar{D}_m$):

$$\bar{V}_{td} = \frac{d\bar{D}_m}{dt} \quad (1.11)$$

Do đó, để xác định thời điểm kích nổ phần chiến đấu có lợi nhất ta chỉ cần đo khoảng cách D_m và tọa độ góc của mục tiêu trong hệ tọa độ liên kết.

Thông thường, ta giải bài toán gặp cho trường hợp trung bình: không tính đến tản mát của các loạt TLPK khác nhau và mục tiêu có các tham số trung bình trong toàn dải thay đổi.

Khi đó, nhiệm vụ của thiết bị đo chỉ là xác định khoảng cách $D_m(t)$ trong hệ tọa độ liên kết gắn với TLPK. Đây là bài toán đo khoảng cách thông thường có thể giải quyết bằng các thiết bị đo (ra-đa, đo xa quang học,...) đặt trên TLPK hoặc tại nơi điều khiển TLPK (tại nơi phóng TLPK). Tuy nhiên, do khoảng cách $D_m(t)$ rất nhỏ so với khoảng cách từ đài điều khiển TLPK (từ nơi phóng TLPK) tới mục tiêu và do phải đo $D_m(t)$ trong hệ tọa độ liên kết nên thường đặt thiết bị đo ngay trên TLPK.

Trên cơ sở các tham số chuyển động mục tiêu đo được, thiết bị tính toán của ngòi nổ không tiếp xúc phải xác định thời điểm kích nổ phần chiến đấu có lợi nhất và tạo lệnh kích nổ. Để làm được điều đó phải giải bài toán gặp của mảnh và mục tiêu.

** Điều kiện để mảnh phần chiến đấu gặp mục tiêu*

Giả thiết trong vùng gặp véc-tơ vận tốc của TLPK $\vec{v}_p$, của mục tiêu $\vec{v}_{\Pi}$ và của mảnh khi nổ động $\vec{v}_{0+p}$ là không đổi.

Để đảm bảo cho mảnh gặp được mục tiêu thì véc-tơ vận tốc tương đối của mảnh khi nổ động so với mục tiêu $\vec{v}_{0+p-\Pi}$ [m/s] phải hướng vào mục tiêu.

$$\vec{v}_{0+p-\Pi} = \vec{v}_{0+p} - \vec{v}_{\Pi} = \vec{v}_0 + \vec{v}_p - \vec{v}_{\Pi} \quad (1.12)$$

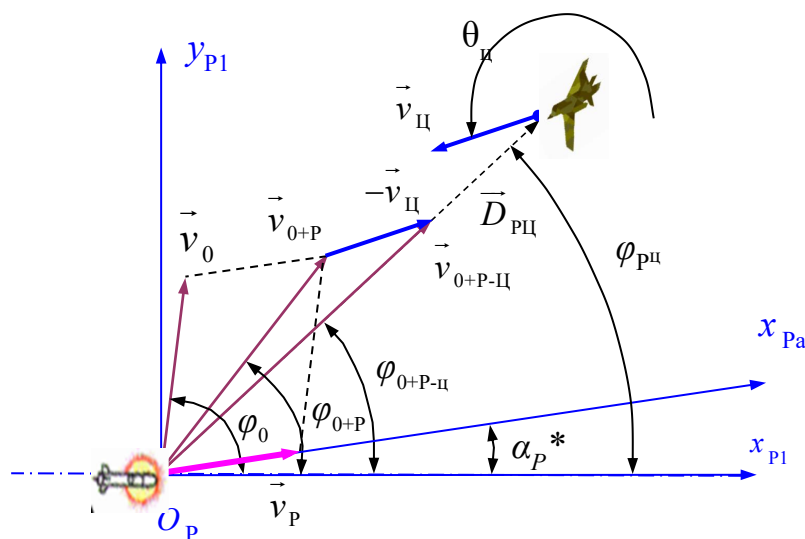
Vậy điều kiện gặp của mảnh với mục tiêu là:

$$\varphi_{\Pi} = \varphi_{0+p-\Pi} \quad (1.13)$$

Điều kiện gặp của mảnh chiến đấu thể hiện trên Hình 1.8, trong đó:

- α_p^* [độ]: Góc tấn của TLPK;
- φ_0 [độ]: Góc hướng véc-tơ vận tốc bay tán ban đầu của mảnh văng khi nổ tĩnh (khi TLPK đặt tĩnh, không bay);

- φ_{0+P} [độ]: Góc hướng véc-tơ vận tốc bay tán ban đầu của mảnh văng khi nổ động (khi TLPK đang bay, có tính đến véc-tơ vận tốc mang của TLPK);
- $\varphi_{0+P-\Pi}$ [độ]: Góc hướng véc-tơ vận tốc bay tán tương đối ban đầu của mảnh văng khi nổ động so với mục tiêu;
- $\varphi_{P\Pi}$ [độ]: Góc hướng từ TLPK đến mục tiêu (góc xác định véc-tơ đường ngắm của TLPK);
- θ_{Π} [độ]: Góc hướng véc-tơ vận tốc của mục tiêu.



Hình 1. 8. Sơ đồ tính điều kiện gặp của mảnh phân chiến đấu

Ta có:

$$\operatorname{tg} \varphi_{0+P} = \frac{v_{0+P} \cdot y_{P1}}{v_{0+P} \cdot x_{P1}} \quad (1.14)$$

trong đó:

- $v_{0+P} \cdot x_{P1}$ [m/s]: Hình chiếu trên trục Ox_{P1} của véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ động;
- $v_{0+P} \cdot y_{P1}$ [m/s]: Hình chiếu trên trục Oy_{P1} của véc-tơ vận tốc ban đầu của mảnh văng khi nổ động.

Theo hình 1.8 và chiếu công thức (1.12) lên trục Ox_{P1} thì (1.14) có dạng:

$$\operatorname{tg} \varphi_{0+P-II} = \frac{v_0 \cdot \sin \varphi_0 + v_P \cdot \sin \alpha_P - v_{II} \cdot \sin \theta_{II}}{v_0 \cdot \cos \varphi_0 + v_P \cdot \cos \alpha_P - v_{II} \cdot \cos \theta_{II}} \quad (1.15)$$

Vì góc tấn của TLPK α_P rất nhỏ nên có thể coi $\alpha_P \approx 0$. Khi đó:

$$\operatorname{tg} \varphi_{0+P-II} = \frac{v_0 \cdot \sin \varphi_0 - v_{II} \cdot \sin \theta_{II}}{v_0 \cdot \cos \varphi_0 + v_P - v_{II} \cdot \cos \theta_{II}} \quad (1.16)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{0+P-II} = \frac{\frac{v_0}{v_P} \cdot \sin \varphi_0 - \frac{v_{II}}{v_P} \cdot \sin \theta_{II}}{\frac{v_0}{v_P} \cdot \cos \varphi_0 - \frac{v_{II}}{v_P} \cdot \cos \theta_{II} + 1} \quad (1.17)$$

Ta nhận thấy các tham số của phần chiến đấu, TLPK và vận tốc của mục tiêu là đều có giới hạn nên nếu θ_{II} có biến thiên trong cả phạm vi $(0^\circ \div 360^\circ)$ thì $\operatorname{tg} \varphi_{0+P-II}$ luôn hữu hạn. Tức là φ_{0+P-II} chỉ dao động trong một giới hạn xác định:

$$\varphi_{0+P-II} \cdot \min \leq \varphi_{0+P-II} \leq \varphi_{0+P-II} \cdot \max \quad (1.18)$$

Các giá trị giới hạn $\varphi_{0+P-II} \cdot \min$, $\varphi_{0+P-II} \cdot \max$ phụ thuộc vào các tỷ số $\frac{v_0}{v_P}$, $\frac{v_{II}}{v_P}$ và

góc hướng véc-tơ vận tốc của mảnh văng khi nổ tĩnh φ_0 .

Ví dụ, với $\frac{v_0}{v_P} = 2$, $\frac{v_{II}}{v_P} \leq 0,5$ và $\varphi_0 = 60^\circ$ ta có $37^\circ \leq \varphi_{0+P-II} \leq 53^\circ$. Như vậy,

khoảng thay đổi của φ_{0+P-II} là 16° .

Khi đó, nếu góc mở vùng văng mảnh khi nổ tĩnh của phần chiến đấu $\Omega_0 \geq 20^\circ$ và đảm bảo điều kiện gập của mảnh sao cho góc hướng trung bình $\bar{\varphi}_{0+P-II}$ [độ] của véc-tơ vận tốc tương đối của mảnh văng khi nổ động so với mục tiêu có giá trị $\bar{\varphi}_{0+P-II} \approx 45^\circ$ thì dù góc θ_{II} có giá trị nào (mục tiêu bay với bất cứ hướng nào so với TLPK) mảnh đạn vẫn trùm lên mục tiêu.

Như vậy, để đảm bảo sát thương mục tiêu chỉ cần kích nổ phần chiến đấu ở thời điểm sao cho góc hướng véc-tơ đường ngắm của TLPK φ_{PII} bằng góc hướng trung bình của véc-tơ vận tốc tương đối của mảnh văng khi nổ động so với mục tiêu $\overline{\varphi}_{0+P-II}$:

$$\overline{\varphi}_{0+P-II} = \varphi_{PII} \quad (1.19)$$

Với các thông số về phần chiến đấu, TLPK và mục tiêu khác nhau thì $\overline{\varphi}_{0+P-II}$ sẽ khác nhau.

** Phối hợp đặc trưng của ngòi nổ không tiếp xúc và đặc trưng của phần chiến đấu*

Ngòi nổ không tiếp xúc (ngòi nổ vô tuyến, ngòi nổ quang học) thu tín hiệu phản xạ hoặc phát về từ mục tiêu. Nếu tín hiệu thu được đủ lớn ngòi nổ sẽ kích nổ phần chiến đấu, nếu không thì phần chiến đấu sẽ không được kích nổ.

Như vậy, đối với ngòi nổ không tiếp xúc sẽ tồn tại vùng kích nổ (vùng làm việc) và vùng phản ứng (vùng quan sát, vùng nhạy cảm).

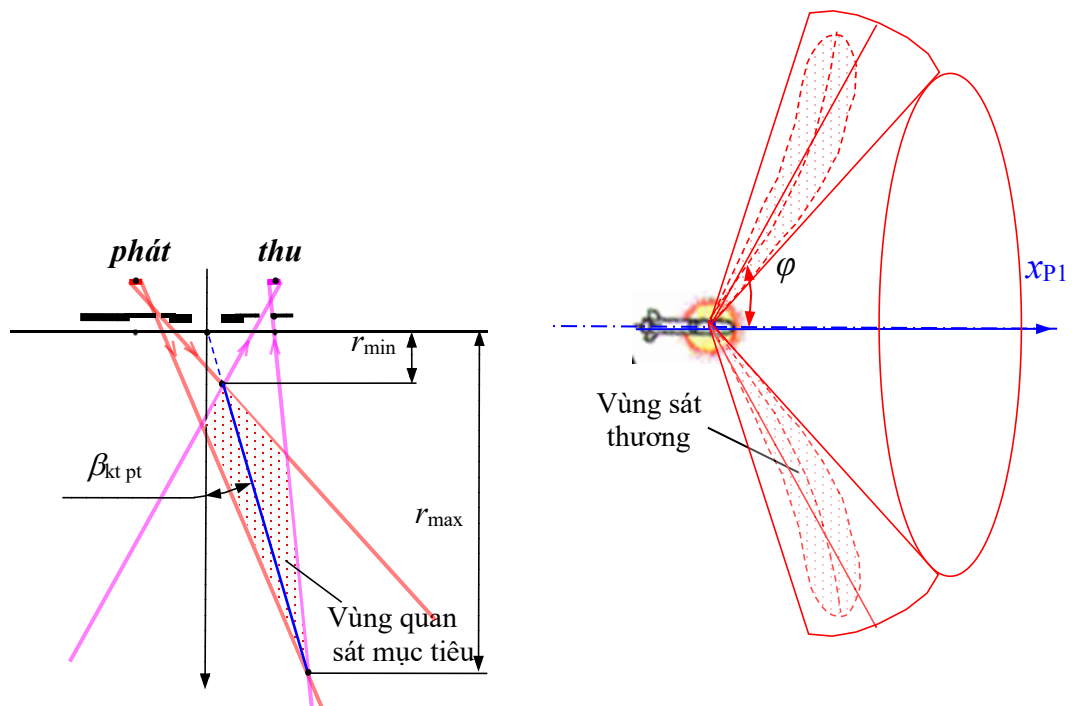
Vùng phản ứng của ngòi nổ không tiếp xúc là vùng không gian quanh TLPK nếu mục tiêu nằm ở đó thì ngòi nổ sẽ bắt đầu nhận thông tin về mục tiêu. Đối với ngòi nổ vô tuyến vùng phản ứng được xác định bởi cánh sóng an-ten thu. Đối với ngòi nổ quang học vùng phản ứng được xác định bởi vùng quan sát (trường nhìn) của các phần tử thu quang.

Nếu mục tiêu nằm ở vùng phản ứng nhưng ở khoảng cách xa quá hoặc định hướng của mục tiêu ứng với giá trị năng lượng thu được nhỏ (do diện tích phản xạ hiệu dụng nhỏ,...) không đủ lớn để tạo tín hiệu kích nổ phần chiến đấu. Do đó, có thêm khái niệm về vùng kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc.

Vùng kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc là vùng không gian bao quanh TLPK mà khi trọng tâm của mục tiêu ở vào vùng đó thì ngòi nổ sẽ kích nổ phần chiến đấu.

Vùng kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc là một phần của vùng phản ứng.

Theo yêu cầu của ngòi nổ không tiếp xúc, muốn sát thương được mục tiêu trước tiên ngòi nổ không tiếp xúc phải thu được tín hiệu thông tin mục tiêu sau đó kích nổ phân chiến đấu ở thời điểm có lợi, nghĩa là chỉ kích nổ phân chiến đấu khi mục tiêu ở vùng mà nếu tiếp tục bay thì mục tiêu sẽ gặp mảnh trong vùng văng mảnh. Nếu vùng này lại chính là vùng kích nổ thì có nghĩa là vùng sát thương đã được phối hợp với vùng kích nổ của ngòi nổ không tiếp xúc.



Hình 1.9. Vùng quan sát mục tiêu và vùng kích nổ của ngòi nổ

Từ những phân tích các yêu cầu đặt ra đối với ngòi nổ không tiếp xúc lắp trên TLPK và nhiệm vụ nghiên cứu, có thể xác định những bài toán cơ bản cần phải giải nhằm nâng cao chất lượng làm việc của ngòi nổ sử dụng công nghệ laser trên đạn TLPK hiện có như sau:

Bài toán thứ nhất:

Xây dựng mô hình toán học, các biểu thức tính toán các tham số phục vụ bài toán thiết kế quang học cho ngòi nổ laser.

Đối với mỗi loại tên lửa phòng không sử dụng ngòi nổ laser có kích thước khác nhau thì giá trị góc β cũng sẽ khác nhau. Nếu tại thời điểm kích nổ, giá trị góc β không phù hợp với giá trị góc φ thì hiệu quả kích nổ tiêu diệt mục tiêu sẽ thấp. Do đó, cần phải có được mô hình hệ quang trường minh mô tả các mối quan hệ phục vụ việc tính các góc β . Trên cơ sở các biểu thức toán học này sẽ đề ra giải pháp tính toán, tối ưu hóa các tham số quang học ngòi nổ laser để đảm bảo phối hợp bài toán vùng kích nổ với vùng quan sát của ngòi nổ.

Bài toán 2:

Tối ưu hóa các tham số quang học ngòi nổ laser để đảm bảo phối hợp bài toán vùng kích nổ với vùng quan sát của ngòi nổ.

Bài toán này được đưa ra xuất phát từ việc phân tích mối quan hệ giữa vùng kích nổ và vùng quan sát của ngòi nổ laser trên hình 1.9. Để đảm bảo phối hợp được giữa vùng kích nổ với vùng quan sát thì trong quá trình thiết kế hệ quang ngòi nổ laser cần phải đưa ra được bộ tham số hợp lý để đảm bảo phối hợp giữa các góc β và góc φ trong quá trình tiếp cận mục tiêu.

Giải quyết được bài toán này (tối ưu hóa các tham số quang học) sẽ đảm bảo được trong quá trình kích nổ, số lượng mảnh văng sẽ nằm tối đa trong vùng sát thương và sẽ tiêu diệt mục tiêu với xác suất lớn nhất.

Bài toán 3:

Nâng cao khả năng chống nhiễu cho ngòi nổ laser bằng việc đưa ra một thuật toán mã hoá tín hiệu phát laser với mục đích chống các loại nhiễu tích cực cho ngòi nổ laser, đồng thời nâng cao khả năng đo và phân biệt theo cự li, từ đó nâng cao được chất lượng làm việc của ngòi nổ laser.

1.7. Kết luận chương 1

Từ những nghiên cứu tổng quan về ngòi nổ không tiếp xúc, các đặc trưng của ngòi nổ ta rút ra một số kết luận sau:

1. Nghiên cứu bài toán nâng cao chất lượng làm việc của ngòi nổ không tiếp xúc nói chung và ngòi nổ laser nói riêng là có tính cấp thiết và thực tiễn cao trong giai đoạn hiện nay trong việc làm chủ các trang bị khí tài tên lửa thế hệ mới. Qua đó đưa ra được các giải pháp kỹ thuật nâng cao chất lượng làm việc của ngòi nổ laser, tăng khả năng tiêu diệt mục tiêu.

2. Cần thiết phải đưa ra được mô hình toán học cho việc tính toán hợp lí các tham số của hệ quang ngòi nổ laser để đảm bảo nâng cao độ nhạy cho tuyến thu, tăng khả năng đo và phân biệt mục tiêu theo cự li để đảm bảo phối hợp bài toán vùng vắng mảnh đạn với vùng sát thương.

3. Nâng cao khả năng chống nhiễu bằng việc đưa ra thuật toán mã hóa tín hiệu xung dò máy phát laser, đảm bảo chống nhiễu tích cực đặc biệt khi làm việc ở cự li gần mục tiêu.

Trong những chương tiếp theo là những nội dung liên quan trực tiếp tới việc giải ba bài toán đã nêu và mô phỏng đánh giá kết quả của từng bài toán.

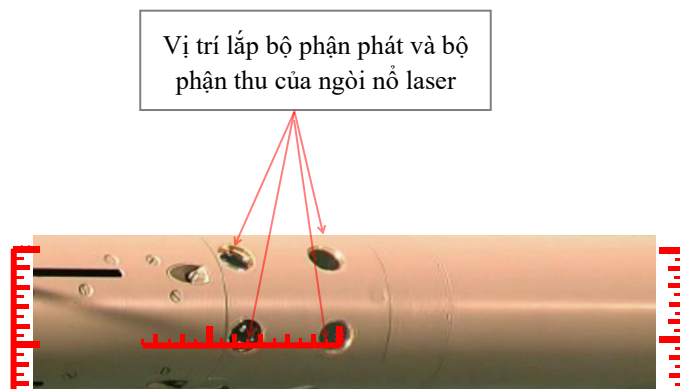
Chương 2

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ QUANG HỌC CHUYÊN DỤNG CHO NGÒI NỔ LASER

Ngày nay, ngòi nổ laser được sử dụng trên nhiều loại TLPK. Hoạt động của ngòi nổ laser được dựa trên việc chiếu tia laser từ nguồn phát đặt trên ngòi nổ lên bề mặt mục tiêu, ngòi nổ nhận và xử lý chùm tia được tán xạ lại từ bề mặt mục tiêu, từ đó xác định chính xác khoảng cách từ TLPK đến mục tiêu và tạo ra tín hiệu kích nổ.

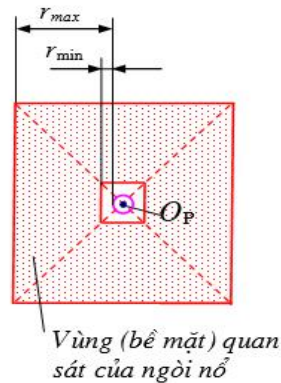
Như đã đề cập tại chương 1, đặc trưng quan trọng của vùng quan sát của ngòi nổ laser là góc nghiêng $\beta_{kt\ pt}$, góc mở tính theo mặt phẳng xích đạo $\Psi_{xđ\ pt}$ và các cự ly quan sát r_{min}, r_{max} .

Để tạo ra vùng quan sát tốt, với kích thước của TLPK không lớn nên trong ngòi nổ laser lắp trên TLPK thường phải sử dụng laser bán dẫn làm việc ở chế độ xung. Để sử dụng laser bán dẫn cần phải lắp thêm hệ quang chuyên dụng để tạo ra chùm laser có thiết diện dạng vệt thẳng, có góc mở trong mặt phẳng kinh tuyến - là *mặt phẳng cắt theo trục dọc của TLPK* nhỏ (tối đa là một vài độ) và góc mở trong mặt phẳng xích đạo - là *mặt phẳng cắt ngang theo đường kính của TLPK* lớn (trên 90^0) và xiên trong mặt phẳng kinh tuyến (xiên so với mặt phẳng xích đạo) một góc $\beta_{kt\ ph}$. Để đảm bảo vùng quan sát 360^0 , ngòi nổ laser thường có 4 đến 6 cặp phát - thu laser bố trí đều theo mặt phẳng xích đạo.



Hình 2. 1. Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm thấp “Игла-Д” (Nga)

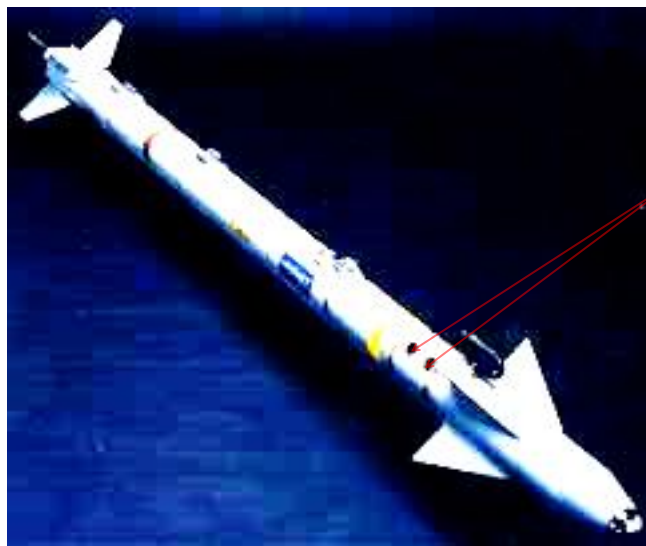
Theo cách bố trí như trên, vùng quan sát của ngòi nổ được tạo ra là vùng xung quanh của hình chóp cắt đều (hình 2.2). Khi $\beta_{kt\ ph1}$, $\beta_{kt\ th1}$ khá nhỏ (một vài độ) và $r_{max} \gg l_{kt\ pt}$ (gấp vài lần) thì $\beta_{ktpt} \approx 0$ và mặt quan sát của ngòi nổ laser có thể được xem là hình vuông bị khuyết hồng ở giữa.



Hình 2. 2. Vùng quan sát của ngòi nổ (biểu diễn trong mặt phẳng xích đạo)

Bảng 2. 1. Một số tính năng chính của TLPK tầm thấp “Игла-Д” (Nga)

TT	Tính năng	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều dài	mm	1635
2	Đường kính thân	mm	72

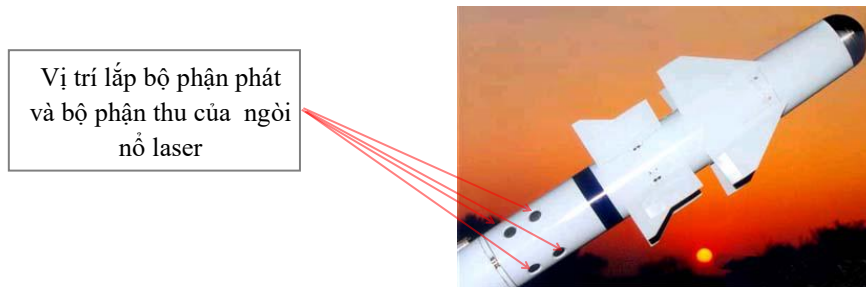


Vị trí
thu,
phát
của
ngòi
nổ
laser

Hình 2. 3. Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm gần AIM 9L Sidewinder (Mỹ)

Bảng 2. 2. Một số tính năng chính của TLPK AIM 9L Sidewinder (Mỹ)

<i>TT</i>	<i>Tính năng</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Giá trị</i>
1	Chiều dài	mm	2830
2	Đường kính thân	mm	127

**Hình 2. 4.** Vị trí lắp ngòi nổ laser trên TLPK tầm gần V3C Darter (Nam Phi)**Bảng 2. 3.** Một số tính năng chính của TLPK V3C Darter (Nam Phi)

<i>TT</i>	<i>Tính năng</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Giá trị</i>
1	Chiều dài	m	2,74
2	Đường kính thân	mm	157

Trên cơ sở khảo sát, đo đạc các thông số kết cấu hình học của ngòi nổ laser lắp trên TLPK tầm thấp “Игла-Д” (Nga) và trên TLPK tầm gần AIM 9L Sidewinder (Mỹ) ta có:

Bảng 2. 4. Kết quả đo một số thông số kết cấu hình học theo hình vẽ

	d_p [mm]	L_p [mm]	$l_{kt\ pt}$ [mm]	$L_{kt\ pt}$ [mm]	$l_{kt\ pt}^*$ [mm]	$d_{kt\ ph}$ [mm]	$d_{kt\ th}$ [mm]
“Игла-Д” (Nga)	72	1635	~23	~46	~35	~12	~12
AIM 9L Sidewinder (Mỹ)	127	2830	~25	~65	~45	~20	~20

Bài toán đặt ra lúc này là cần phải có những tính toán hợp lý đối với các tham số hệ quang để sao cho chùm phát tia laser có dạng hình kim, có góc mở trong mặt phẳng kinh tuyến nhỏ và góc mở trong mặt phẳng xích đạo lớn.

Bài toán đặt ra ở trên nếu giải quyết được sẽ đóng góp không nhỏ trong việc xác định, đo chính xác các tham số mục tiêu (cự li, vận tốc tiếp cận...) cũng

như tăng khả năng phân biệt theo cự li. Từ đó, góp phần nâng cao chất lượng làm việc cho ngòi nổ laser và tăng khả năng xác suất tiêu diệt mục tiêu.

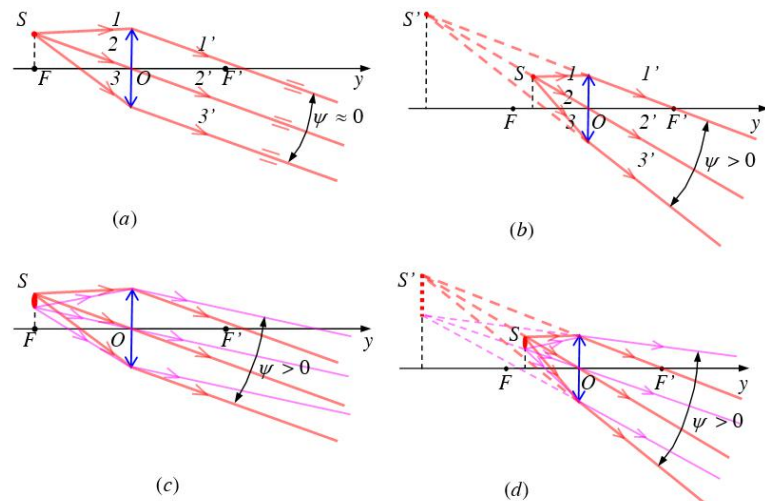
Từ những phân tích và đánh giá ở trên, nội dung của chương sẽ đề xuất một hệ quang chuyên dụng cho ngòi nổ laser, đồng thời đưa ra một số biểu thức toán học, tính toán bộ tham số quang hình để phục vụ bài toán tối ưu hóa đối với góc β_{kt} .

2.1. Cơ sở tính toán hệ quang học chuyên dụng cho ngòi nổ laser [6], [8]

Đối với bất kỳ một hệ quang chuyên dụng thông thường bao gồm các thành phần sau:

- Một hệ thấu kính và một màn chắn (màn chắn có khe hở hẹp và dài cho ánh sáng laser đi qua);
- Một hệ thấu kính được che kín một mặt (để khe hở hẹp và dài cho ánh sáng laser đi qua);
- Một thấu kính đặc biệt (là một phần hình trụ và có dạng thanh dài).

Ở ngoài cùng của hệ quang còn có tấm kính phẳng, mỏng có tác dụng lọc chỉ cho ánh sáng laser nằm trong phổ xác định đi qua và có tác dụng làm kín để bảo vệ.



Hình 2.5. Nguyên lý tạo chùm tia ló song song và chùm tia ló phân kỳ

(a) Nguồn sáng ở dạng điểm, nằm trên mặt phẳng tiêu cự; (b) Nguồn sáng ở dạng điểm, dịch chuyển ra khỏi mặt phẳng tiêu cự về phía thấu kính; (c) Nguồn sáng có chiều rộng, nằm trên mặt phẳng tiêu cự; (d) Nguồn sáng có chiều rộng, dịch chuyển ra khỏi mặt phẳng tiêu cự về phía thấu kính.

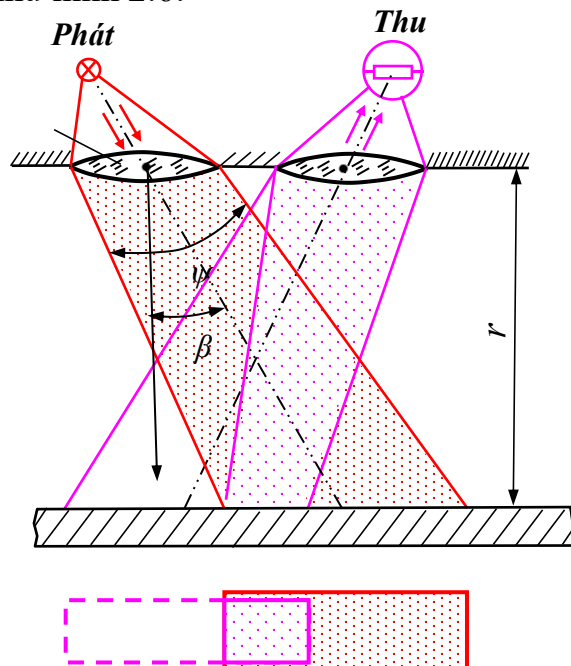
Khi nguồn sáng được đặt chính xác tại mặt phẳng tiêu cự của thấu kính và kích thước nguồn sáng không đáng kể (chùm tia sáng đi từ một điểm sáng trên mặt phẳng tiêu cự) thì tia ló ra sau thấu kính là chùm tia song song (Hình 2.5.a).

Tức là, để có được chùm tia sáng ló ra sau thấu kính là chùm tia song song thì nguồn sáng phải ở dạng điểm và phải được đặt chính xác tại mặt phẳng tiêu cự của thấu kính.

Ngoài ra, sẽ có hai cách để tạo góc mở cho chùm tia ló như sau: (i) Điều chỉnh đưa vị trí đặt nguồn sáng ra khỏi mặt phẳng tiêu cự, dịch về phía thấu kính, đi một đoạn nhỏ (Hình 2.5.b và 2.5.d); (ii) Tăng kích thước của nguồn sáng (Hình 2.5.c và 2.5.d).

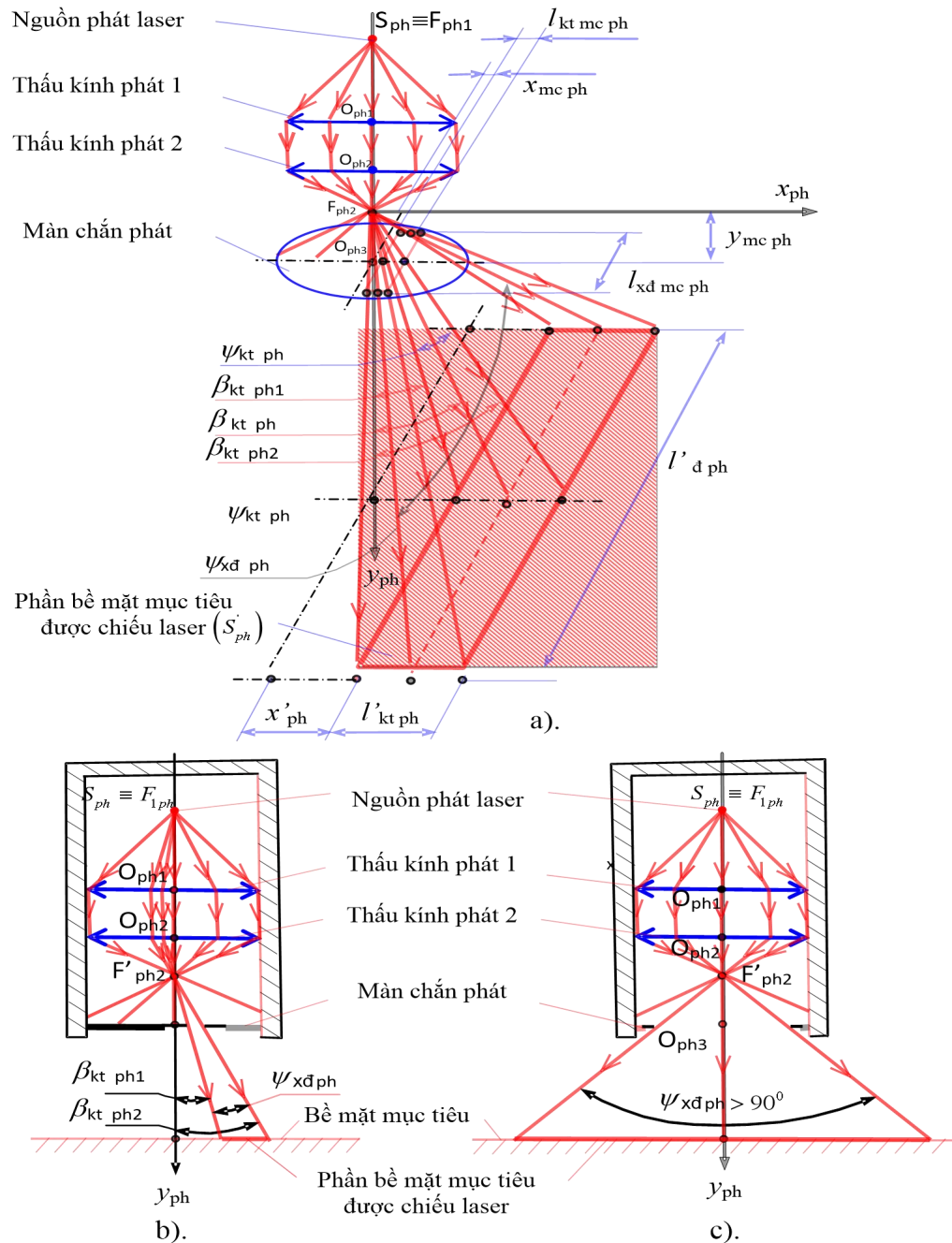
Vì đường đi của ánh sáng có tính thuận nghịch nên những kết luận này đúng cho cả nguồn phát laser của thiết bị phát laser cũng như của đầu thu quang của thiết bị thu laser.

Trong ngòi nổ laser, nguồn phát laser và đầu thu quang gần như nằm trên mặt phẳng tiêu cự của các thấu kính tương ứng. Theo các tài liệu tham khảo [6], [8], nội dung của các tài liệu này trình bày rất sơ lược hệ quang chuyên dụng của ngòi nổ quang học như hình 2.6:



Hình 2. 6. Nguyên lý cấu tạo của hệ quang ngòi nổ quang học

Dựa trên cơ sở này, luận án đề xuất nghiên cứu và phát triển một thiết kế chi tiết hệ quang chuyên dụng ở dạng gồm hai thấu kính và một màn chắn như hình 2.7.



Hình 2. 7. Nguyên lý cấu tạo của hệ phát laser dùng màn chắn được đề xuất trong đó :

- Chỉ số “ $xđ$ ” và “ kt ” tương ứng chỉ mặt phẳng xích đạo và mặt phẳng kinh tuyến.

- Chỉ số “_{ph}” và “_{th}” tương ứng chỉ thiết bị phát và thu laser;
- S_{ph} , S_{th} : Nguồn phát laser và đầu thu quang/PIN/APD;
- O_{ph1} , O_{ph2} : Quang tâm của các thấu kính phát 1, 2;
- O_{th1} , O_{th2} : Quang tâm của các thấu kính thu 1, 2;
- O_{ph3} , O_{th3} : Quang tâm của màn chắn phát và màn chắn thu;
- F_{ph1} , F_{th1} : Tiêu điểm trước của thấu kính phát 1 và các thấu kính thu 1;
- F'_{ph2} , F'_{th2} : Tiêu điểm sau của thấu kính phát 2 và thấu kính thu 2;
- $F'_{ph2}x_{ph}$, $F'_{th2}x_{th}$: Trục quang của quang thiết bị phát và của thiết bị thu laser;
- $l_{kt mc ph}$, $l_{kt mc th}$ [m]: Độ rộng khe hở (trong mặt phẳng kinh tuyến) của màn chắn phát và của màn chắn thu;
- $l_{xd mc ph}$, $l_{xd mc th}$ [m]: Chiều dài khe hở (trong mặt phẳng xích đạo) của màn chắn phát và của màn chắn thu;
- $x_{mc ph}$ [m]: Khoảng cách từ tâm của màn chắn phát (từ trục quang) đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn phát);
- $x_{mc th}$ [m]: Khoảng cách từ tâm của màn chắn thu (từ trục quang) đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn thu);
- $y_{mc ph}$ [m]: Khoảng cách từ tiêu điểm sau của các thấu kính phát và tâm của màn chắn phát (tính theo trục Oy);
- $y_{mc th}$ [m]: Khoảng cách từ tiêu điểm sau của các thấu kính thu và tâm của màn chắn thu (tính theo trục Oy);
- $\psi_{xd ph}$, $\psi_{kt ph}$ [độ]: Góc mở trong mặt phẳng xích đạo và trong mặt phẳng kinh tuyến của thiết bị phát laser;
- $\psi_{xd th}$, $\psi_{kt th}$ [độ]: Góc mở trong mặt phẳng xích đạo và trong mặt phẳng kinh tuyến của thiết bị thu laser;
- $\beta_{kt ph1}$, $\beta_{kt ph2}$, $\beta_{kt ph}$ [độ]: Các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần, biên xa và trung bình của chùm laser ló ra từ thiết bị phát laser;

- $\beta_{kt\ th1}, \beta_{kt\ th2}, \beta_{kt\ th}$ [độ]: Các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần, biên xa và trung bình của chùm laser có thể được thu vào thiết bị thu laser;
- $S'_{ph}, S'_{th}, S'_{pt}$ [m²]: Diện tích phần bề mặt mục tiêu được chiếu laser, có thể được thu laser và phần giao nhau giữa chúng;
- $l'_{kt\ ph}, l'_{kt\ th}, l'_{kt\ pt}$ [m]: Chiều rộng trong mặt phẳng kinh tuyến tương ứng của các phần diện tích bề mặt mục tiêu $S'_{ph}, S'_{th}, S'_{pt}$;
- $l'_{xd\ ph}, l'_{xd\ th}, l'_{xd\ pt}$ [m]: Chiều rộng trong mặt phẳng xích đạo tương ứng của các phần diện tích bề mặt mục tiêu $S'_{ph}, S'_{th}, S'_{pt}$;
- x'_{ph}, x'_{th} [m]: Khoảng cách từ giao điểm trục quang thiết bị phát laser và thiết bị thu laser với bề mặt mục tiêu đến mép dưới tương ứng của các phần diện tích bề mặt mục tiêu $S'_{ph}, S'_{th}, S'_{pt}$ (tọa độ của các phần diện tích đó);
- d_p [m]: Đường kính ngoài TLPK.

Các thấu kính phát 1 và 2 là các thấu kính ghép đôi có tác dụng như một thấu kính hội tụ, thường có cấu tạo từ hai thấu kính lồi - phẳng (hai mặt phẳng được ghép sát nhau) hoặc là các thấu kính tiêu sắc gồm hai thấu kính hội tụ lồi - lồi ở giữa và hai thấu kính phân kỳ (lõm - phẳng) ở ngoài cùng.

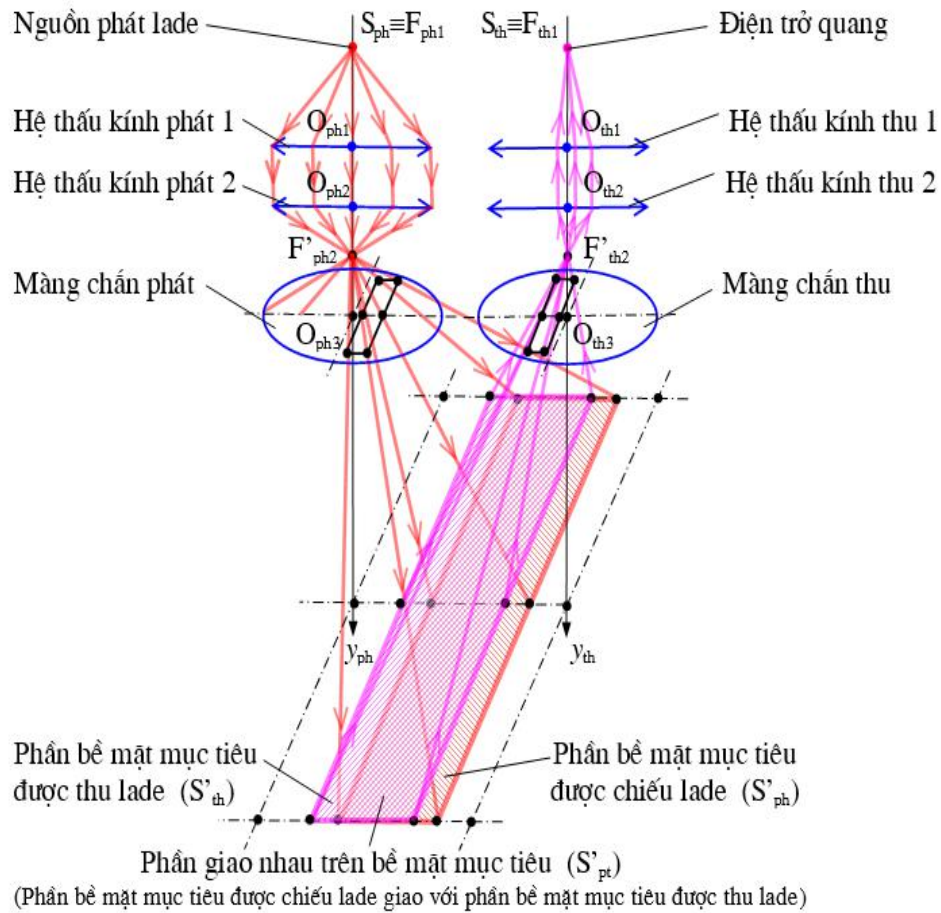
Màn chắn có thể có một trong hai dạng cấu tạo như sau:

- Là một tấm phẳng, mỏng, trong suốt. Một mặt được phủ một lớp cản quang. Trên bề mặt cản quang ta dùng phương pháp khắc axit để tạo một khe hở nhỏ và dài cho ánh sáng laser đi qua.
- Là một tấm phẳng, mỏng, được làm từ vật liệu cản quang. Trên màn chắn có một khe hở nhỏ và dài cho ánh sáng laser đi qua, được tạo ra bằng phương pháp khắc axit. Tại vị trí khe hở, bề dày của màn chắn càng nhỏ càng tốt (trên dưới 0,5 mm).

Màn chắn được đặt cách mặt phẳng tiêu cự trước của các thấu kính một khoảng $y_{mc\ ph}$. Trục của màn chắn và trục quang các thấu kính trùng nhau. Mép dưới của khe hở gần sát với tâm của màn chắn, cách tâm của màn chắn $x_{mc\ ph}$. Mép trên của khe hở cách tâm của màn chắn một khoảng bằng $x_{mc\ ph} + l_{kt\ mc\ ph}$. Nguồn phát laser nằm trên tiêu điểm sau của các thấu kính.

Theo tính chất của phản xạ ánh sáng ta phải dựng hệ quang của thiết bị phát laser và hệ quang của thiết bị thu laser đối xứng với nhau qua một mặt phẳng

xích đạo, chỉ có một điểm khác là tại vị trí của nguồn phát laser ở thiết bị phát laser là đầu thu quang của thiết bị thu laser (hình 2.8).



Hình 2. 8. Nguyên lý hệ quang dùng màn chắn trong thiết bị thu - phát laser

2.2. Xây dựng biểu thức tính toán một số tham số quang hình học quan trọng của ngòi nổ laser

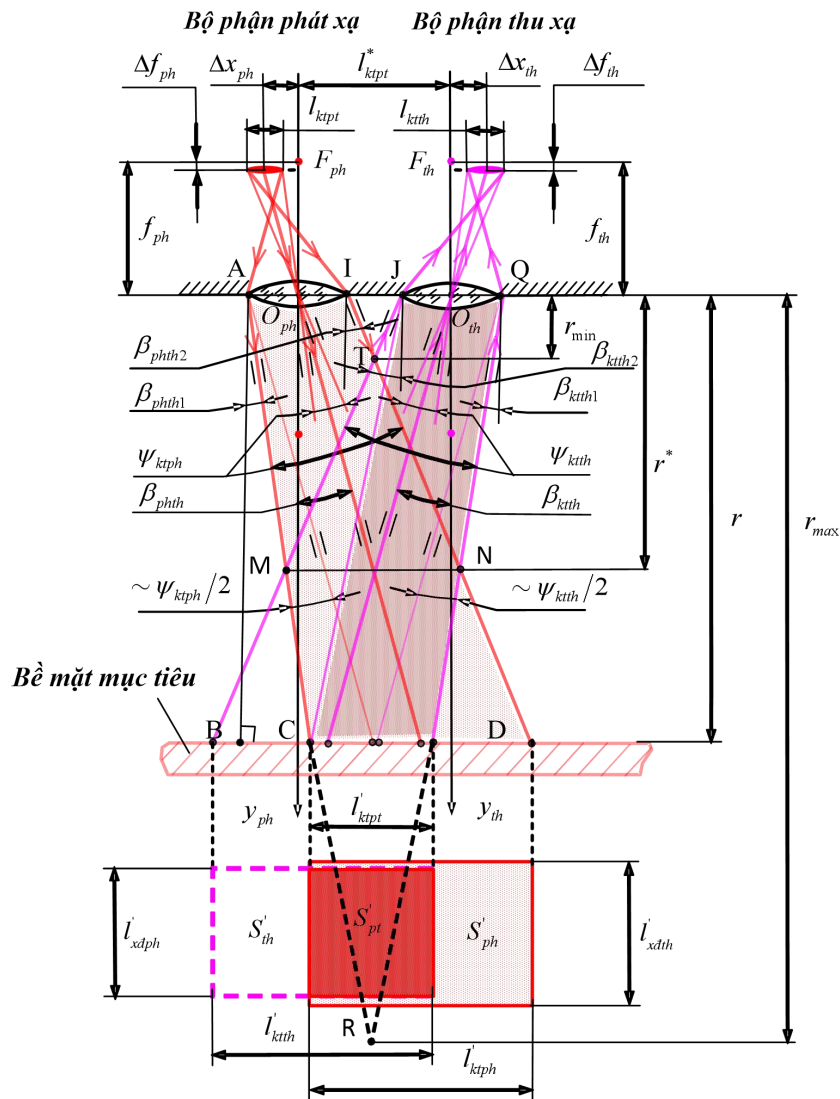
Trên cơ sở mối quan hệ giữa các tham số quang hình học luận án tiến hành xây dựng biểu thức tính toán một số thông số quang hình học của ngòi nổ laser. Luận án xét đối với trường hợp kích thước nguồn laser rất nhỏ và phải sử dụng hệ quang để tăng góc mở.

Như đã phân tích ở phần trên, đối với ngòi nổ laser lắp cho TLPK, khi mục tiêu nằm trong vùng quan sát, phần diện tích mục tiêu được chiếu laser và phần diện tích mục tiêu được thu laser sẽ có phần giao nhau. Một phần chùm tia laser

tán xạ trên phần giao nhau đó sẽ đi qua hệ quang của thiết bị thu laser. Muốn vậy, trục chùm tia laser của thiết bị phát laser và trục chùm tia laser của thiết bị thu laser phải nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến so với trục của ngòi nổ một góc $\beta_{kt\ ph}$, $\beta_{kt\ th}$ [6].

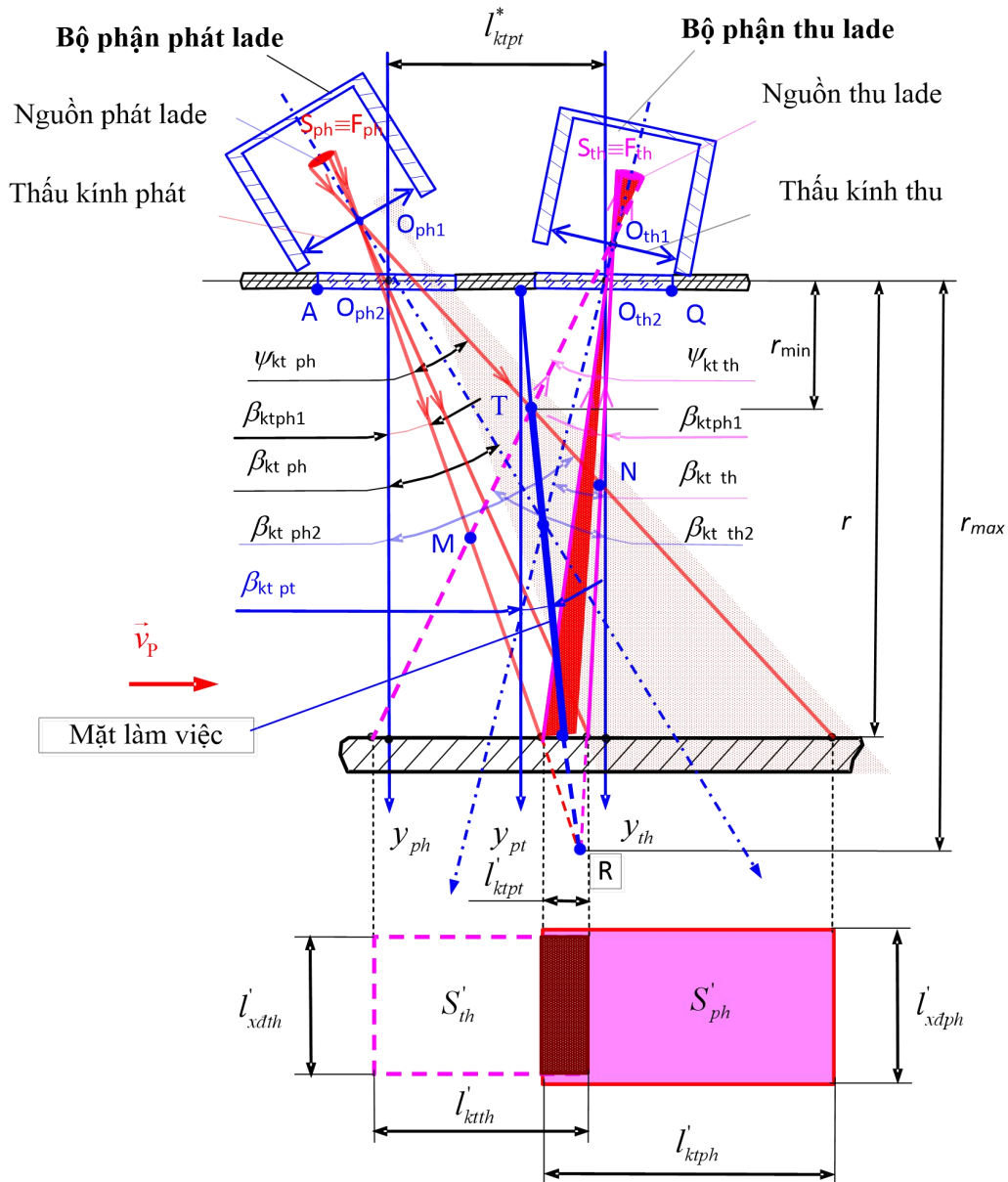
Các phương án tạo góc nghiêng cho chùm tia laser như sau:

Phương án 1: Đặt nguồn phát laser và thiết bị thu lệch khỏi trục quang của các hệ quang (theo mặt phẳng kinh tuyến). Phương án này phù hợp với những trường hợp không yêu cầu khắt khe về kích thước nguồn phát laser.



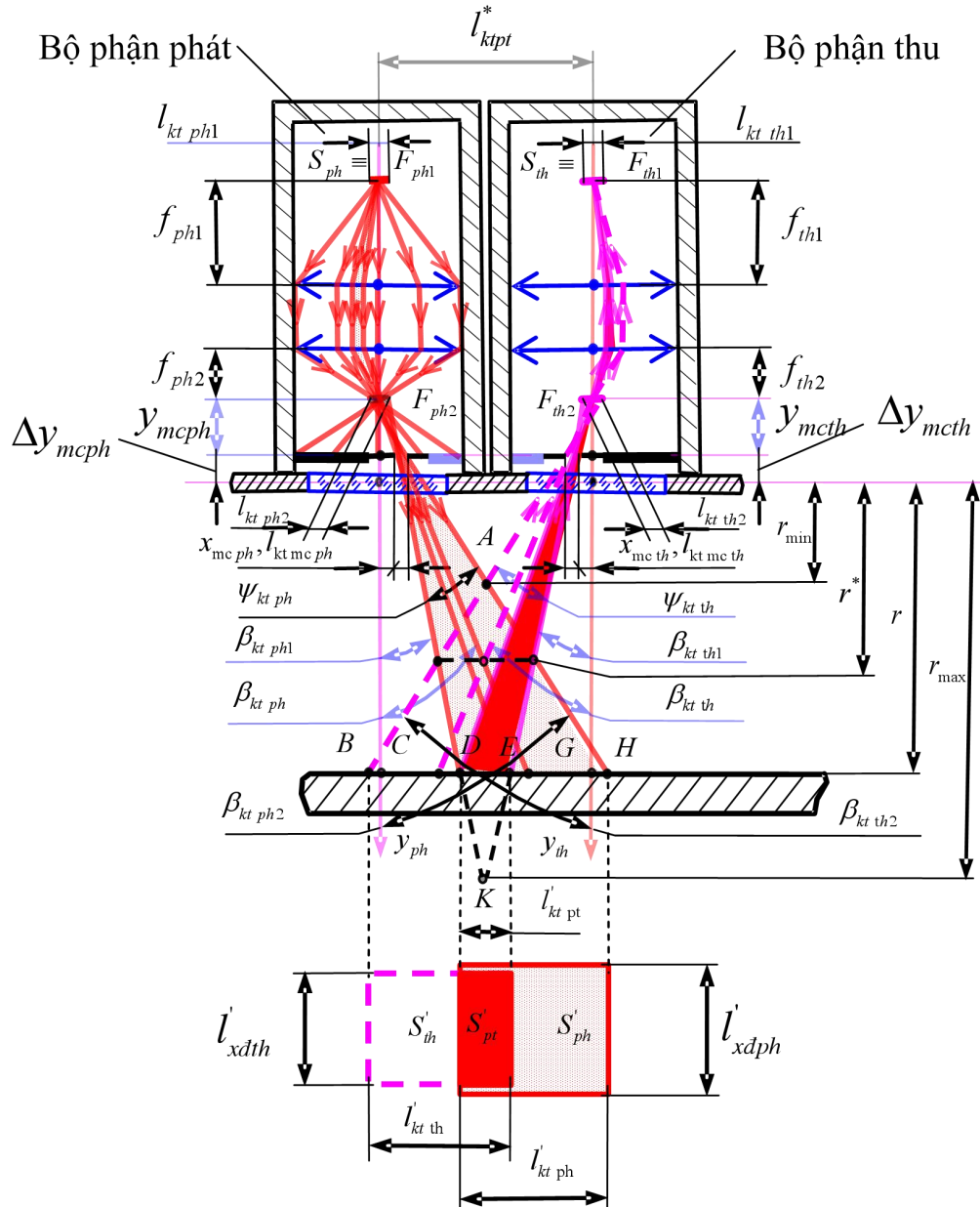
Hình 2. 9. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PAI (biểu diễn một cặp phát- thu trong mặt phẳng kinh tuyến)

Phương án 2 (hình 2.10): Nghiêng cả thiết bị phát laser và thiết bị thu laser trong mặt phẳng kinh tuyến. Nguồn phát laser và thiết bị thu có dạng vệt mảnh dài (kích thước theo mặt phẳng kinh tuyến $\sim 0,1$ mm, kích thước theo mặt phẳng xích đạo ~ 10 mm) được đặt trên trục quang của các hệ quang tương ứng.



Hình 2. 10. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PA2
(Nghiêng cả thiết bị phát và thu laser)

Phương án 3 (hình 2.11): Dùng màng chắn có khe hở mảnh và dài đặt ở các đầu ra của các hệ quang. Nguồn phát laser và thiết bị thu ở dạng điểm nhỏ, được đặt trên trục quang của các hệ quang tương ứng. Kích thước khe hở theo mặt phẳng kinh tuyến $\sim 0,1$ mm, theo mặt phẳng xích đạo ~ 10 mm.



Hình 2. 11. Nguyên lý tạo của hệ quang ngòi nổ quang học chủ động PA3
(Sơ đồ tính toán với ngòi nổ laser trong mặt phẳng kinh tuyến)

Nhận xét:

- Phương án 1 và phương án 2 có ưu điểm là dùng hết toàn bộ năng lượng của chùm tia laser. Tuy nhiên có nhược điểm là khó khăn trong việc hiệu chỉnh vị trí của nguồn laser và APD photodiode để đạt chính xác góc nghiêng theo yêu cầu.

- Phương án 3 có ưu điểm là dễ dàng thay đổi góc lệch chùm laser theo yêu cầu, linh hoạt trong việc điều chỉnh hướng của chùm tia phát. Tuy nhiên có nhược điểm là không tận dụng hết năng lượng nguồn laser do một phần bức xạ laser bị chặn bởi màn chắn.

Phương án 3 phù hợp với bài toán đang xét. Với cự ly làm việc của ngòi cặn đích, chỉ cần laser công suất trung bình, mặc dù bị suy giảm năng lượng nhưng với cự ly gần vẫn đáp ứng được. Phương án 3 có thể mở rộng hướng nghiên cứu sau này đối với trường hợp tên lửa vừa bay vừa điều chỉnh góc của chùm tia.

**) Xét một cặp phát - thu laser trong mặt phẳng kinh tuyến:*

Ta sẽ dùng phương án quang hình như phương án 3 (hình 2.11) để tính toán. Hầu hết các thông số quang hình học của thiết bị phát laser và của thiết bị thu laser là tương tự nhau và tương ứng xấp xỉ bằng nhau nên ta chỉ cần thiết lập các công thức tính cho thiết bị phát laser sau đó thay chỉ số “ph” (phát) thành chỉ số “th” (thu) để nhận được công thức tương ứng cho thiết bị thu laser.

Từ các quan hệ hình học như hình 2.7, ta có các công thức tính kích thước $l_{kt\ ph\ 2}$ của ảnh nguồn phát laser và $l_{kt\ th\ 2}$ của ảnh đầu thu quang tại mặt phẳng tiêu cự sau của các thấu kính tương ứng, tính theo mặt phẳng kinh tuyến như sau:

$$l_{kt\ ph\ 2} = l_{kt\ ph\ 1} \cdot \frac{f_{ph\ 2}}{f_{ph\ 1}} \quad ; \quad l_{kt\ th\ 2} = l_{kt\ th\ 1} \cdot \frac{f_{th\ 2}}{f_{th\ 1}} \quad (2.1)$$

trong đó:

- $l_{kt\ ph\ 1}$, $l_{kt\ th\ 1}$ [m]: Kích thước nguồn phát laser, đầu thu quang theo mặt phẳng kinh tuyến (tại mặt phẳng tiêu cự trước của các thấu kính);

- f_{ph1}, f_{ph2} [m]: Tiêu cự trước và sau của các thấu kính thiết bị phát laser;

- f_{th1}, f_{th2} [m]: Tiêu cự trước và sau của các thấu kính thiết bị thu laser.

+ Các góc nghiêng β_{ktph} và β_{ktth} của vùng quan sát. Theo hình 2.11 ta có:

$$\beta_{ktph1} = \arctg \frac{x_{mcp} - l_{ktph2}/2}{y_{mcp}} \quad (2.2)$$

$$\beta_{ktph2} = \arctg \frac{x_{mcp} + l_{ktph2}/2 + l_{ktmcp}}{y_{mcp}} \quad (2.3)$$

$$\beta_{ktph} \approx \frac{\beta_{ktph1} + \beta_{ktph2}}{2} \approx \arctg \frac{x_{mcp} + l_{ktmcp}/2}{y_{mcp}} \quad (2.4)$$

$$\beta_{ktth1} = \arctg \frac{x_{mct} - l_{ktth2}/2}{y_{mct}} \quad (2.5)$$

$$\beta_{ktth2} = \arctg \frac{x_{mct} + l_{ktth2}/2 + l_{ktmct}}{y_{mct}} \quad (2.6)$$

$$\beta_{ktth} \approx \frac{\beta_{ktth1} + \beta_{ktth2}}{2} \approx \arctg \frac{x_{mct} + l_{ktmct}/2}{y_{mct}} \quad (2.7)$$

+ Các góc mở ψ_{ktph} và ψ_{ktth} của vùng quan sát trong mặt phẳng kinh tuyến được xác định theo các công thức gần đúng sau:

$$\psi_{ktph} = \beta_{ktph2} - \beta_{ktph1} \quad ; \quad \psi_{ktth} = \beta_{ktth2} - \beta_{ktth1} \quad (2.8)$$

+ Trường hợp bề mặt mục tiêu song song với trục dọc TLPK, chiều rộng l'_{ktph} của thiết bị phát laser được tính như sau:

Ta có:

$$l'_{ktph} = CH - CD \quad (2.9)$$

$$CH \approx (r + y_{mcp}) \cdot \tg \beta_{ktph2} \quad (2.10)$$

$$CD \approx (r + y_{mcp}) \cdot \tg \beta_{ktph1} \quad (2.11)$$

$$\text{Vậy: } l'_{ktph} \approx (r + y_{mcp}) \cdot (\tg \beta_{ktph2} - \tg \beta_{ktph1}) \quad (2.12)$$

Tương tự với thiết bị thu laser:

$$l'_{ktth} \approx (r + y_{mct}) \cdot (\tg \beta_{ktth2} - \tg \beta_{ktth1}) \quad (2.13)$$

+ Khoảng cách r^* được xác định gần đúng bằng cách giải tam giác $F_{ph2}F_{th2}M$ như sau:

$$F_{ph2}M = F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ th}}{\sin(\beta_{kt\ ph} + \beta_{kt\ th})} \quad (2.14)$$

$$r^* = F_{ph2}M \cdot \cos \beta_{kt\ ph} - y_{mc\ ph} - \Delta y_{mc\ ph} \approx F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \beta_{kt\ th}}{\sin(\beta_{kt\ ph} + \beta_{kt\ th})} \quad (2.15)$$

+ Tương tự, khoảng cách r_{min} xác định vùng mù của ngòi nổ laser được tính gần đúng bằng cách giải tam giác $F_{ph2}F_{th2}A$ như sau:

$$r^* \approx l_{kt\ pt}^* \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \beta_{kt\ th}}{\sin(\beta_{kt\ ph} + \beta_{kt\ th})} \approx \frac{l_{kt\ pt}^*}{2 \cdot \text{tg} \beta_{kt\ ph}} \approx \frac{l_{kt\ pt}^*}{2 \cdot \text{tg} \beta_{kt\ th}} \quad (2.16)$$

$$F_{ph2}A = F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ th\ 2}}{\sin(\beta_{kt\ ph\ 2} + \beta_{kt\ th\ 2})} \quad (2.17)$$

$$r_{min} = (F_{ph2}A + l_{kt\ lade\ ph2} / 2 + l_{kt\ dtq\ ph2} / 2) \cdot \cos \beta_{kt\ ph\ 2} - y_{mc\ ph} - \Delta y_{mc\ ph} \quad (2.18)$$

$$r_{min} \approx F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ ph\ 2} \cdot \cos \beta_{kt\ th\ 2}}{\sin(\beta_{kt\ ph\ 2} + \beta_{kt\ th\ 2})} \quad (2.19)$$

$$\text{Vậy: } r_{min} \approx l_{kt\ pt}^* \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ ph\ 2} \cdot \cos \beta_{kt\ th\ 2}}{\sin(\beta_{kt\ ph\ 2} + \beta_{kt\ th\ 2})} \quad (2.20)$$

$$\text{Hoặc: } r_{min} \approx \frac{l_{kt\ pt}^*}{2 \cdot \text{tg} \beta_{kt\ ph\ 2}} \approx \frac{l_{kt\ pt}^*}{2 \cdot \text{tg} \beta_{kt\ th\ 2}} \quad (2.21)$$

+ Tương tự, khoảng cách r_{max} xác định giới hạn xa của vùng quan sát của ngòi nổ laser được tính gần đúng bằng cách giải tam giác $F_{ph2}F_{th2}K$ như sau:

$$F_{ph2}K = F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ th\ 1}}{\sin(\beta_{kt\ ph\ 1} + \beta_{kt\ th\ 1})} \quad (2.22)$$

$$r_{max} \approx (F_{ph2}K + l_{kt\ lade\ ph1} / 2 + l_{kt\ dtq\ ph1} / 2) \cdot \cos \beta_{kt\ ph\ 1} - y_{mc\ ph} - \Delta y_{mc\ ph} \quad (2.23)$$

$$r_{max} \approx F_{ph2}F_{th2} \cdot \frac{\cos \beta_{kt\ ph\ 1} \cdot \cos \beta_{kt\ th\ 1}}{\sin(\beta_{kt\ ph\ 1} + \beta_{kt\ th\ 1})} \quad (2.24)$$

(trục đối xứng) của đầu thu quang và trục quang của thấu kính tất cả các thiết bị thu laser cũng gần như cùng nằm trong một phẳng xích đạo (gọi là mặt phẳng xích đạo chứa thiết bị thu laser).

+ Trước hết, ta có các công thức tính kích thước $l_{\text{xd ph } 2}$ của ảnh nguồn phát laser và $l_{\text{xd th } 2}$ của ảnh đầu thu quang tại mặt phẳng tiêu cự sau của các thấu kính tương ứng, tính theo mặt phẳng xích đạo như sau:

$$l_{\text{xd ph } 2} = l_{\text{xd ph } 1} \cdot \frac{f_{\text{ph } 2}}{f_{\text{ph } 1}}; \quad l_{\text{xd th } 2} = l_{\text{xd th } 1} \cdot \frac{f_{\text{th } 2}}{f_{\text{th } 1}} \quad (2.28)$$

+ Góc mở trong mặt phẳng xích đạo $\psi_{\text{xd ph}}$ của thiết bị phát laser và $\psi_{\text{xd th}}$ của thiết bị thu laser (hình 2.12) sẽ là:

$$\psi_{\text{xd ph}} = 2 \cdot \arctg \frac{l_{\text{x ph } 2} + l_{\text{x mc ph}}}{2 \cdot \sqrt{x_{\text{mc ph}}^2 + (y_{\text{mc ph}} + \frac{l_{\text{kt mc ph}}}{2})^2}} \quad (2.29)$$

$$\psi_{\text{xd th}} = 2 \cdot \arctg \frac{l_{\text{x th } 2} + l_{\text{x mc th}}}{2 \cdot \sqrt{x_{\text{mc th}}^2 + (y_{\text{mc th}} + \frac{l_{\text{kt mc th}}}{2})^2}} \quad (2.30)$$

+ Vùng mù trong mặt phẳng xích đạo:

Vì giữa các thiết bị phát laser có khoảng cách tính theo đường tròn xích đạo nên trên mặt phẳng xích đạo chứa thiết bị phát laser vẫn luôn có 4 vùng mù. Tương tự, trên mặt phẳng xích đạo chứa thiết bị thu laser cũng luôn có 4 vùng mù [8].

Bán kính vùng mù trong mặt phẳng xích đạo của thiết bị phát laser là:

$$\text{OD} = \frac{\text{OC}}{\sin \text{ODC}} \cdot \sin \text{OCD} = \frac{d_p \cdot \sin(\pi - \psi_{\text{xd ph}} / 2)}{2 \cdot \sin(\pi / 4 - \psi_{\text{xd ph}} / 2)}$$

$$\text{OD} = \frac{d_p \cdot \sin(\psi_{\text{xd ph}} / 2)}{2 \cdot \sin(\pi / 4 - \psi_{\text{xd ph}} / 2)}$$

$$r_{\min \text{ xđ ph}} = \text{DB} = \text{OD} - \text{OB} = \frac{d_p \cdot \sin(\psi_{\text{xđ ph}} / 2)}{2 \cdot \sin(\pi / 4 - \psi_{\text{xđ ph}} / 2)} - \frac{d_p}{2}$$

$$r_{\min \text{ xđ ph}} = \frac{d_p}{2} \cdot \left[\frac{\sin(\psi_{\text{xđ ph}} / 2)}{\sin(\pi / 4 - \psi_{\text{xđ ph}} / 2)} - 1 \right] \quad (2.31)$$

$$\approx \frac{d_p}{2} \cdot \left[\frac{\sqrt{2} \cdot \cos \beta_{\text{kt ph}}}{\sqrt{1 + \cos^2 \beta_{\text{kt ph}}}} \cdot \frac{\sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2}}{\cos \beta_{\text{kt ph}} \cdot \left(\sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \cos^2 \beta_{\text{kt ph}}}} - \cos \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2} \cdot \frac{\cos \beta_{\text{kt ph}}}{\sqrt{1 + \cos^2 \beta_{\text{kt ph}}}} \right)} - 1 \right]$$

Hay:

$$r_{\min \text{ xđ ph}} \approx \frac{d_p}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2}}{\sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2} - \cos \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2} \cdot \cos \beta_{\text{kt ph}}} - 1 \right) \quad (2.32)$$

Như đã nêu, vì $\beta_{\text{kt ph}}$ rất nhỏ nên $\cos \beta_{\text{kt ph}} \approx 1$ và $\sin \beta_{\text{kt ph}} \approx 0$ và ta có:

$$r_{\min \text{ xđ ph}} \approx \frac{d_p}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2}}{\sin \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2} - \cos \frac{\psi_{\text{xđ ph}}}{2}} - 1 \right) \quad (2.33)$$

Tương tự, ta có bán kính vùng mù trong mặt phẳng xích đạo của thiết bị thu laser sẽ là:

$$r_{\min \text{ xđ th}} \approx \frac{d_p}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2}}{\sin \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2} - \cos \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2} \cdot \cos \beta_{\text{kt th}}} - 1 \right) \quad (2.34)$$

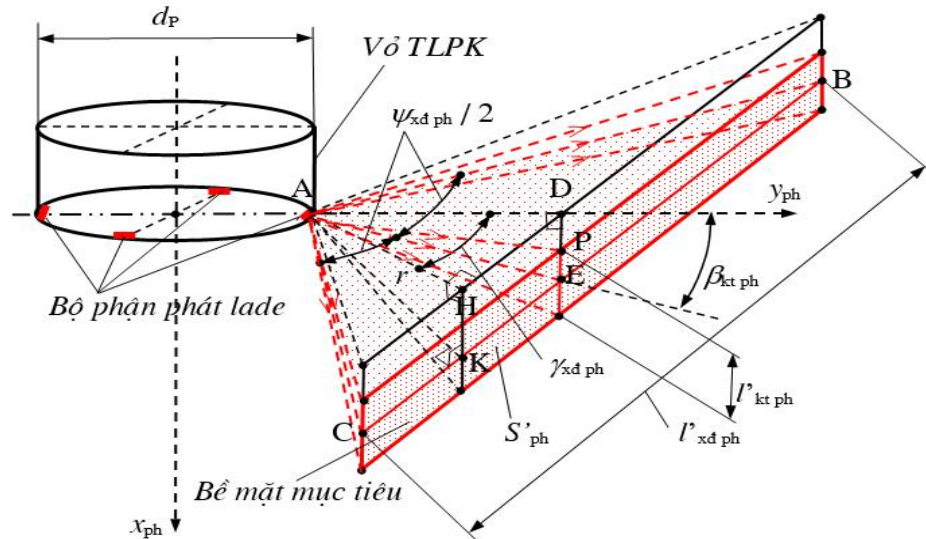
Và cũng vì $\beta_{\text{kt th}}$ rất nhỏ nên $\cos \beta_{\text{kt th}} \approx 1$ và $\sin \beta_{\text{kt th}} \approx 0$ và ta có:

$$r_{\min \text{ xđ th}} \approx \frac{d_p}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2}}{\sin \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2} - \cos \frac{\psi_{\text{xđ th}}}{2}} - 1 \right) \quad (2.35)$$

$$\text{Ta có:} \quad r_{\min \text{ xđ ph}} \approx r_{\min \text{ xđ th}} \quad (2.36)$$

Do đường kính TLPK khá nhỏ so với kích thước bề mặt mục tiêu nên khi mục tiêu đã nằm trong bán kính làm việc của ngòi nổ laser thì trên bề mặt mục tiêu luôn có phần diện tích được chiếu laser và thu laser. Ngoài ra, phần diện tích này thường lớn hơn khá nhiều so với phần diện tích bề mặt mục tiêu nằm trong vùng mù, điều này được thể hiện trên hình 2.12: đoạn NP nằm trong vùng mù, đoạn NG nằm trong vùng chiếu laser và thu laser, điều này chứng tỏ vùng mù trong mặt phẳng xích đạo hầu như không ảnh hưởng tới sự kích nổ của ngòi nổ. Do đó ta chỉ quan tâm đến vùng mù trong mặt phẳng kinh tuyến.

+ Chiều dài tính theo mặt phẳng xích đạo của phần bề mặt mục tiêu được chiếu (thu) laser $l'_{kt\ ph}$ được xác định theo sơ đồ đã đơn giản hoá (hình 2.13) như sau:



Hình 2.13. Sơ đồ xác định chiều dài tính theo mặt phẳng xích đạo của phần bề mặt mục tiêu được chiếu (thu) laser $l'_{xđ\ ph}$ (vẽ tượng trưng)

Vì đường kính d_p của TLPK không lớn nên đoạn AH có thể coi là khoảng cách từ TLPK đến bề mặt mục tiêu r , tức là: $AH \approx r$

Ta có: $AD = AH / \cos \gamma_{xđ\ ph} \approx r / \cos \gamma_{xđ\ ph}$; $KE \approx HD = AH \cdot \tan \gamma_{xđ\ ph} \approx r \cdot \tan \gamma_{xđ\ ph}$

$$AE = \frac{AD}{\cos \beta_{kt\ ph}} \approx \frac{r}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xđ\ ph}}$$

$$KAE = \arcsin \frac{KE}{AE} \approx \arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})$$

$$KAB = \psi_{xd\ ph} / 2 + KAE \approx \psi_{xd\ ph} / 2 + \arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})$$

$$KAC = \psi_{xd\ ph} / 2 - KAE \approx \psi_{xd\ ph} / 2 - \arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})$$

$$AK = \sqrt{AE^2 - KE^2} \approx \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \cos^2 \gamma_{xd\ ph}} - \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph}}{\cos^2 \gamma_{xd\ ph}}} \approx \frac{r \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph}}}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xd\ ph}}$$

$$KB = AK \cdot \sin KAB \approx \frac{r \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph}} \cdot \sin[\psi_{xd\ ph} / 2 + \arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})]}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xd\ ph}}$$

$$KC = AK \cdot \sin KAC \approx \frac{r \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph}} \cdot \sin[\psi_{xd\ ph} / 2 - \arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})]}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xd\ ph}}$$

$$BC = KB + KC \approx \frac{r \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph}} \cdot 2 \cdot \sin(\psi_{xd\ ph} / 2) \cdot \cos[\arcsin(\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \sin \gamma_{xd\ ph})]}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xd\ ph}} \approx$$

$$l'_{xd\ ph} = BC \approx \frac{2 \cdot r \cdot \sin(\psi_{xd\ ph} / 2) \cdot (1 - \cos^2 \beta_{kt\ ph} \cdot \sin^2 \gamma_{xd\ ph})}{\cos \beta_{kt\ ph} \cdot \cos \gamma_{xd\ ph}} \quad (2.37)$$

Vì TLPK thường quay quanh trục dọc nên luôn có thời điểm $\cos \gamma_{xd\ ph} = 0$, khi đó:

$$l'_{xd\ ph} \approx \frac{2 \cdot r \cdot \sin(\psi_{xd\ ph} / 2)}{\cos \beta_{kt\ ph}} \quad (2.38)$$

Ký hiệu góc giữa các trục quang của cặp phát - thu laser và pháp tuyến với bề mặt mục tiêu là $\gamma_{xd\ ph}$ (hình 2.13). Hình dạng của các phần diện tích S'_{ph} , S'_{th}

và S'_{pt} còn phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa bề mặt mục tiêu và TLPK (phụ thuộc vào góc $\gamma_{xd\ ph}$). Khi $\gamma_{xd\ ph} = 0$ thì các phần diện tích S_{ph} , S_{th} và S_{pt} là các dải hình chữ nhật, khi $\gamma_{xd\ ph} > 0$ thì chúng là các dải hình thang.

Theo hình 2.11 và các công thức (2.3), (2.6), (2.20), (2.21), để giảm khoảng cách xác định vùng mù r_{min} ta phải tăng các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến $\beta_{kt\ ph2}$, $\beta_{kt\ th2}$ hoặc giảm khoảng cách giữa hai trục quang của các thấu kính $l^*_{kt\ pt}$; còn để tăng các góc nghiêng $\beta_{kt\ ph2}$, $\beta_{kt\ th2}$ ta phải tăng khoảng cách từ tâm nguồn phát laser đến trục quang của thấu kính x_{mcph} hoặc giảm các giá trị tiêu cự f_{ph2} , f_{th2} .

Theo hình 2.12 và các công thức (2.28), (2.29), (2.30) để tăng các góc $\psi_{xd\ ph}$, $\psi_{xd\ th}$ ta phải tăng bề rộng trong mặt phẳng xích đạo của nguồn phát xạ và của điện trở quang $l_{xd\ ph1}$, $l_{xd\ th1}$ hoặc giảm các giá trị tiêu cự f_{ph1} , f_{th1} và tăng f_{ph2} , f_{th2} .

2.3. Kết luận chương 2

Trên cơ sở mối tương quan giữa các tham số quang hình, luận án đã từng bước phân tích, đánh giá ảnh hưởng của các tham số hệ quang đến vùng quan sát, vùng mù, vùng làm việc của ngòi nổ laser trong 2 mặt phẳng kinh tuyến và mặt phẳng xích đạo.

Bên cạnh đó, luận án đã đề xuất mô hình toán học cho hệ quang chuyên dụng ngòi nổ laser, xây dựng các biểu thức toán học tính toán một số tham số quang hình học quan trọng của ngòi nổ laser. Các biểu thức toán học này sẽ làm tiền đề cho việc khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của tham số quang hình học đến thông số làm việc của ngòi nổ laser; đồng thời, luận án sẽ đề xuất các phương pháp và thuật toán xác định các tham số hợp lý cho hệ quang (sẽ trình bày trong chương 3).

Chương 3

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THAM SỐ HỢP LÝ CHO HỆ QUANG CỦA NGÒI NỔ LASER

Như đã đề cập ở phần kết luận chương 2, nội dung của chương này sẽ tiến hành khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của tham số quang hình đến các thông số làm việc của ngòi nổ laser. Từ đó, đưa ra giải pháp tối ưu hóa tham số hệ quang để nâng cao khả năng quan sát cho ngòi nổ, đảm bảo phối hợp vùng quan sát với vùng làm việc của ngòi nổ laser.

3.1. Nghiên cứu, khảo sát sự ảnh hưởng của tham số quang hình học đến thông số làm việc của ngòi nổ laser.

3.1.1. *Mối quan hệ của các tham số quang hình học.*

Dựa trên mối quan hệ giữa các tham số quang hình học như đã đề cập ở chương 2, ta có một số nhận xét như sau:

1- Vì thiết bị phát laser và thiết bị thu laser có cấu tạo gần tương tự nhau và gần như đối xứng với nhau qua một mặt phẳng xích đạo, nên đa số các kết quả khảo sát cho thiết bị phát laser có thể áp dụng được cho thiết bị thu laser và ngược lại.

2- Hai cặp thông số $l_{kt\ ph\ 1}, l_{xd\ ph\ 1}, f_{ph\ 1}, f_{ph\ 2}$ (cặp thông số 1) và $l_{kt\ th\ 1}, l_{xd\ th\ 1}, f_{th\ 1}, f_{th\ 2}$ (cặp thông số 2) sẽ xác định tương ứng hai cặp thông số $l_{kt\ ph\ 2}, l_{xd\ ph\ 2}$ (cặp thông số 3) và $l_{kt\ ph\ 2}, l_{xd\ ph\ 2}$ (cặp thông số 4) rồi thông qua đó ảnh hưởng đến các thông số khác của ngòi nổ laser. Vì vậy, thay vì phải cho hai cặp thông số 1, 2 thay đổi (với 8 thông số thay đổi) ta chỉ cần cho hai cặp thông số 3 và 4 thay đổi (với 4 thông số thay đổi). Giá trị bất kỳ của hai cặp thông số 3 và 4 hoàn toàn có thể nhận được bằng cách thay đổi hợp lý giá trị của hai cặp thông số tương ứng 1 và 2.

3- Hai cặp thông số kết cấu (thông số đầu vào) (cặp thông số 1: $l_{kt\ ph\ 1}, l_{xd\ ph\ 1}, f_{ph\ 1}, f_{ph\ 2}, l_{kt\ pt}^*$ và cặp thông số 2: $l_{kt\ th\ 1}, l_{xd\ th\ 1}, f_{th\ 1}, f_{th\ 2}, l_{kt\ pt}^*$) và hai cặp thông số

đầu ra (cặp thông số 5: $\psi_{\text{xd ph}}, \beta_{\text{kt ph}}, r_{\text{min}}, r_{\text{max}}$ và cặp thông số 6: $\psi_{\text{xd th}}, \beta_{\text{kt th}}, r_{\text{min}}, r_{\text{max}}$) được quan tâm nhiều nhất trong ngòi nổ laser.

Ta sẽ nghiên cứu, khảo sát sự ảnh hưởng lẫn nhau của một vài thông số đối với ngòi nổ laser của TLPK tầm thấp. Các số liệu phục vụ cho việc khảo sát được lấy từ nguồn thông tin khoa học quân sự. Cơ sở để phục vụ khảo sát dựa trên một số chủng loại TLPK có lắp ngòi nổ laser và công thức 2.1, tiến hành cố định một thông số và khảo sát sự phụ thuộc của hai thông số còn lại (Bảng 3.1- 3.4).

Bảng 3. 1. Ví dụ sự thay đổi của $l_{\text{xd ph 2}}, l_{\text{kt ph 2}}$ ($l_{\text{xd th 2}}, l_{\text{kt th 2}}$) theo $f_{\text{ph 1}}$ ($f_{\text{th 1}}$)

TT	$f_{\text{ph 1}}(mm)$	$f_{\text{ph 2}}(mm)$	$l_{\text{xd ph 1}}(mm)$	$l_{\text{kt ph 1}}(mm)$	$l_{\text{xd ph 2}}(mm)$	$l_{\text{kt ph 2}}(mm)$
1	3,0	5,0	0,15	0,15	0,25	0,25
2	3,5				0,21	0,21
3	4,0				0,19	0,19
4	4,5				0,17	0,17
5	5,0				0,15	0,15
6	5,5				0,14	0,14
7	6,0				0,13	0,13
8	6,5				0,12	0,12
9	7,0				0,11	0,11
10	7,5				0,10	0,10

Bảng 3. 2. Ví dụ sự thay đổi của $l_{\text{xd ph 2}}, l_{\text{kt ph 2}}$ ($l_{\text{xd th 2}}, l_{\text{kt th 2}}$) theo $f_{\text{ph 2}}$ ($f_{\text{th 2}}$)

TT	$f_{\text{ph 1}}(mm)$	$f_{\text{ph 2}}(mm)$	$l_{\text{xd ph 1}}(mm)$	$l_{\text{kt ph 1}}(mm)$	$l_{\text{xd ph 2}}(mm)$	$l_{\text{kt ph 2}}(mm)$
1	5,0	3,0	0,15	0,15	0,09	0,09
2		3,5			0,11	0,11
3		4,0			0,12	0,12
4		4,5			0,14	0,14
5		5,0			0,15	0,15
6		5,5			0,17	0,17
7		6,0			0,18	0,18
8		6,5			0,20	0,20
9		7,0			0,21	0,21
10		7,5			0,23	0,23

Bảng 3. 3. Ví dụ sự thay đổi của $l_{xd\ ph\ 2}(l_{xd\ th\ 2})$ theo $l_{xd\ ph\ 1}(l_{xd\ th\ 1})$

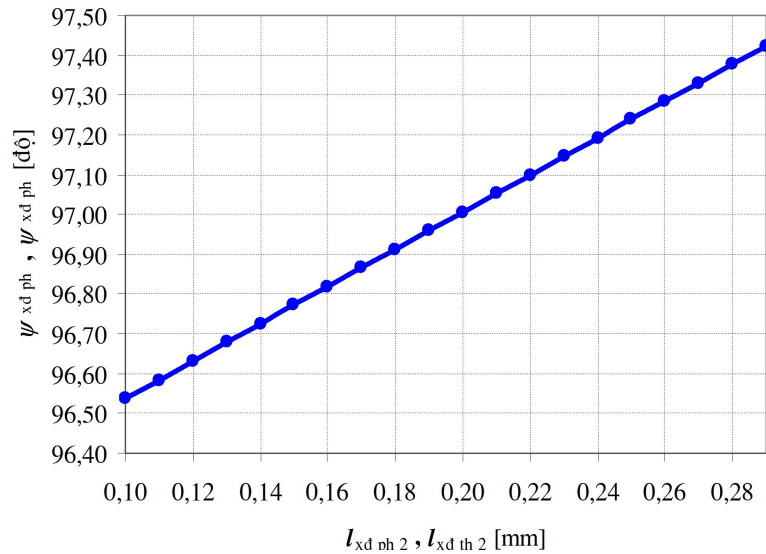
TT	$f_{ph\ 1}(mm)$	$f_{ph\ 2}(mm)$	$l_{xd\ ph\ 1}(mm)$	$l_{kt\ ph\ 1}(mm)$	$l_{xd\ ph\ 2}(mm)$	$l_{kt\ ph\ 2}(mm)$
1	5,0	5,0	0,10	0,15	0,10	0,15
2			0,11		0,11	0,15
3			0,12		0,12	0,15
4			0,13		0,13	0,15
5			0,14		0,14	0,15
6			0,15		0,15	0,15
7			0,16		0,16	0,15
8			0,17		0,17	0,15
9			0,18		0,18	0,15
10			0,19		0,19	0,15

Bảng 3. 4. Ví dụ sự thay đổi của $l_{kt\ ph\ 2}(l_{kt\ th\ 2})$ theo $l_{kt\ ph\ 1}(l_{kt\ th\ 1})$

TT	$f_{ph\ 1}(mm)$	$f_{ph\ 2}(mm)$	$l_{xd\ ph\ 1}(mm)$	$l_{kt\ ph\ 1}(mm)$	$l_{xd\ ph\ 2}(mm)$	$l_{kt\ ph\ 2}(mm)$
1	5,0	5,0	0,15	0,10	0,15	0,10
2				0,11	0,15	0,11
3				0,12	0,15	0,12
4				0,13	0,15	0,13
5				0,14	0,15	0,14
6				0,15	0,15	0,15
7				0,16	0,15	0,16
8				0,17	0,15	0,17
9				0,18	0,15	0,18
10				0,19	0,15	0,19

3.1.2. Ảnh hưởng của tham số quang hình đến thông số làm việc của ngòi nổ laser

Từ các công thức số (2.29), (2.30) và theo số liệu khảo sát trong bảng 3.1 đến 3.8 ta có đồ thị mô tả sự phụ thuộc của góc mở trong mặt phẳng xích đạo vào kích thước nguồn phát laser có dạng như hình 3.1.



Hình 3. 1. Đồ thị sự phụ thuộc của $\psi_{xđ\ ph}, \psi_{xđ\ th}$ vào $l_{xđ\ ph\ 2}, l_{xđ\ th\ 2}$

Nhận xét:

1- Kích thước $l_{xđ\ ph\ 1}$ của ảnh nguồn phát laser và $l_{xđ\ th\ 1}$ của ảnh đầu thu quang tính theo mặt phẳng xích đạo (thông qua kích thước $l_{xđ\ ph\ 2}$ của ảnh nguồn phát laser và $l_{xđ\ th\ 2}$ của ảnh đầu thu quang tại mặt phẳng tiêu cự sau của các thấu kính tương ứng, tính theo mặt phẳng xích đạo) chỉ ảnh hưởng đến góc mở vùng quan sát trong mặt phẳng xích đạo $\psi_{xđ\ ph}$ của thiết bị phát laser và $\psi_{xđ\ th}$ của thiết bị thu laser.

2- Khi tăng $l_{xđ\ ph\ 1}, l_{xđ\ th\ 1}$ tức là tăng $l_{xđ\ ph\ 2}, l_{xđ\ th\ 2}$ thì $\psi_{xđ\ ph}, \psi_{xđ\ th}$ cũng tăng lên. Sự phụ thuộc này được thể hiện trên Hình 3.1.

3- Các giá trị $\psi_{xđ\ ph}, \psi_{xđ\ th}$ lớn hơn 90° đảm bảo vùng quan sát của bốn cặp phát - thu laser phủ kín mặt phẳng xích đạo.

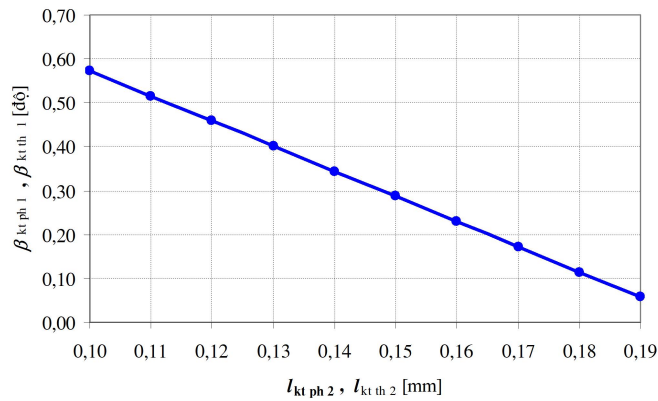
Bảng 3. 5. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{xd\ ph\ 2}$ và $l_{xd\ th\ 2}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

TT	$l_{xd\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l^*_{kt\ pt}$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{xd\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xd\ ph}$ (m)
1	0,10	0,15	35,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,54	0,09	3,50	3,41	3,00	0,57	4,50
2	0,11							0,29	11,04	5,66	10,75	96,58	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
3	0,12							0,29	11,04	5,66	10,75	96,63	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
4	0,13							0,29	11,04	5,66	10,75	96,68	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
5	0,14							0,29	11,04	5,66	10,75	96,73	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
6	0,15							0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7	0,16							0,29	11,04	5,66	10,75	96,82	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8	0,17							0,29	11,04	5,66	10,75	96,87	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
9	0,18							0,29	11,04	5,66	10,75	96,91	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
10	0,19							0,29	11,04	5,66	10,75	96,96	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
TT	$l_{xd\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ th\ 2}$ (mm)	$l^*_{kt\ pt}$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{xd\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xd\ th}$ (m)
1	0,10	0,15	35,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,54	0,09	3,50	3,41	3,00	0,57	4,50
2	0,11							0,29	11,04	5,66	10,75	96,58	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
3	0,12							0,29	11,04	5,66	10,75	96,63	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
4	0,13							0,29	11,04	5,66	10,75	96,68	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
5	0,14							0,29	11,04	5,66	10,75	96,73	0,09	3,50	3,41		0,57	4,50
6	0,15							0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7	0,16							0,29	11,04	5,66	10,75	96,82	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8	0,17							0,29	11,04	5,66	10,75	96,87	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
9	0,18							0,29	11,04	5,66	10,75	96,91	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
10	0,19							0,29	11,04	5,66	10,75	96,96	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51

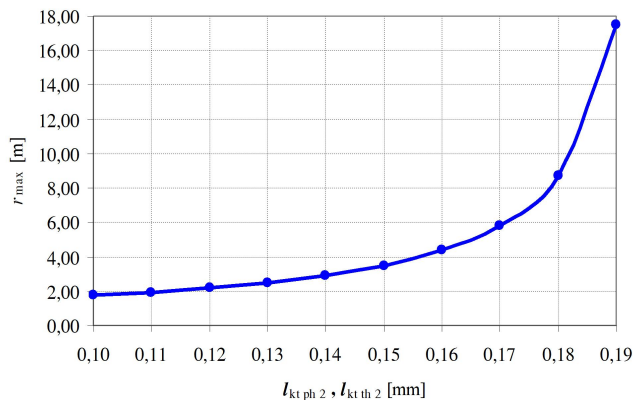
Bảng 3. 6. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{kt\,ph\,2}$ và $l_{kt\,th\,2}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

TT	$l_{xd\,ph\,2}$ (mm)	$l_{kt\,ph\,2}$ (mm)	$l_{kt\,pt}^*$ (mm)	$l_{kt\,mc\,ph}$ (mm)	$l_{xd\,mc\,ph}$ (mm)	$x_{mc\,ph}$ (mm)	$y_{mc\,ph}$ (mm)	$\beta_{kt\,ph\,1}$ (độ)	$\beta_{kt\,ph\,2}$ (độ)	$\beta_{kt\,ph}$ (độ)	$\psi_{kt\,ph}$ (độ)	$\psi_{xd\,ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\,ph}$ (m)	$l'_{xd\,ph}$ (m)
1	0,15	0,10	35,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,57	10,76	5,67	10,19	96,77	0,09	1,75	1,66	3,00	0,54	4,51
2		0,11						0,52	10,82	5,67	10,30	96,77	0,09	1,94	1,85		0,55	4,51
3		0,12						0,46	10,87	5,67	10,42	96,77	0,09	2,19	2,10		0,55	4,51
4		0,13						0,40	10,93	5,67	10,53	96,77	0,09	2,50	2,41		0,56	4,51
5		0,14						0,34	10,98	5,66	10,64	96,77	0,09	2,92	2,83		0,56	4,51
6		0,15						0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7		0,16						0,23	11,10	5,66	10,87	96,77	0,09	4,38	4,29		0,58	4,51
8		0,17						0,17	11,15	5,66	10,98	96,77	0,09	5,83	5,74		0,58	4,51
9		0,18						0,11	11,21	5,66	11,09	96,77	0,09	8,75	8,66		0,59	4,51
10		0,19						0,06	11,26	5,66	11,20	96,77	0,09	17,50	17,41		0,59	4,51
TT	$l_{xd\,th\,2}$ (mm)	$l_{kt\,th\,2}$ (mm)	$l_{kt\,pt}^*$ (mm)	$l_{kt\,mc\,th}$ (mm)	$l_{xd\,mc\,th}$ (mm)	$x_{mc\,th}$ (mm)	$y_{mc\,th}$ (mm)	$\beta_{kt\,th\,1}$ (độ)	$\beta_{kt\,th\,2}$ (độ)	$\beta_{kt\,th}$ (độ)	$\psi_{kt\,th}$ (độ)	$\psi_{xd\,th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\,th}$ (m)	$l'_{xd\,th}$ (m)
1	0,15	0,10	35,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,57	10,76	5,67	10,19	96,77	0,09	1,75	1,66	3,00	0,54	4,51
2		0,11						0,52	10,82	5,67	10,30	96,77	0,09	1,94	1,85		0,55	4,51
3		0,12						0,46	10,87	5,67	10,42	96,77	0,09	2,19	2,10		0,55	4,51
4		0,13						0,40	10,93	5,67	10,53	96,77	0,09	2,50	2,41		0,56	4,51
5		0,14						0,34	10,98	5,66	10,64	96,77	0,09	2,92	2,83		0,56	4,51
6		0,15						0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7		0,16						0,23	11,10	5,66	10,87	96,77	0,09	4,38	4,29		0,58	4,51
8		0,17						0,17	11,15	5,66	10,98	96,77	0,09	5,83	5,74		0,58	4,51
9		0,18						0,11	11,21	5,66	11,09	96,77	0,09	8,75	8,66		0,59	4,51
10		0,19						0,06	11,26	5,66	11,20	96,77	0,09	17,50	17,41		0,59	4,51

Theo công thức (2.2) đến (2.7) và căn cứ trên bảng số 3.5 và 3.6, ta có đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến và kích thước nguồn phát, thu trên hình 3.2. Theo công thức số (2.2) và (2.26) có sự phụ thuộc của r_{max} vào $l_{kt\ ph\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$ được biểu diễn trên Hình 3.3.



Hình 3. 2. Đồ thị sự phụ thuộc của $\beta_{kt\ ph1}$, $\beta_{kt\ th1}$ vào $l_{kt\ ph\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$



Hình 3. 3. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $l_{kt\ ph\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$

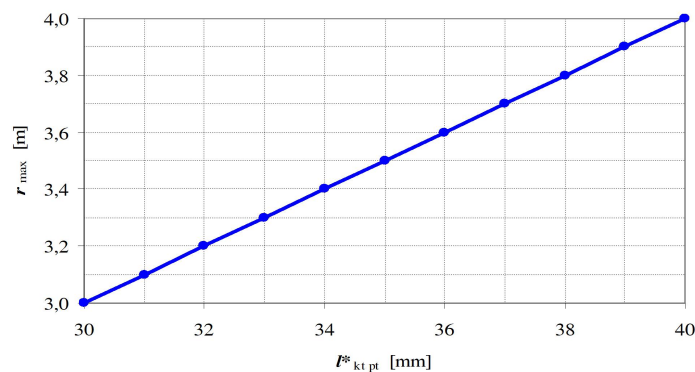
- Kích thước nguồn phát laser $l_{kt\ ph1}$ và kích thước đầu thu quang $l_{kt\ th1}$ tính theo mặt phẳng kinh tuyến (thông qua kích thước ảnh nguồn phát laser $l_{kt\ ph2}$ và kích thước ảnh đầu thu quang $l_{kt\ th2}$ tại mặt phẳng tiêu cự sau của các thấu kính tương ứng, tính theo mặt phẳng kinh tuyến) chỉ ảnh hưởng đến các thông số quang hình của ngòi nổ trong mặt phẳng kinh tuyến. Các kích thước này ảnh hưởng rất nhiều đến các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần chùm tia laser ló ra từ thiết bị phát laser $\beta_{kt\ ph1}$ và của biên gần chùm tia laser đi vào thiết

bị thu laser $\beta_{kt\ th1}$, giới hạn xa vùng quan sát của ngòi nổ r_{max} (qua đó ảnh hưởng đến đoạn quan sát của ngòi nổ Δr), và ảnh hưởng không nhiều đến góc nghiêng trung bình trong mặt phẳng kinh tuyến của các chùm tia laser $\beta_{kt\ ph}$, $\beta_{kt\ th}$.

- Khi tăng $l_{kt\ ph\ 1}$, $l_{kt\ th\ 1}$ tức là tăng $l_{kt\ ph\ 2}$, $l_{kt\ th\ 2}$ thì $\beta_{kt\ ph\ 1}$, $\beta_{kt\ th\ 1}$ giảm và r_{max} , Δr tăng.

- Khi chế tạo, lắp ráp và hiệu chỉnh ngòi nổ laser ta phải đặc biệt chú ý đến độ chính xác các thông số ảnh hưởng đến hai kích thước $l_{kt\ ph\ 2}$ và $l_{kt\ th\ 2}$ (các tiêu cự, vị trí đặt nguồn phát laser và đầu thu quang, kích thước tính theo mặt phẳng kinh tuyến của nguồn phát laser và của đầu thu quang,...).

Từ công thức (2.26) và bảng số liệu (3.7) ta có đồ thị sự phụ thuộc của cự ly quan sát lớn nhất r_{max} vào $l^*_{kt\ pt}$.



Hình 3. 4. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $l^*_{kt\ pt}$

- Khoảng cách $l^*_{kt\ pt}$ của một cặp phát - thu laser tính theo mặt phẳng kinh tuyến chỉ ảnh hưởng đến các thông số quang hình của ngòi nổ trong mặt phẳng kinh tuyến. Đại lượng này ảnh hưởng nhiều nhất đến khoảng cách xác định giới hạn xa của vùng quan sát của ngòi nổ r_{max} (qua đó ảnh hưởng đến khoảng làm việc của ngòi nổ Δr).

- Khi tăng $l^*_{kt\ pt}$ thì r_{max} , Δr tăng. Sự phụ thuộc này được thể hiện trong Bảng 3.7 và trên hình 3.4.

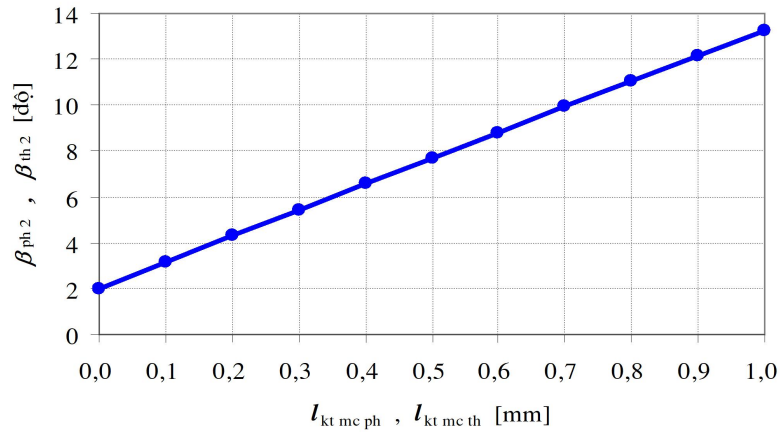
Bảng 3. 7. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của kích thước $l_{kt\ pt}^*$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

TT	$l_{xđ\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{xđ\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xđ\ ph}$ (m)
1	0,15	0,15	30,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,00	2,92	3,00	0,57	4,51
2			31,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,10	3,02		0,57	4,51
3			32,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,20	3,12		0,57	4,51
4			33,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,30	3,22		0,57	4,51
5			34,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,40	3,31		0,57	4,51
6			35,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7			36,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,60	3,51		0,57	4,51
8			37,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,70	3,61		0,57	4,51
9			38,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,10	3,80	3,70		0,57	4,51
10			39,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,10	3,90	3,80		0,57	4,51
TT	$l_{xđ\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{xđ\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xđ\ th}$ (m)
1	0,15	0,15	30,00	0,80	12,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,00	2,92	3,00	0,57	4,51
2			31,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,10	3,02		0,57	4,51
3			32,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,20	3,12		0,57	4,51
4			33,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,08	3,30	3,22		0,57	4,51
5			34,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,40	3,31		0,57	4,51
6			35,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
7			36,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,60	3,51		0,57	4,51
8			37,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,70	3,61		0,57	4,51
9			38,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,10	3,80	3,70		0,57	4,51
10			39,00					0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,10	3,90	3,80		0,57	4,51

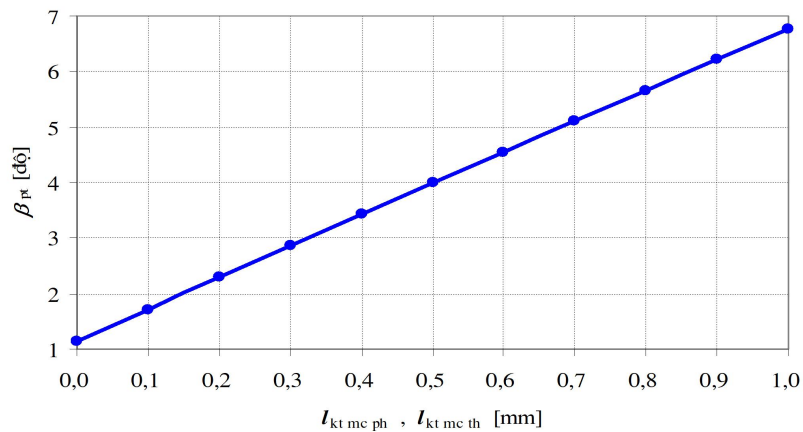
Bảng 3. 8. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của các kích thước $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

TT	$l_{xđ\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{xđ\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xđ\ ph}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,00	12,00	0,10	5,00	0,29	2,01	1,15	1,72	101,13	0,50	3,50	3,00	3,00	0,09	4,63
2				0,10				0,29	3,15	1,72	2,86	100,57	0,32	3,50	3,18		0,15	4,62
3				0,20				0,29	4,29	2,29	4,00	100,01	0,23	3,50	3,27		0,21	4,60
4				0,30				0,29	5,43	2,86	5,14	99,46	0,18	3,50	3,32		0,27	4,58
5				0,40				0,29	6,56	3,43	6,28	98,91	0,15	3,50	3,35		0,33	4,57
6				0,50				0,29	7,69	3,99	7,41	98,37	0,13	3,50	3,37		0,39	4,55
7				0,60				0,29	8,82	4,55	8,53	97,83	0,11	3,50	3,39		0,45	4,54
8				0,70				0,29	9,93	5,11	9,64	97,30	0,10	3,50	3,40		0,51	4,52
9				0,80				0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
10				0,90				0,29	12,14	6,21	11,85	96,25	0,08	3,50	3,42		0,63	4,49
TT	$l_{xđ\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{xđ\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xđ\ th}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,00	12,00	0,10	5,00	0,29	2,01	1,15	1,72	101,13	0,50	3,50	3,00	3,00	0,09	4,63
2				0,10				0,29	3,15	1,72	2,86	100,57	0,32	3,50	3,18		0,15	4,62
3				0,20				0,29	4,29	2,29	4,00	100,01	0,23	3,50	3,27		0,21	4,60
4				0,30				0,29	5,43	2,86	5,14	99,46	0,18	3,50	3,32		0,27	4,58
5				0,40				0,29	6,56	3,43	6,28	98,91	0,15	3,50	3,35		0,33	4,57
6				0,50				0,29	7,69	3,99	7,41	98,37	0,13	3,50	3,37		0,39	4,55
7				0,60				0,29	8,82	4,55	8,53	97,83	0,11	3,50	3,39		0,45	4,54
8				0,70				0,29	9,93	5,11	9,64	97,30	0,10	3,50	3,40		0,51	4,52
9				0,80				0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
10				0,90				0,29	12,14	6,21	11,85	96,25	0,08	3,50	3,42		0,63	4,49

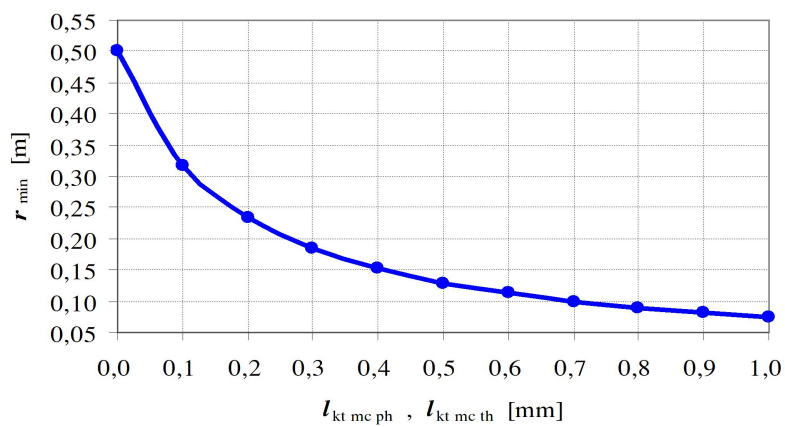
Theo công thức (2.3), (2.6), (2.21) có đồ thị sự ảnh hưởng của kích thước màn chắn đến góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến và cự ly $r_{\min}$.



Hình 3. 5. Đồ thị sự phụ thuộc của $\beta_{ph\ 2}, \beta_{th\ 2}$ vào $l_{kt\ mc\ ph}, l_{kt\ mc\ th}$



Hình 3. 6. Đồ thị sự phụ thuộc của β_{pt} vào $l_{kt\ mc\ ph}, l_{kt\ mc\ th}$



Hình 3. 7. Đồ thị sự phụ thuộc của $r_{\min}$ vào $l_{kt\ mc\ ph}, l_{kt\ mc\ th}$

Nhận xét:

1- Độ rộng khe hở màn chắn thiết bị phát laser và độ rộng khe hở màn chắn thiết bị thu laser tính theo mặt phẳng kinh tuyến $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ chủ yếu ảnh hưởng đến các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên xa chùm tia laser ló ra từ thiết bị phát laser $\beta_{kt\ ph\ 2}$ và của biên xa chùm tia laser đi vào thiết bị thu laser $\beta_{kt\ th\ 2}$, qua đó ảnh hưởng đến:

- Góc nghiêng trung bình trong mặt phẳng kinh tuyến của các chùm tia laser $\beta_{kt\ ph}$, $\beta_{kt\ th}$;

- Giới hạn xa vùng quan sát của ngòi nổ r_{max} .

2- Khi tăng $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ thì:

- $\beta_{kt\ ph\ 2}$, $\beta_{kt\ th\ 2}$, $\beta_{kt\ ph}$, $\beta_{kt\ th}$ tăng;

- r_{min} giảm;

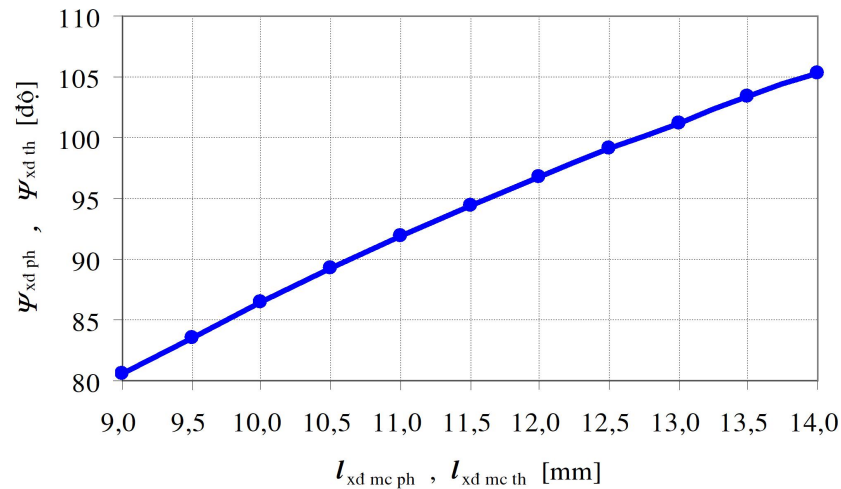
- Δr tăng nhưng không đáng kể.

3- Nếu tăng độ rộng khe hở màn chắn thiết bị phát laser và độ rộng khe hở màn chắn thiết bị thu laser tính theo mặt phẳng kinh tuyến $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ thì giới hạn xa vùng quan sát của ngòi nổ r_{max} tăng nhưng góc mở vùng quan sát của một cặp phát - thu laser trong mặt phẳng xích đạo giảm (góc mở này phải lớn hơn 90° để đảm bảo vùng quan sát của ngòi nổ bao kín đường tròn xích đạo), góc mở vùng quan sát của một cặp phát - thu laser trong mặt phẳng kinh tuyến tăng (làm giảm độ chính xác của ngòi nổ). Vì vậy, các thông số $l_{kt\ mc\ ph}$, $l_{kt\ mc\ th}$ phải được chọn hợp lý.

Bảng 3. 9. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $l_{xđ\ mc\ ph}$, $l_{xđ\ mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

TT	$l_{xđ\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{xđ\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xđ\ ph}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	9,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	80,58	0,09	3,50	3,41	3,00	0,57	3,90
2					9,50			0,29	11,04	5,66	10,75	83,60	0,09	3,50	3,41		0,57	4,02
3					10,00			0,29	11,04	5,66	10,75	86,48	0,09	3,50	3,41		0,57	4,13
4					10,50			0,29	11,04	5,66	10,75	89,23	0,09	3,50	3,41		0,57	4,23
5					11,00			0,29	11,04	5,66	10,75	91,86	0,09	3,50	3,41		0,57	4,33
6					11,50			0,29	11,04	5,66	10,75	94,37	0,09	3,50	3,41		0,57	4,42
7					12,00			0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8					12,50			0,29	11,04	5,66	10,75	99,06	0,09	3,50	3,41		0,57	4,59
9					13,00			0,29	11,04	5,66	10,75	101,25	0,09	3,50	3,41		0,57	4,66
10					13,50			0,29	11,04	5,66	10,75	103,34	0,09	3,50	3,41		0,57	4,73
TT	$l_{xđ\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xđ\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{xđ\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xđ\ th}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	9,00	0,10	5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	80,58	0,09	3,50	3,41	3,00	0,57	3,90
2					9,50			0,29	11,04	5,66	10,75	83,60	0,09	3,50	3,41		0,57	4,02
3					10,00			0,29	11,04	5,66	10,75	86,48	0,09	3,50	3,41		0,57	4,13
4					10,50			0,29	11,04	5,66	10,75	89,23	0,09	3,50	3,41		0,57	4,23
5					11,00			0,29	11,04	5,66	10,75	91,86	0,09	3,50	3,41		0,57	4,33
6					11,50			0,29	11,04	5,66	10,75	94,37	0,09	3,50	3,41		0,57	4,42
7					12,00			0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8					12,50			0,29	11,04	5,66	10,75	99,06	0,09	3,50	3,41		0,57	4,59
9					13,00			0,29	11,04	5,66	10,75	101,25	0,09	3,50	3,41		0,57	4,66
10					13,50			0,29	11,04	5,66	10,75	103,34	0,09	3,50	3,41		0,57	4,73

Theo công thức (2.29), (2.30) và bảng số liệu khảo sát (3.13) ta có đồ thị sự phụ thuộc của góc mở $\psi_{\text{xd ph}}$ vào kích thước màn chắn trong mặt phẳng xích đạo $l_{\text{xd mc ph}}$.



Hình 3. 8. Đồ thị sự phụ thuộc của $\psi_{\text{xd ph}}$, $\psi_{\text{xd th}}$ vào $l_{\text{xd mc ph}}$, $l_{\text{xd mc th}}$

Nhận xét:

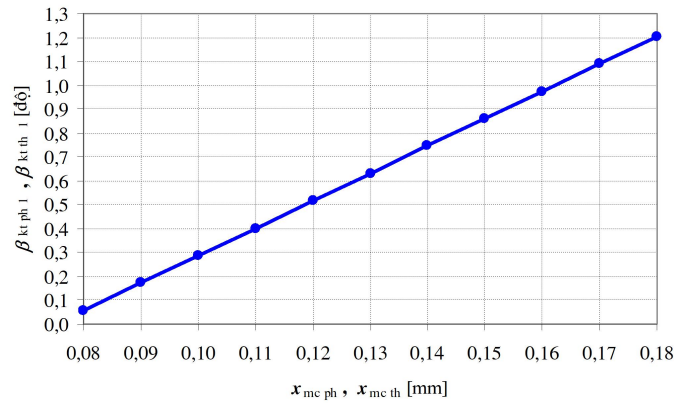
1- Chiều dài khe hở màn chắn thiết bị phát laser và chiều dài khe hở màn chắn thiết bị thu laser tính theo mặt phẳng xích đạo $l_{\text{xd mc ph}}$, $l_{\text{kt mc th}}$ chỉ ảnh hưởng đến góc mở vùng quan sát trong mặt phẳng xích đạo $\psi_{\text{xd ph}}$ của thiết bị phát laser và $\psi_{\text{xd th}}$ của thiết bị thu laser.

2- Khi tăng $l_{\text{xd mc ph}}$, $l_{\text{kt mc th}}$ thì $\psi_{\text{xd ph}}$, $\psi_{\text{xd th}}$ cũng tăng lên. Sự phụ thuộc này được thể hiện trong Bảng 3.9 và trên Hình 3.8.

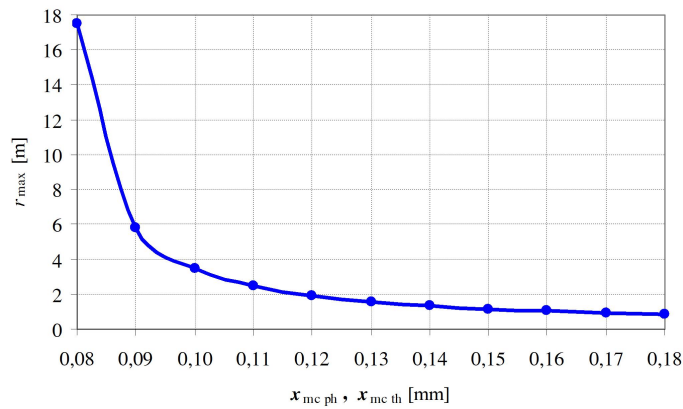
3- Các giá trị $\psi_{\text{xd ph}}$, $\psi_{\text{xd th}}$ lớn hơn 90° đảm bảo vùng quan sát của bốn cặp phát - thu laser phủ kín mặt phẳng xích đạo.

Bảng 3. 10. Kết quả khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của các kích thước $x_{mc\ ph}$, $x_{mc\ th}$ đến một số tham số quang hình của ngòi nổ laser

TT	$l_{xd\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\psi_{xd\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xd\ ph}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	12,00	0,08	5,00	0,06	10,82	5,44	10,76	96,78	0,09	17,50	17,41	3,00	0,57	4,50
2						0,09		0,17	10,93	5,55	10,76	96,77	0,09	5,83	5,74		0,57	4,51
3						0,10		0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
4						0,11		0,40	11,15	5,78	10,75	96,77	0,09	2,50	2,41		0,57	4,51
5						0,12		0,52	11,26	5,89	10,74	96,77	0,09	1,94	1,86		0,57	4,51
6						0,13		0,63	11,37	6,00	10,74	96,77	0,09	1,59	1,50		0,57	4,51
7						0,14		0,75	11,48	6,11	10,74	96,76	0,09	1,35	1,26		0,57	4,51
8						0,15		0,86	11,59	6,23	10,73	96,76	0,09	1,17	1,08		0,57	4,51
9						0,16		0,97	11,70	6,34	10,73	96,76	0,08	1,03	0,94		0,57	4,51
10						0,17		1,09	11,81	6,45	10,72	96,75	0,08	0,92	0,84		0,57	4,51
TT	$l_{xd\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{kt\ th}$ (độ)	$\psi_{xd\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xd\ th}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	12,00	0,08	5,00	0,06	10,82	5,44	10,76	96,78	0,09	17,50	17,41	3,00	0,57	4,50
2						0,09		0,17	10,93	5,55	10,76	96,77	0,09	5,83	5,74		0,57	4,51
3						0,10		0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
4						0,11		0,40	11,15	5,78	10,75	96,77	0,09	2,50	2,41		0,57	4,51
5						0,12		0,52	11,26	5,89	10,74	96,77	0,09	1,94	1,86		0,57	4,51
6						0,13		0,63	11,37	6,00	10,74	96,77	0,09	1,59	1,50		0,57	4,51
7						0,14		0,75	11,48	6,11	10,74	96,76	0,09	1,35	1,26		0,57	4,51
8						0,15		0,86	11,59	6,23	10,73	96,76	0,09	1,17	1,08		0,57	4,51
9						0,16		0,97	11,70	6,34	10,73	96,76	0,08	1,03	0,94		0,57	4,51
10						0,17		1,09	11,81	6,45	10,72	96,75	0,08	0,92	0,84		0,57	4,51



Hình 3. 9. Đồ thị sự phụ thuộc của $\beta_{kt\ ph\ 1}$, $\beta_{kt\ th\ 1}$ vào $x_{mc\ ph}$, $x_{mc\ th}$



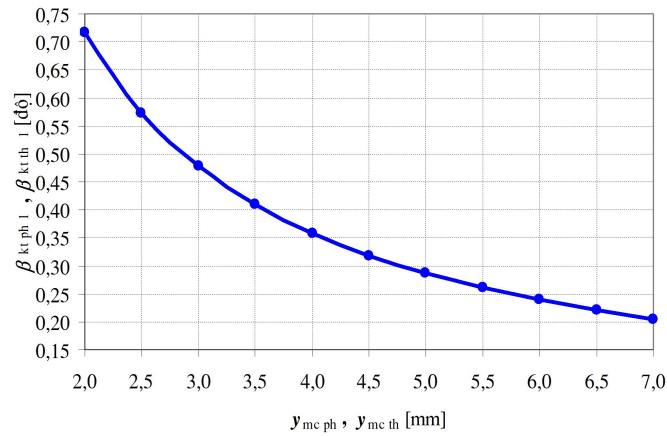
Hình 3. 10. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $x_{mc\ ph}$, $x_{mc\ th}$

- Khoảng cách từ tâm của màn chắn phát đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn phát) $x_{mc\ ph}$ và khoảng cách từ tâm của màn chắn thu (từ trục quang) đến mép dưới của khe hở (tọa độ x khe hở trên màn chắn thu) $x_{mc\ th}$ chủ yếu ảnh hưởng đến các thông số quang hình của ngòi nổ trong mặt phẳng kinh tuyến. Các kích thước này ảnh hưởng rất nhiều đến các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần chùm tia laser ló ra từ thiết bị phát laser $\beta_{kt\ ph\ 1}$ và của biên gần chùm tia laser đi vào thiết bị thu laser $\beta_{kt\ th\ 1}$, giới hạn xa vùng quan sát của ngòi nổ r_{max} (qua đó ảnh hưởng đến khoảng làm việc của ngòi nổ Δr), và ảnh hưởng không nhiều đến góc nghiêng trung bình trong mặt phẳng kinh tuyến của các chùm tia laser $\beta_{kt\ ph}$, $\beta_{kt\ th}$.

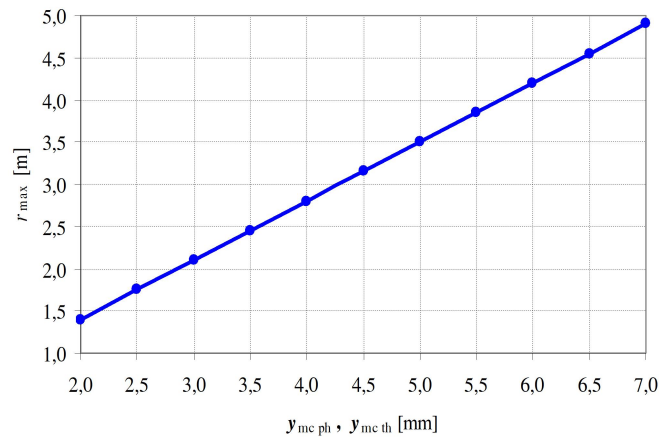
- Khi tăng $x_{mc\ ph}$, $x_{mc\ th}$ thì $\beta_{kt\ ph\ 1}$, $\beta_{kt\ th\ 1}$ tăng và r_{max} , Δr giảm.
- Khi chế tạo, lắp ráp và hiệu chỉnh ngòi nổ laser ta phải đặc biệt chú ý đến độ chính xác các thông số ảnh hưởng đến hai kích thước $x_{mc\ ph}$ và $x_{mc\ th}$.

Bảng 3. 11. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của các kích thước $y_{mc\ ph}$, $y_{mc\ th}$ đến một số tham số quang hình khác của ngòi nổ laser

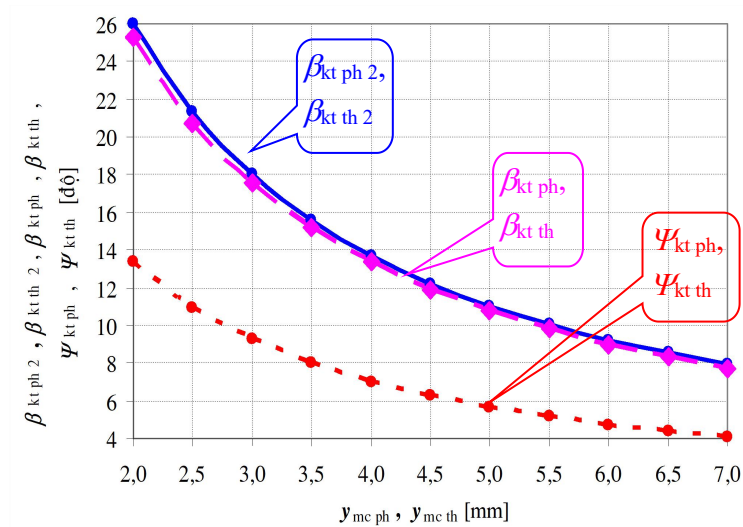
TT	$l_{xd\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ pt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ ph}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ ph}$ (mm)	$x_{mc\ ph}$ (mm)	$y_{mc\ ph}$ (mm)	$\beta_{kt\ ph\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ ph}$ (độ)	$\Psi_{kt\ ph}$ (độ)	$\Psi_{xd\ ph}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ ph}$ (m)	$l'_{xd\ ph}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	12,00	0,10	2,00	0,72	26,00	13,36	25,29	136,92	0,04	1,40	1,36	3,00	1,43	5,73
2							2,50	0,57	21,32	10,94	20,74	129,00	0,04	1,75	1,71		1,14	5,51
3							3,00	0,48	18,01	9,25	17,54	121,57	0,05	2,10	2,05		0,95	5,30
4							3,50	0,41	15,57	7,99	15,16	114,64	0,06	2,45	2,39		0,82	5,10
5							4,00	0,36	13,71	7,03	13,35	108,21	0,07	2,80	2,73		0,71	4,90
6							4,50	0,32	12,23	6,27	11,91	102,26	0,08	3,15	3,07		0,63	4,70
7							5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8							5,50	0,26	10,06	5,16	9,80	91,71	0,10	3,85	3,75		0,52	4,32
9							6,00	0,24	9,23	4,74	9,00	87,05	0,11	4,20	4,09		0,48	4,14
10							6,50	0,22	8,54	4,38	8,31	82,76	0,12	4,55	4,43		0,44	3,98
TT	$l_{xd\ th\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ ph\ 2}$ (mm)	$l_{kt\ tt}^*$ (mm)	$l_{kt\ mc\ th}$ (mm)	$l_{xd\ mc\ th}$ (mm)	$x_{mc\ th}$ (mm)	$y_{mc\ th}$ (mm)	$\beta_{kt\ th\ 1}$ (độ)	$\beta_{kt\ th\ 2}$ (độ)	$\beta_{kt\ th}$ (độ)	$\Psi_{kt\ th}$ (độ)	$\Psi_{xd\ th}$ (độ)	r_{min} (m)	r_{max} (m)	Δr (m)	r (m)	$l'_{kt\ th}$ (m)	$l'_{xd\ th}$ (m)
1	0,15	0,15	35,00	0,80	12,00	0,10	2,00	0,72	26,00	13,36	25,29	136,92	0,04	1,40	1,36	3,00	1,43	5,73
2							2,50	0,57	21,32	10,94	20,74	129,00	0,04	1,75	1,71		1,14	5,51
3							3,00	0,48	18,01	9,25	17,54	121,57	0,05	2,10	2,05		0,95	5,30
4							3,50	0,41	15,57	7,99	15,16	114,64	0,06	2,45	2,39		0,82	5,10
5							4,00	0,36	13,71	7,03	13,35	108,21	0,07	2,80	2,73		0,71	4,90
6							4,50	0,32	12,23	6,27	11,91	102,26	0,08	3,15	3,07		0,63	4,70
7							5,00	0,29	11,04	5,66	10,75	96,77	0,09	3,50	3,41		0,57	4,51
8							5,50	0,26	10,06	5,16	9,80	91,71	0,10	3,85	3,75		0,52	4,32
9							6,00	0,24	9,23	4,74	9,00	87,05	0,11	4,20	4,09		0,48	4,14
10							6,50	0,22	8,54	4,38	8,31	82,76	0,12	4,55	4,43		0,44	3,98



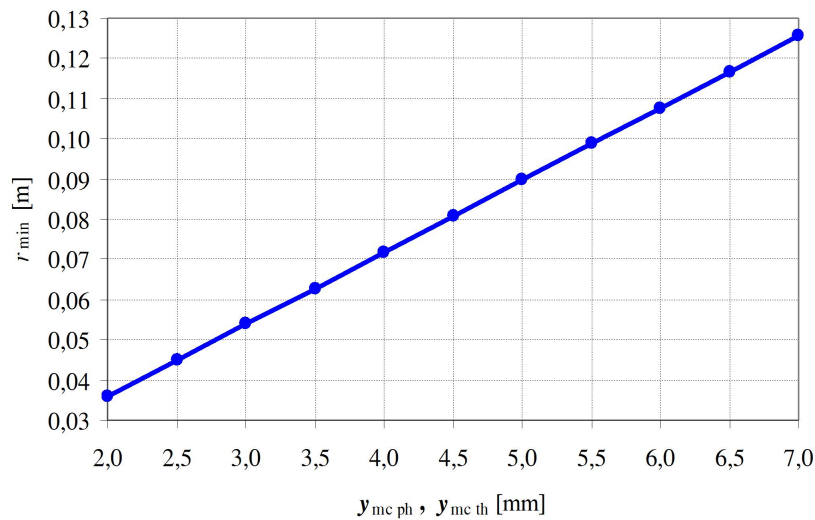
Hình 3. 11. Đồ thị sự phụ thuộc của $\beta_{kt\ ph\ 1}, \beta_{kt\ th\ 1}$ vào $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$



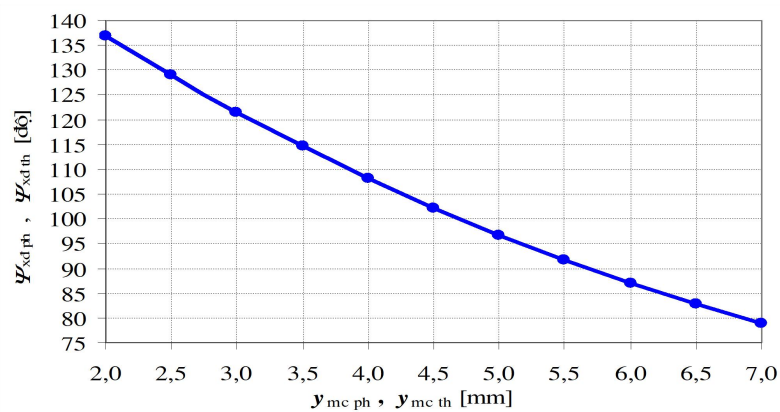
Hình 3. 12. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{max} vào $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$



Hình 3. 13. Đồ thị sự phụ thuộc $\beta_{kt\ ph\ 2}, \beta_{kt\ th\ 2}, \beta_{kt\ ph}, \beta_{kt\ th}, \Psi_{kt\ ph}, \Psi_{kt\ th}$ vào $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$



Hình 3. 14. Đồ thị sự phụ thuộc của r_{min} vào $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$



Hình 3. 15. Đồ thị sự phụ thuộc của $\Psi_{xd\ ph}, \Psi_{xd\ th}$ vào $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$

Nhận xét:

1- Khoảng cách từ tiêu điểm sau các thấu kính phát và tâm màn chắn phát (tính theo trục Oy) $y_{mc\ ph}$, khoảng cách từ tiêu điểm sau các thấu kính thu và tâm màn chắn thu (tính theo trục Oy) $y_{mc\ th}$ (vị trí đặt các màn chắn phát, thu) có ảnh hưởng nhiều đến các thông số ngòi nổ laser cả trong mặt phẳng xích đạo và cả trong mặt phẳng kinh tuyến;

2- Các khoảng cách $y_{mc\ ph}, y_{mc\ th}$ ảnh hưởng nhiều đến các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên gần chùm tia laser ló ra từ thiết bị phát laser $\beta_{kt\ ph\ 1}$ và của biên gần chùm tia laser đi vào thiết bị thu laser $\beta_{kt\ th\ 1}$, giới hạn xa vùng quan

sát của ngòi nổ $r_{\max}$ (qua đó ảnh hưởng nhiều đến khoảng làm việc của ngòi nổ Δr). Khi tăng $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$ thì $\beta_{\text{kt ph 1}}, \beta_{\text{kt th 1}}$ giảm và $r_{\min}, \Delta r$ tăng.

3- Các khoảng cách $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$ ảnh hưởng nhiều đến các góc nghiêng trong mặt phẳng kinh tuyến của biên xa chùm tia laser ló ra từ thiết bị phát laser $\beta_{\text{kt ph 2}}$ và của biên xa chùm tia laser đi vào thiết bị thu laser $\beta_{\text{kt th 2}}$, qua đó ảnh hưởng nhiều đến góc mở theo mặt phẳng kinh tuyến của các chùm tia laser. Nhưng, về mặt giá trị tuyệt đối chúng ảnh hưởng không nhiều đến giới hạn gần vùng quan sát của ngòi nổ $r_{\min}$, do đó ảnh hưởng không nhiều đến khoảng làm việc của ngòi nổ Δr). Khi tăng $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$ thì $\beta_{\text{kt ph 2}}, \beta_{\text{kt th 2}}, \Psi_{\text{kt ph}}, \Psi_{\text{kt th}}$ giảm đáng kể; $r_{\min}, \Delta r$ tăng không đáng kể.

4- Các khoảng cách $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$ ảnh hưởng nhiều đến góc mở theo mặt phẳng xích đạo của các chùm tia laser $\Psi_{\text{xd ph}}, \Psi_{\text{xd th}}$. Khi tăng $y_{\text{mc ph}}, y_{\text{mc th}}$ thì $\Psi_{\text{xd ph}}, \Psi_{\text{xd th}}$ giảm đáng kể (có thể xuống dưới 90° , dẫn đến vùng quan sát của ngòi nổ không quan sát hết cả đường tròn xích đạo).

5- Đối với TLPK có kích thước và bán kính sát thương đủ lớn có thể lắp nhiều hơn bốn cặp phát - thu laser trên một mặt phẳng xích đạo (một số TLPK lắp tới tám cặp phát - thu laser), khi đó vừa đảm bảo tăng được giới hạn xa vùng quan sát của ngòi nổ $r_{\max}$ vừa đảm bảo ngòi nổ quan sát kín đường tròn xích đạo.

3.2. Tính toán tham số hợp lý cho hệ quang học trên ngòi nổ laser

Mỗi loại tên lửa có kích thước khác nhau (đường kính thân, khối lượng phần chiến đấu, loại thuốc nổ,...) dẫn tới bán kính sát thương khác nhau, ngoài ra công suất phát và độ nhạy thiết bị thu của mỗi loại tên lửa cũng khác nhau, vì vậy thông số làm việc của mỗi loại tên lửa ($\beta, r_{\max}, r_{\min}, \Psi$) cũng yêu cầu khác nhau. Việc lựa chọn tham số quang hình thích hợp sẽ cho phép tăng cự ly làm việc của ngòi nổ, giảm kích thước vùng mù, nâng cao khả năng tiêu diệt mục tiêu của tên lửa.

Do các thông số làm việc phụ thuộc vào tham số quang hình của hệ quang (như đã khảo sát ở phần trên, từ bảng 3.5 đến bảng 3.15). Vì vậy rất cần một bộ tham số của hệ quang để thông số làm việc tiệm cận gần nhất với giá trị tối ưu đã được tính toán, đảm bảo sao cho xác suất tiêu diệt mục tiêu là lớn nhất.

Theo bài toán phối hợp giữa ngòi nổ laser và vùng văng mảnh đạn, đối với từng loại tên lửa, do tốc độ tiếp cận, đương lượng đầu nổ khác nhau mà có góc β_{kph-tu} sẽ phải tối ưu cho từng trường hợp cụ thể [6].

Để nhanh chóng tìm ra các tham số quang hình phù hợp cho từng loại tên lửa, luận án đưa ra được bộ phần mềm tính toán tham số tối ưu cho hệ quang. Bộ phần mềm này dựa trên cơ sở các biểu thức toán học để xác định các tham số $l_{kt\ mc\ ph}$, $x_{mc\ ph}$, $y_{mc\ ph}$ đảm góc nghiêng β trong mặt phẳng kinh tuyến tiệm cận gần nhất tới giá trị góc nghiêng tối ưu theo yêu cầu cho trước β_{kph-tu} . Đối với phương trình có 3 biến trên, việc giải tìm nghiệm giải tích chính xác là không thể. Đã có rất nhiều phương pháp khác nhau đã được đề xuất để tìm nghiệm gần đúng cho các bài toán thiếu thông tin về sự ràng buộc giữa các ẩn số. Trên cơ sở phân tích sự ảnh hưởng của các tham số trong hệ quang chuyên dụng, luận án đề xuất áp dụng các phương pháp sau:

- Phương pháp bình phương cực tiểu;
- Thuật toán di truyền.

3.2.1. Phương án ứng dụng phương pháp bình phương cực tiểu

Tham số cần tối ưu là góc nghiêng $\beta_{kt\ ph}$ trong mặt phẳng kinh tuyến, $\beta_{kt\ ph}$ được tính bởi các công thức dưới đây:

$$\beta_{kt\ ph\ 1} = \arctg \frac{x_{mc\ ph} - l_{kt\ ph\ 2} / 2}{y_{mc\ ph}} ; \beta_{kt\ ph\ 2} = \arctg \frac{x_{mc\ ph} + l_{kt\ ph\ 2} / 2 + l_{kt\ mc\ ph}}{y_{mc\ ph}} \quad (3.1)$$

$$\beta_{kt\ ph} \approx \frac{\beta_{kt\ ph\ 1} + \beta_{kt\ ph\ 2}}{2} \approx \arctg \frac{x_{mc\ ph} + l_{kt\ mc\ ph} / 2}{y_{mc\ ph}} \quad (3.2)$$

Do yêu cầu về kích thước của hệ quang nên các tham số x_{mcph} , l_{ktmcp} , y_{mcph} chỉ thay đổi trong các khoảng từ giá trị đầu “gtd” đến giá trị cuối “gtc” xác định theo góc mở của hệ quang, theo yêu cầu cho trước phụ thuộc vào mục đích sử dụng đầu nỏ [6], tương ứng:

$$x_{gtd} \leq x_{mcph} \leq x_{gtc}; y_{gtd} \leq y_{mcph} \leq y_{gtc}; l_{gtd} \leq l_{ktmcp} \leq l_{gtc} \quad (3.3)$$

Ứng với mỗi loại tên lửa, để đảm bảo phối hợp vùng hoạt động và vùng sát thương của ngòi nỏ, hệ quang có một giá trị β_{ktp} tối ưu riêng, cần xác định các tham số điều khiển x_{mcph} , l_{ktmcp} , y_{mcph} để thỏa mãn phương trình (3.2). Bảo đảm phối hợp ở đây chính là đảm bảo tạo ra góc β_{ktp} tối ưu, góc này là nghiệm của bài toán phối hợp vùng hoạt động của ngòi nỏ và vùng sát thương.

Dễ dàng nhận thấy phương trình (3.2) sẽ có vô số bộ nghiệm x_{mcph} , l_{ktmcp} , y_{mcph} , tức là vô số tổ hợp tham số quang học cho một góc nghiêng nhất định. Từ vô số nghiệm đó, chúng ta cần xác định chọn một bộ nghiệm gần trung tâm của các khoảng trong điều kiện (3.3). Hay nói cách khác, ta cần tìm bộ tham số điều khiển tối ưu có thể. Từ điều kiện (3.3) các giá trị nghiệm trung tâm được xác định như sau:

$$x_0 = x_{gtd} + \frac{x_{gtc} - x_{gtd}}{2}; y_0 = y_{gtd} + \frac{y_{gtc} - y_{gtd}}{2}; l_0 = l_{gtd} + \frac{l_{gtc} - l_{gtd}}{2} \quad (3.4)$$

Bộ tham số (x_0, y_0, l_0) chính là giá trị “trung tâm” trong khoảng thay đổi cho phép. Bình phương độ lệch của nghiệm phương trình (3.2) đến giá trị trung tâm được xác định như sau:

$$d = (x_{mcph} - x_0)^2 + (y_{mcph} - y_0)^2 + (l_{ktmcp} - l_0)^2 \quad (3.5)$$

Để thuận lợi khi thực hiện biến đổi toán học, ta tiến hành ký hiệu lại như sau: $x = x_{mcph}$, $y = y_{mcph}$, $l = l_{ktmcp}$. Như vậy, vấn đề xác định bộ tham số tối ưu cho hệ quang trên ngòi nỏ laser sẽ là vấn đề giải bài toán tối ưu sau: Tìm bộ nghiệm x, y, l sao cho độ lệch nghiệm d là nhỏ nhất, tức là:

$$d = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (l - l_0)^2 \rightarrow \min \quad (3.6)$$

Khi đó, từ (3.2) và (3.6) sẽ xác định được:

$$\beta_{ktp} = \arctg \frac{x + l / 2}{y} \quad (3.7)$$

Với điều kiện biên $x_{gtd} \leq x \leq x_{gtc} ; y_{gtd} \leq y \leq y_{gtc} ; l_{gtd} \leq l \leq l_{gtc}$.

Từ (3.7) dễ dàng suy ra:

$$y = \frac{x}{tg(\beta_{ktp})} + \frac{l}{2tg(\beta_{ktp})} \quad (3.8)$$

Các biến số x và l thay đổi trong các khoảng $[x_{gtd}, x_{gtc}]$, $[l_{gtd}, l_{gtc}]$ thì biến số y theo (3.8) sẽ thay đổi trong khoảng:

$$[y_{gtd}^*, y_{gtc}^*] = \left[\frac{x_{gtd} + l_{gtd} / 2}{tg(\beta_{ktp})}, \frac{x_{gtc} + l_{gtc} / 2}{tg(\beta_{ktp})} \right] \quad (3.9)$$

Dễ dàng nhận thấy nếu khoảng tính theo công thức (3.9) và khoảng $[y_{gtd}, y_{gtc}]$ theo công thức (3.3) giao nhau thì việc giải bài toán tối ưu mới có giá trị. Cũng dễ dàng nhận thấy điều kiện hai khoảng trên không giao nhau là:

$$y_{gtd}^* > y_{gtc} \text{ hoặc } y_{gtd} > y_{gtc}^* \quad (3.10)$$

Thay biểu thức (3.8) vào (3.6) ta được:

$$d = (x - x_0)^2 + \left(\frac{x + l / 2}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right)^2 + (l - l_0)^2 \quad (3.11)$$

chỉ còn phụ thuộc hai tham số x và l .

Từ (3.11), điều kiện để khoảng cách d đạt giá trị nhỏ nhất (min) là:

$$\frac{\partial d}{\partial x} = 2(x - x_0) + \frac{2}{tg(\beta_{ktp})} \left(\frac{x + l / 2}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right) = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial d}{\partial l} = 2(l - l_0) + \frac{1}{tg(\beta_{ktp})} \left(\frac{x + l / 2}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right) = 0 \quad (3.13)$$

Giải hệ phương trình (3.12) và (3.13) để tìm cặp (x, l) tối ưu. Từ phương trình (3.12) có thể rút ra:

$$(x - x_0) + \frac{1}{tg(\beta_{ktp})} \left(\frac{x + l/2}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right) = 0$$

$$\Rightarrow l = 2tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 2tg(\beta_{ktp})y_0 - 2(tg^2(\beta_{ktp}) + 1)x \quad (3.14)$$

Từ phương trình (3.13) ta có:

$$2(l - l_0) + \frac{1}{tg(\beta_{ktp})} \left(\frac{x + l/2}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right) = 0 \quad (3.15)$$

Kết hợp biểu thức (3.14) và (3.15) chúng ta nhận được:

$$2(2tg^2(\beta_{ktp})(x_0 - x) + 2tg(\beta_{ktp})y_0 - 2x - l_0) + \frac{1}{tg(\beta_{ktp})} \left(\frac{x + tg^2(\beta_{ktp})(x_0 - x) + tg(\beta_{ktp})y_0 - x}{tg(\beta_{ktp})} - y_0 \right) = 0 \quad (3.16)$$

Từ (3.16) rút ra biểu thức cho tham số x , sau đó thay vào (3.14) ta được tham số l và thay chúng vào (3.8) rút ra biểu thức cho tham số y . Qua một vài biến đổi, phương trình xác định các tham số x, y, l như sau:

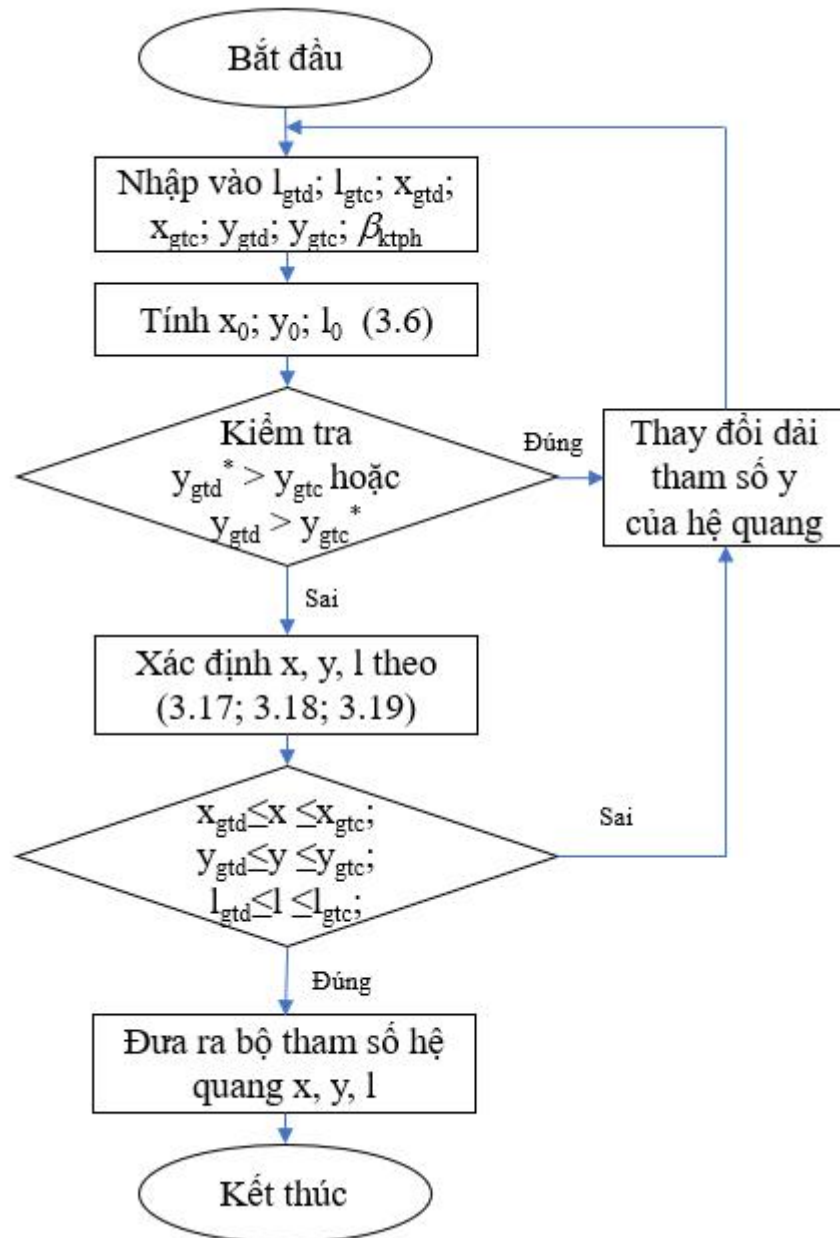
$$x = \frac{4tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 4tg(\beta_{ktp})y_0 - 2l_0 + x_0}{[4tg^2(\beta_{ktp}) + 5]} \quad (3.17)$$

$$l = 2tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 2tg(\beta_{ktp})y_0 - 2(tg^2(\beta_{ktp}) + 1) \frac{4tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 4tg(\beta_{ktp})y_0 - 2l_0 + x_0}{[4tg^2(\beta_{ktp}) + 5]} \quad (3.18)$$

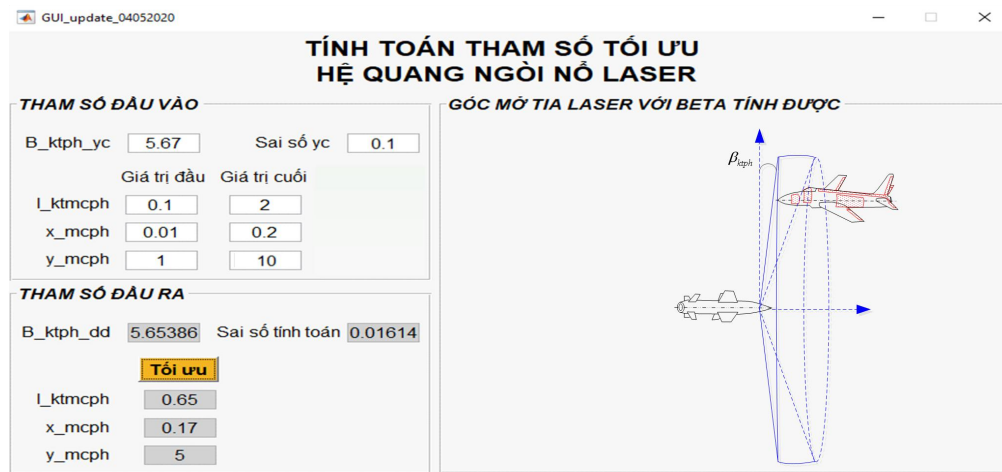
$$y = \frac{4tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 4tg(\beta_{ktp})y_0 - 2l_0 + x_0}{tg(\beta_{ktp})[4tg^2(\beta_{ktp}) + 5]} + \frac{2tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 2tg(\beta_{ktp})y_0}{2tg(\beta_{ktp})} - 2(tg^2(\beta_{ktp}) + 1) \frac{4tg^2(\beta_{ktp})x_0 + 4tg(\beta_{ktp})y_0 - 2l_0 + x_0}{2tg(\beta_{ktp})[4tg^2(\beta_{ktp}) + 5]} \quad (3.19)$$

Như vậy, ba biểu thức (3.17), (3.18), (3.19) chính là nghiệm của việc giải bài toán tìm giá trị tối ưu của các tham số thỏa mãn phương trình (3.2) và có khoảng cách ngắn nhất đến tâm ba khoảng giới hạn (3.3). Các tham số trên phụ thuộc vào, x_0, y_0, l_0 , tức là phụ thuộc vào giá trị biên của chúng theo (3.2), đồng thời phụ thuộc vào góc β_{ktp} .

Đây có thể coi là bộ tham số tối ưu cho hệ quang của ngòi nổ laser. Tuy nhiên, bộ tham số này phải không thỏa mãn điều kiện loại trừ (3.10), do đó cần quá trình tính và thử nghiệm theo lưu đồ thuật toán trên hình 3.16.

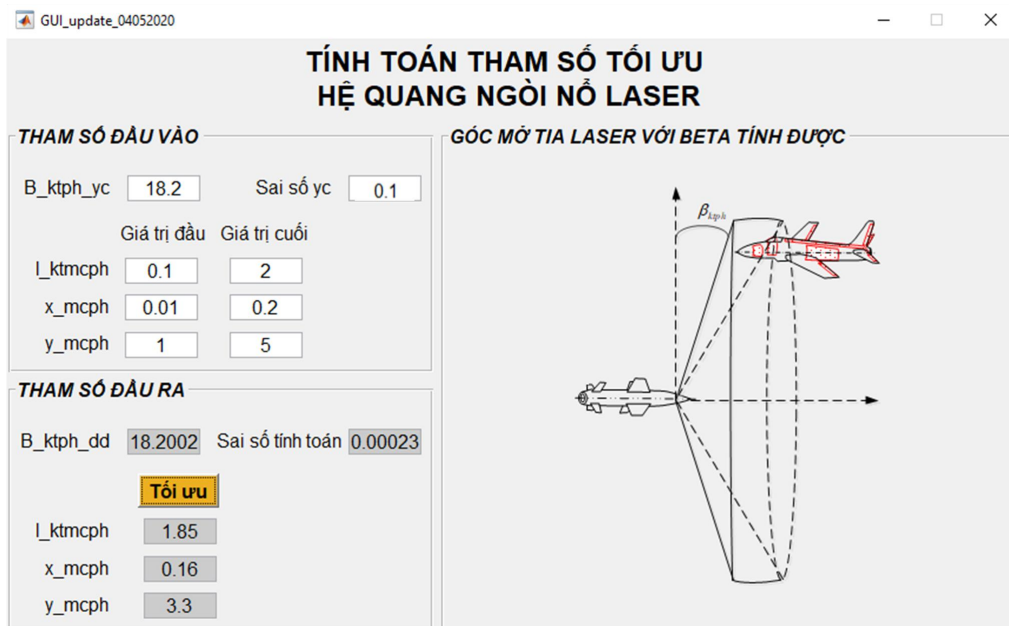


Hình 3. 16. Lưu đồ thuật toán phần mềm tính toán tham số tối ưu cho hệ quang



Hình 3. 17. Tính toán tham số hệ quang ngòi nổ laser TL tầm thấp,

$$\beta_{ktph-yc} = 5.67^0$$



Hình 3. 18. Tính tham số hệ quang ngòi nổ laser TL tầm trung, $\beta_{ktph-yc} = 18.2^0$

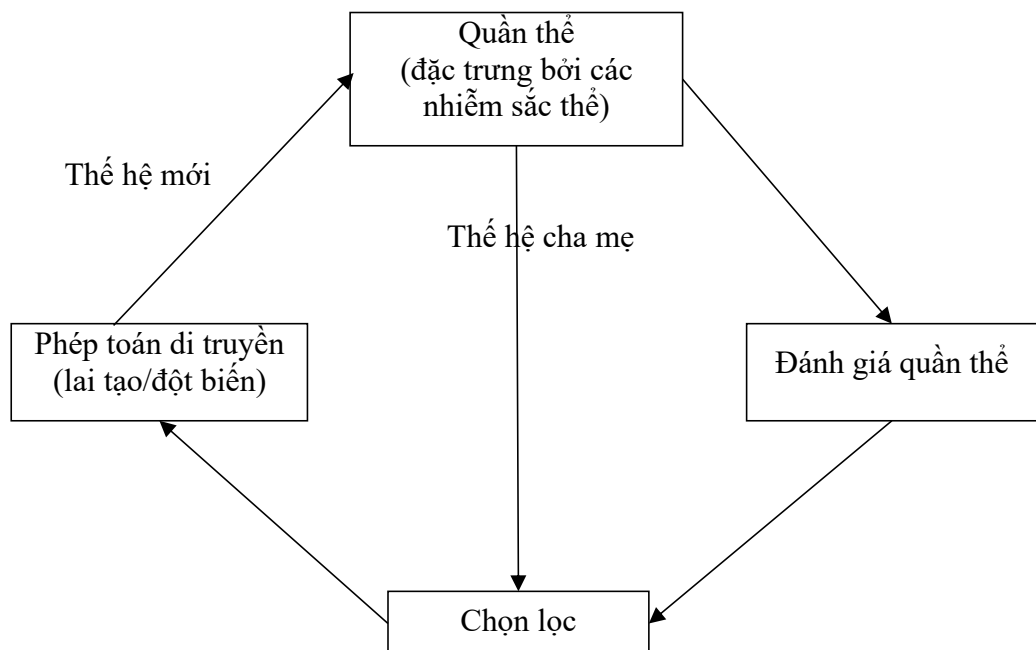
Kết quả tính toán tham số tối ưu hệ quang cho 3 loại tên lửa khác nhau thể hiện trong Bảng 3.12. Qua ba trường hợp cho thấy phần mềm đã tìm ra bộ ba tham số quang x , y , l tối ưu, giúp hệ quang của ngòi nổ laser đạt được góc nghiêng $\beta_{ktph-dd}$ bằng góc nghiêng yêu cầu $\beta_{ktph-yc}$. Trong các trường hợp trên, sai số lớn nhất là 0,28%, sai số này khá nhỏ so với yêu cầu sai số của bài toán gặp.

Bảng 3. 12. Các tham số quang hợp lý cho ngòi nổ laser lắp trên ba loại tên lửa với các góc nghiêng khác nhau.

STT	β_{kph-yc} (độ)	Tham số tối ưu (mm)			β_{kph-dd} (độ)	Sai số
		x	y	l		
1	5.67 ⁰	0.17	5	0.65	5.65386	0.01614
2	18.2 ⁰	0.16	3.3	1.85	18.2002	0.00023
3	8.34 ⁰	0.13	4.23	0.98	8.3425	0.0025

3.2.2. Phương án ứng dụng thuật toán di truyền:

Giải thuật di truyền là phương pháp tự tìm kiếm dựa trên lý thuyết tiến hóa của Darwin. Khi đó toàn bộ không gian chứa nghiệm của bài toán được coi là quần thể, trong đó mỗi một khả năng nghiệm của bài toán được xem như một cá thể được đặc trưng bởi nhiễm sắc thể. Tương tự như trong tự nhiên, các cá thể trong quần thể trải qua các giai đoạn cần thiết cho sự phát triển và tiến hóa như quá trình chọn lọc, quá trình lai ghép, quá trình đột biến. Trong suốt các quá trình đó, chỉ những cá thể có khả năng thích nghi tốt nhất sẽ được nhân lên và gen của các cá thể được sẽ được truyền cho các thế hệ sau. Ngược lại, những cá thể không có khả năng thích nghi sẽ bị đào thải, loại bỏ.



Hình 3. 19. Quá trình lập của quần thể tự nhiên

Trong Hình 3.19:

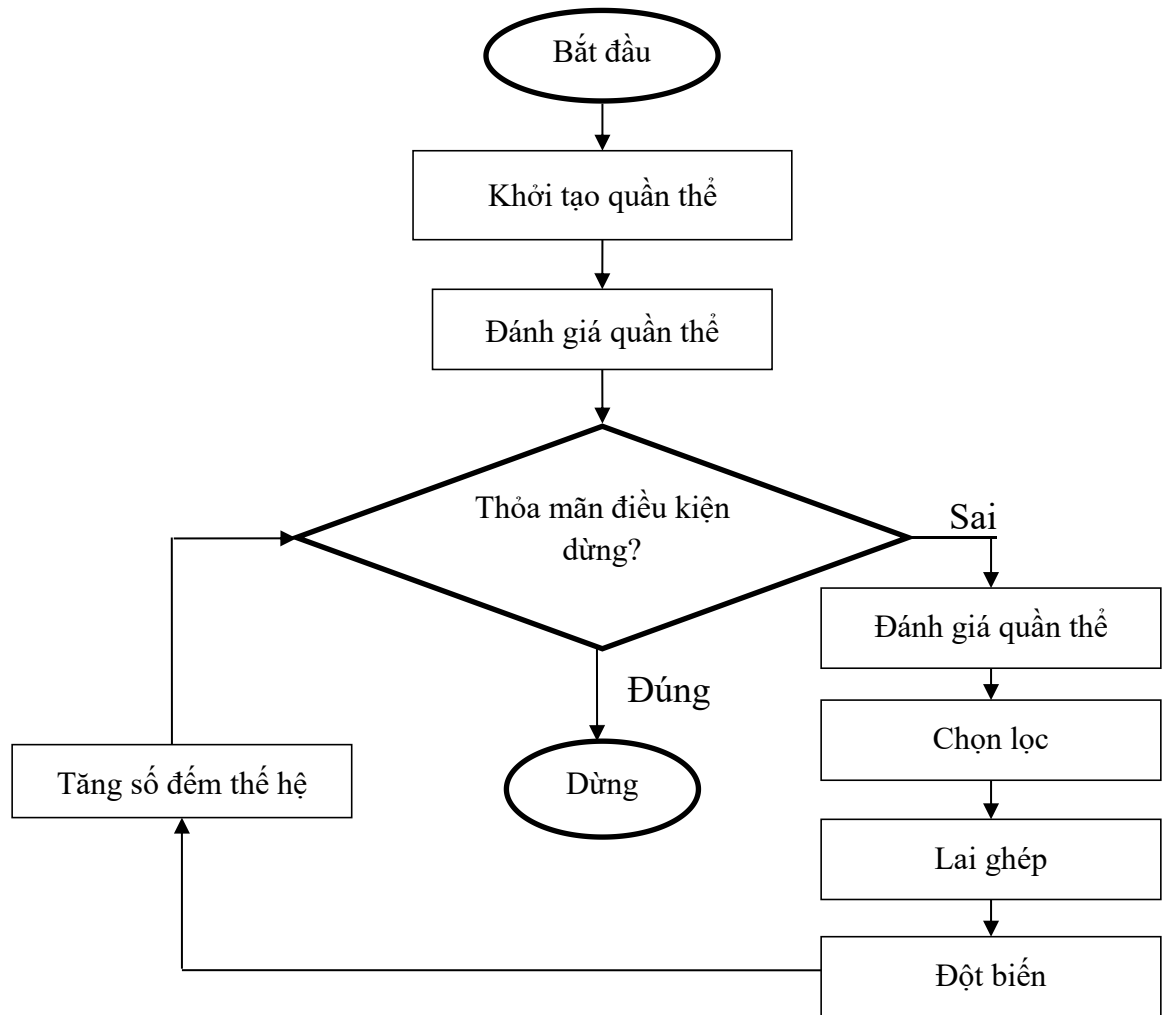
- Chọn lọc: Là bước đầu tiên để chọn ra các cá thể cho các quá trình tiếp theo của sự tiến hóa. Việc chọn lọc được thực hiện theo xác suất tỷ lệ thuận với độ thích nghi, tức là các cá thể nào có sự thích nghi tốt hơn thì khả năng được chọn cao hơn.

- Phép toán di truyền: Các cá thể được chọn sẽ được lai ghép để tạo ra thế hệ con cho quần thể. Tương tự như trong tự nhiên, trong quá trình lai ghép tạo ra các thế hệ con có thể xảy ra những đột biến, những đột biến này tạo ra nguồn gen mới, làm tăng tính đa dạng của quần thể.

- Các thế hệ con được đưa vào quần thể để thay thế thế hệ trước đó và trở thành thế hệ cha mẹ mới.

- Tương tự với thế hệ trước đó, khả năng thích nghi, tồn tại các thế hệ cha mẹ mới này sẽ được đánh giá bởi tự nhiên theo một tiêu chí nào đó để từ đó chọn ra được những cá thể tốt nhất cho các quá trình lai ghép/đột biến tiếp theo. Vòng lặp được tiếp tục.

Khi giải các bài toán tối ưu, GA có thể được thực hiện theo lưu đồ thuật toán sau [38]:



Hình 3. 20. Lưu đồ thực hiện thuật toán GA

- **Khởi tạo quần thể:** Các cá thể trong quần thể sẽ được khởi tạo ngẫu nhiên. Tuy nhiên, để áp dụng được GA vào bài toán cụ thể thì các biến cần tìm của bài toán tối ưu đó phải được biểu diễn dưới dạng 1 chuỗi nhiễm sắc thể. Quá trình đó được gọi là quá trình mã hóa.

Với bài toán đang xét, các tham số $l_{kt\ mc\ ph}$, $x_{mc\ ph}$, $y_{mc\ ph}$ nhận các giá trị là số thực và liên tục trên dải giá trị cho phép, để đơn giản ta chọn phương pháp mã hóa số thực để biểu diễn 3 tham số này. Khi đó mỗi cá thể trong quần thể được đặc trưng bởi một nhiễm sắc thể có chứa 3 gen như sau:

$l_{kt\ mc\ ph}$	$x_{mc\ ph}$	$y_{mc\ ph}$
------------------	--------------	--------------

Một tham số quan trọng trong bước khởi tạo quần thể đó là số lượng cá thể của quần thể, N . Nếu số lượng cá thể quá nhỏ sẽ dẫn tới thiếu sự đa dạng của nguồn gen cho quần thể. Điều này có thể khiến GA hội tụ về các nghiệm tối ưu

cục bộ. Nhưng nếu số lượng các thể quá lớn sẽ dẫn tới khối lượng tính toán tăng lên rất nhiều, làm giảm tính hiệu quả của GA. Sau khi thực hiện các phép thử, luận án chọn số lượng cá thể N cho quần thể là 50.

- **Đánh giá quần thể:** Bởi vì ban đầu quần thể được khởi tạo ngẫu nhiên nên không thể loại trừ khả năng quần thể ban đầu đó chính là quần thể tối ưu mặc dù xác suất xảy ra là rất nhỏ. Do đó phải đánh giá quần thể ban đầu đó, hay nói cách khác là đánh giá bộ tham số của bài toán với giá trị được khởi tạo ngẫu nhiên thông qua hàm thích nghi (hàm mục tiêu). Đối với bài toán đang xét, mục tiêu là đi xác định giá trị của ba tham số $l_{kt\ mc\ ph}$, $x_{mc\ ph}$, $y_{mc\ ph}$, sao cho góc nghiêng $\beta_{kt\ ph}$ tiệm cận gần nhất tới góc nghiêng tối ưu yêu cầu $\beta_{kt\ ph\ yc}$. Hay nói cách khác là cực tiểu đại lượng: $\Delta = |\beta_{kt\ ph} - \beta_{kt\ ph\ yc}|$ (3.20)

Tuy nhiên để phù hợp với yêu cầu về hàm thích nghi của GA, luận án xác định hàm thích nghi như sau:

$$f_{fitness} = \frac{1}{|\beta_{ktphyc} - \beta_{ktph}|} = \frac{1}{\left| \beta_{ktphyc} - \arctan \frac{\left(x_{mcph} - \frac{l_{ktmcph}}{2} \right)}{y_{mcph}} \right|} \quad (3.21)$$

- **Điều kiện dừng:** Là tiêu chí phụ thuộc vào từng bài toán cụ thể, nó quyết định dừng hay tiếp GA. Thông thường điều kiện dừng được đặt dựa trên độ chính xác của nghiệm hoặc số thế hệ của quần thể. Đối với bài toán đang xét, GA sẽ dừng khi quần thể trải qua 100 thế hệ hoặc sau 30 thế hệ mà hàm thích nghi thay đổi không quá giá trị $\varepsilon = 10^{-6}$. Nếu điều kiện dừng không xảy ra, GA sẽ đánh giá lại quần thể thông qua hàm thích nghi $f_{fitness}$.

- **Chọn lọc:** Chọn lọc là quy tắc cơ bản nhất của tự nhiên, tức là trong quần thể, cá thể nào có khả năng thích nghi tốt nhất sẽ được chọn cho các quá trình tái tổ hợp gen tiếp theo. Trong GA, khả năng thích nghi được biểu diễn thông qua hàm thích nghi, cá thể nào có hàm thích nghi cao hơn thì xác suất được chọn cho quá trình tái tổ hợp gen cao hơn. Chọn lọc có thể được thực hiện theo các phương pháp ngẫu nhiên, phương pháp tất định, hoặc phối hợp cả hai phương

pháp. Tiêu biểu cho phương pháp chọn lọc ngẫu nhiên là phương pháp bánh xe roulette. Trong đó mỗi cá thể của quần thể sẽ chiếm một phần của bánh xe roulette tương ứng với giá trị thích nghi của cá thể đó. Sau đó bánh xe roulette sẽ được quay và khi nó dừng lại và kim chỉ vào phần bánh xe của cá thể nào thì cá thể đó được chọn cho quá trình tái tổ hợp gen. Theo phương pháp này, xác suất được chọn P_i của cá thể i trong quần thể có N cá thể được xác định như sau [39]:

$$P_i = \frac{f_{fitness}(x_i)}{\sum_{i=1}^N f_{fitness}(x_i)}, i = 1, 2, \dots, N \quad (3.22)$$

Nhược điểm của phương pháp chọn lọc bánh xe roulette là GA có thể sẽ hội tụ sớm về nghiệm cục bộ. Chọn lọc sắp hạng tuyến tính là phương pháp kết hợp giữa phương pháp ngẫu nhiên và tất định cho phép khắc phục được nhược điểm trên của chọn lọc bánh xe roulette bởi vì nó cho phép duy trì áp lực chọn lọc không đổi lên quần thể. Trong chọn lọc tuyến tính, cá thể có độ thích nghi cao nhất được gán thứ hạng cao nhất là N . Ngược lại, cá thể có độ thích nghi thấp nhất sẽ được gán thứ hạng bằng 1. Khi đó xác suất được chọn P_i của cá thể i được gán tuyến tính theo hạng tương ứng như sau [39]:

$$P_i = \frac{1}{N} \left[\beta - 2(\beta - 1) \frac{i-1}{N-1} \right], i = 1, 2, \dots, N \quad (3.23)$$

Trong đó tham số β được chọn trong đoạn $[0, 2]$.

Bởi vì những ưu điểm của chọn lọc sắp hạng tuyến tính, luận án áp dụng phương pháp này cho quá trình chọn lọc của GA gắn với bài toán đang xét.

- **Lai ghép:** Là quá trình tái tổ hợp/trao đổi gen giữa hai cá thể cha mẹ trong quần thể để tạo ra tổ hợp gen mới cho các cá thể con. Đối với GA, lai ghép đóng vai trò tìm kiếm tổ hợp nghiệm có thể có trong không gian nghiệm từ những nghiệm đã biết. Phương pháp được sử dụng để thực hiện quá trình lai ghép phụ thuộc vào phương pháp mã hóa nhiễm sắc thể [39]. Đối với mã hóa nhị phân hoặc thập phân thì lai ghép một điểm, lai ghép 2 điểm, lai ghép nhiều

điểm, hoặc lai ghép đều là các phương pháp lai ghép phổ biến. Trong trường hợp GA sử dụng mã hóa số thực, mặc dù các phương pháp lai ghép trong trường hợp mã hóa nhị nhưng các phương pháp này không phát huy được hết ưu điểm của mã hóa số thực. Do đó đối với mã hóa số thực, phương pháp lai ghép phổ biến thường là lai ghép số học, lai ghép hình học, lai ghép BLX- α , lai ghép BLX- $\alpha - \beta$, lai ghép phỏng đoán Wright, lai ghép BGA tuyến tính, hoặc lai ghép mô phỏng nhị phân. Các phương pháp này được giới thiệu chi tiết trong tài liệu [39]. Luận án chọn phương pháp lai ghép BLX- α là phương pháp lai ghép cho GA gắn với bài toán đang xét. Giả sử $c_1 = (c_1^1, c_2^1, c_3^1)$ và $c_2 = (c_1^2, c_2^2, c_3^2)$ là hai nhiễm sắc thể (đại diện cho 2 cá thể) được chọn cho quá trình lai ghép. Khi đó 2 nhiễm sắc thể con được tạo ra là $H_k = (h_1^k, h_2^k, h_3^k), k = 1, 2$ trong đó h_i^k là một số được chọn ngẫu nhiên theo phân bố chuẩn từ đoạn $[C_{\min} - I\alpha, C_{\max} + I\alpha]$ với :

$c_{\max} = \max(c_i^1, c_i^2); c_{\min} = \min(c_i^1, c_i^2); I = c_{\max} - c_{\min}$ và α là tham số nhận giá trị trên đoạn $[0, 1]$, cụ thể $\alpha = 0.5$.

- **Đột biến:** Khác với phép lai ghép, quá trình đột biến chỉ cần 1 cá thể để tạo ra các thể con cho quần thể. Quá trình đột biến làm tăng sự đa dạng nguồn gen hoặc khôi phục lại các gen đã mất của quần thể. Trong tự nhiên, quá trình đột biến có thể xảy ra bởi gen bị thay thế, xóa bỏ, nhân đôi, đảo ngược, hoặc chèn mới. Trên một chuỗi nhiễm sắc thể, đột biến có thể xảy ra trên 1 gen hoặc có cũng có thể xảy ra trên nhiều gen đồng thời [41]. Trong khuôn khổ bài toán đang xét, luận án chọn quá trình đột biến thay thế xảy ra trên 1 gen. Tức là một gen trên chuỗi nhiễm sắc thể sẽ được chọn ngẫu nhiên và bị thay thế bởi một gen khác. Đối với mã hóa số thực, 2 phương pháp được sử dụng để xác định gen đột biến thay thế cho gen được chọn trên chuỗi nhiễm sắc thể là *đột biến đồng nhất* và *đột biến không đồng nhất*:

+ Đột biến đồng nhất: $c_i = (c_1, c_2, c_3)$ là một chuỗi nhiễm sắc thể của quần thể ứng với bài toán đang xét, khi đó các gen $c_k, k = 1, 2, 3$ có cơ hội như nhau trong quá trình đột biến. Khi đó gen c_k sẽ bị thay thế bởi gen mới c'_k là một giá trị ngẫu nhiên trên dải biến thiên của tham số tương ứng.

+ Đột biến không đồng nhất: cho phép tùy chỉnh quá trình đột biến. Gọi $c_i^g = (c_1, c_2, c_3)$ là nhiễm sắc thể của quần thể ở thế hệ thứ g . Nếu gen $c_k, k = 1, 2, 3$ được chọn để thực hiện đột biến thì gen ứng với vị trí đó trên nhiễm sắc thể nhận được sau quá trình đột biến không đồng nhất là:

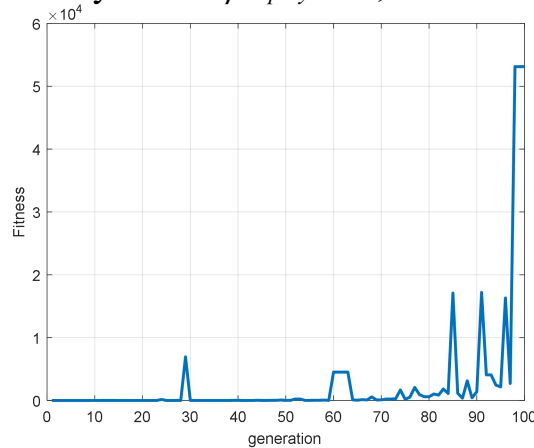
$$c'_k = \begin{cases} c_k + \Delta(g, c_{k \max} - c_k) & \text{nếu hàm sinh giá trị ngẫu nhiên bằng 0} \\ c_k - \Delta(g, c_k - c_{k \min}) & \text{nếu hàm sinh giá trị ngẫu nhiên bằng 1} \end{cases}$$

với $\Delta(g, c) = c \left[1 - r \left(1 - \frac{g}{G} \right)^b \right]$, trong đó G là số thế hệ tối đa, b là tham số hệ thống

xác định mức độ không đồng nhất của quá trình đột biến.

- **Tăng số đếm thế hệ:** Sau khi quần thể trải qua các phép toán di truyền (chọn lọc, lai ghép, đột biến), quần thể sẽ được thay thế bởi quần thể mới. Tương tự, quần thể mới sẽ được đánh giá độ thích nghi thông qua hàm thích nghi và vòng lặp của GA tiếp tục khi điều kiện dừng của thuật toán thỏa mãn.

- Với góc nghiêng tối ưu yêu cầu: $\beta_{ktphyc} = 5,67^0$.



Hình 3. 21. Đồ thị hàm thích nghi của cá thể tốt nhất trong quần thể qua các thế hệ

Cá thể tốt nhất sau khi dừng GA được cho như sau:

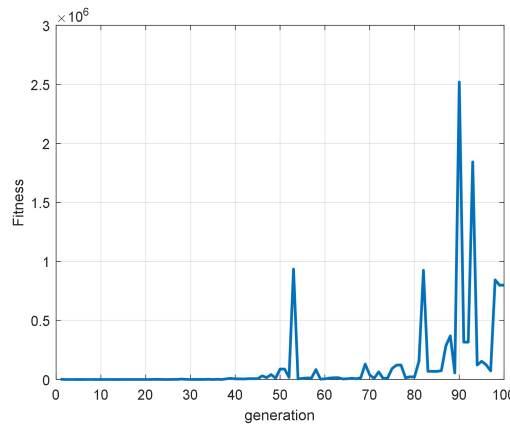
$$l_{kt\ mc\ ph} = 0,575158514093658;$$

$$x_{mc\ ph} = 0,094492108813316;$$

$$y_{mc\ ph} = 3,848253011640023.$$

Ứng với bộ nghiệm đó, giá trị góc nghiêng nhận được: $\beta_{kt\ ph} \approx 5,6699935$.
Như vậy GA xác định bộ tham số cần tìm với sai số giữa góc nghiêng tính toán so với góc nghiêng yêu cầu là $6.5E-6$.

- Với góc nghiêng tối ưu yêu cầu: $\beta_{kt\ ph\ yc} = 18,2^0$.



Hình 3. 22. Đồ thị hàm thích nghi của cá thể tốt nhất trong quần thể qua các thế hệ

Cá thể tốt nhất sau khi dừng GA được cho như sau:

$$l_{kt\ mc\ ph} = 1,379027895931647;$$

$$x_{mc\ ph} = 0,064654560677289;$$

$$y_{mc\ ph} = 2,293793596267997.$$

Ứng với bộ nghiệm đó, giá trị góc nghiêng nhận được: $\beta_{kt\ ph} \approx 18,20017$.
Như vậy GA xác định bộ tham số cần tìm với sai số giữa góc nghiêng tính toán so với góc nghiêng yêu cầu là $1.7E-4$.

Cả hai phương pháp nêu trên đều tìm được góc nghiêng tối ưu có sai số rất nhỏ. Tùy thuộc vào ứng dụng và từng trường hợp cụ thể ta có thể chọn 1 trong 2 phương pháp để triển khai. Phương pháp GA có một số ưu điểm nổi bật là:

- Có thể tìm được điểm hội tụ (cực trị) nhanh và loại bỏ được các điểm cực trị cục bộ không mong muốn.

- Đây là phương pháp có tính linh hoạt cao. Có thể dễ dàng thêm vào/thay đổi các điều kiện tối ưu có ràng buộc giữa các biến đầu vào nếu có.

- Với bài toán có tập dữ liệu tìm kiếm lớn thì GA rất phù hợp do có thể giảm được số bước tìm kiếm rất nhiều dựa vào cơ chế tiến hóa.

Trong khi đó phương pháp bình phương cực tiểu là phương pháp giải tích để tìm ra công thức tính toán các biến đầu vào để có được giá trị tối ưu. Một số đặc điểm của phương pháp này là:

- Dễ dàng triển khai, các biến đầu vào đã được công thức hóa.

- Độ linh hoạt không cao, mỗi khi có thay đổi số biến đầu vào hoặc có điều kiện ràng buộc chéo giữa các biến thì cần thực hiện lại các phân tích giải tích để xác định được công thức tính toán các biến theo điều kiện tối ưu.

3.3. Kết luận chương 3

Nội dung của luận án ở trong chương này đã tiến hành khảo sát đánh giá ảnh hưởng của các tham số quang hình đến chất lượng làm việc của vùng quan sát, ảnh hưởng tới vùng mù cũng như giới hạn xa của vùng quan sát. Từ những khảo sát và phân tích này đã tiến hành xây dựng và đưa ra được hai phương pháp tính toán tham số tối ưu cho hệ quang, xây dựng thuật toán và phần mềm giúp quá trình tính các tham số nhanh và chính xác. Các kết quả khảo sát khoa học được phân tích tỉ mỉ trên các thông số cụ thể là tư liệu quý báu cho quá trình đề xuất các phương án cải tiến, thiết kế đối với ngòi nổ laser.

Chương 4

NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CHO NGÒI NỔ LASER TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT MÃ HÓA XUNG THĂM DÒ

Tên lửa phòng không làm việc trong điều kiện rất phức tạp, nhiều dạng nhiễu tác động đến tuyến thu, phát trên ngòi nổ như: méo sóng do hiệu ứng Doppler, khói bụi đường truyền, ánh sáng mặt trời, các nguồn sáng phi tự nhiên, tán xạ do các bề mặt của đối tượng đã được xử lý, các dạng phá sóng chủ động và thụ động của đối phương đang bị tên lửa bám theo,... Chính vì vậy việc trang bị thêm kỹ thuật mã hóa cho chùm tia laser phát, nhằm hỗ trợ bộ phận thu laser tách được chùm tia có ích ra khỏi một số chùm tia của các nguồn nhiễu quang học khác có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc nâng cao chất lượng của ngòi nổ. Bên cạnh đó, ngày nay với hệ thống máy tính siêu nhỏ có cấu hình cao, hoàn toàn có thể đưa lên ngòi nổ để thực hiện những kỹ thuật mã hóa phức tạp. Trong chương này, luận án đề xuất một giải pháp sử dụng kỹ thuật mã hóa xung phát, cho phép nâng cao khả năng chống nhiễu đường truyền của ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không.

4.1. Ảnh hưởng của nhiễu đến hoạt động của ngòi nổ laser

Như ta đã biết, tín hiệu phản xạ về thiết bị thu, ngoài tín hiệu từ mục tiêu, ngòi nổ laser còn chịu ảnh hưởng của tác động từ nhiễu như: đám mây, mưa, mặt đất, rừng, mặt biển,... và các tín hiệu tạo ra từ chế áp trực tiếp của đối phương, nhiễu tạp nội bộ trong hệ thống thiết bị thu.

Ta có thể phân chia các loại nhiễu thành 2 loại: nhiễu chủ động (tích cực) và nhiễu thụ động (tiêu cực). Trong đó:

- Nhiễu thụ động là những loại nhiễu do môi trường và bản thân nội bộ thiết bị gây ra. Các loại nhiễu do môi trường bao gồm: mây, mưa, ảnh hưởng của mặt đất, mặt trời, rừng, mặt biển... gây ra. Các loại nhiễu này về cơ bản sẽ được xử lý bằng các giải pháp chọn lọc theo không gian, thời gian trong tuyến thu.

Trong các loại nhiễu này, nhiễu do hiệu ứng phát xạ từ mặt trời ảnh hưởng đáng kể đối với ngòi nổ laser trong suốt quá trình tiếp cận mục tiêu.

Để giảm thiểu hiệu ứng phát xạ mặt trời trực tiếp vào máy thu laser, trong ngòi tên lửa phòng không có thể thực hiện một số giải pháp sau:

(a) Trường nhìn (FOV) của thiết bị thu phải nhỏ nhất có thể trên mặt phẳng chứa trục đầu đạn.

(b) Dải thông của bộ lọc quang học phải được giảm hơn nữa bằng cách ổn định nhiệt độ của điốt laser.

(c) Để bù độ nhạy đã bị giảm của bộ thu PIN, thì công suất bộ phát phải tăng đáng kể bằng cách dùng vi mạch Laser công suất cao.

Các loại nhiễu do bản thân nội bộ thiết bị gây ra có thể bao gồm: nhiễu tạp âm trong máy thu quang (bao gồm nhiễu do các diode quang và các bộ khuếch đại công suất) gây ra. Nhiễu tạp âm máy thu có thể gây méo tín hiệu mục tiêu, ảnh hưởng đến độ chính xác xác định tham số mục tiêu.

- Nhiễu chủ động là nhiễu do địch chủ động gây ra. Nhiễu này với mục đích chế áp, tạo mục tiêu giả để đánh lừa, gây sai số các phép đo tham số mục tiêu. Nhiễu này làm cho ngòi không nhận biết được mục tiêu trong tín hiệu thu. Gây ra nổ sớm ngoài vùng gây hại của đầu đạn. Đối với ngòi mặt đất, nhiễu chủ động làm cho đầu đạn nổ sớm vì nếu ngăn cản được chức năng gây nổ cận đích thì ngòi vẫn sẽ nổ khi va chạm với mặt đất. Trong trường hợp không thể gây nổ sớm, phải làm cho ngòi không hoạt động. Đối với ngòi đạn phòng không, việc gây nhiễu tập trung vào việc ngăn gây nổ cận đích, không tập trung vào việc gây nổ sớm vì nếu chức năng gây nổ cận đích không được thực hiện, đầu đạn sẽ chỉ bay sượt qua, khả năng trúng vào mục tiêu là rất nhỏ.

Để chống lại các loại nhiễu này, một số giải pháp có thể đưa ra đối với thiết bị ngòi nổ laser như sau:

(a) Thay đổi cấu trúc, mã hóa tín hiệu phát xung thăm dò;

(b) Thay đổi chu kỳ lặp lại của tín hiệu phát xung thăm dò;

(c) Sử dụng một số giải pháp lọc tín hiệu nhiễu trong máy thu laser.

4.2. Các phương pháp chống nhiễu cho ngòi nổ laser

Trên cơ sở phân tích ở trên, một số giải pháp chống nhiễu đối với ngòi nổ laser có thể như sau:

- Đặt ngưỡng biên độ cho tín hiệu kích nổ. Nếu tín hiệu kích nổ do CBLS tạo ra thấp hơn mức ngưỡng này thì cơ cấu bảo hiểm - kích nổ sẽ không kích nổ ngòi nổ. Khi đó, ta sẽ loại trừ được xung điện tự kích hoạt khi cấp nguồn cũng như những nhiễu do nguồn bức xạ tự nhiên yếu (phông nền,...) tạo ra.

- Đặt kính lọc ở đầu vào của bộ phận thu laser tương đồng với bước sóng chùm tia laser phát của bộ phận phát laser. Khi đó ta sẽ chặn được các phổ nhiễu quang học không có bước sóng tương ứng chiếu vào bộ phận thu laser.

- Chọn hệ quang với bộ phận phát và bộ phận thu laser có trường nhìn theo mặt phẳng kinh tuyến rất hẹp. Điều này cũng giúp giảm xác suất các nguồn nhiễu quang học chiếu vào bộ phận thu laser.

- Đồng bộ thời gian làm việc của bộ phận thu laser và của bộ phận xử lý tín hiệu theo bộ phận phát laser. Chỉ khi nào bộ phận phát laser làm việc thì bộ phận thu laser và bộ phận xử lý tín hiệu mới canh trục để sẵn sàng nhận và xử lý tín hiệu. Qua đó, ta cũng giảm được xác suất các nguồn nhiễu quang học chiếu vào bộ phận thu laser tạo ra tín hiệu kích nổ không mong muốn.

- Chọn đặc tuyến biên độ - tần số của khâu khuếch đại tín hiệu sao cho hệ số khuếch đại rất nhỏ với các tín hiệu có tần số thấp. Với giải pháp này giúp ta giảm được tác động của những nguồn nhiễu có thời gian tác động lớn như bức xạ của mặt trời, của luồng phụt động cơ phản lực, của phông nền,...

- Tạo xung cửa ở bộ phận xử lý tín hiệu. Trong khoảng thời gian xác định, bằng độ rộng xung cửa, nếu bộ phận xử lý tín hiệu đếm được số lượng xung đạt yêu cầu ngưỡng biên độ nằm trong giới hạn quy định ($n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$) thì bộ phận này sẽ tạo ra tín hiệu đưa sang cơ cấu bảo hiểm - kích nổ để kích nổ ngòi nổ. Bằng giải pháp này ta sẽ loại được những nguồn bức xạ nhiễu có thời gian

tác động lớn (như bức xạ của mặt trời, của luồng phụt động cơ phản lực, của phong nền,...vì chúng có độ rộng lớn), cũng như loại được các nguồn bức xạ nhiễu có độ rộng nhỏ.

Tuy nhiên, các phương tiện tập kích đường không đã có những tiến bộ vượt bậc về khả năng đối kháng và chống đối kháng, chúng sử dụng các biện pháp gây nhiễu tích cực cho ngòi nổ laser. Chính vì vậy ngòi nổ laser sử dụng các phương pháp mã hóa truyền thống rất có thể dễ dàng bị gây nhiễu, giảm khả năng đánh trúng mục tiêu.

Do vậy, bài toán mã hóa xung thăm dò của ngòi nổ laser cần phải đặt ra. Bộ phận mã hóa tạo tín hiệu mã hóa, sau đó đưa đến tầng khuếch đại và đưa đến tầng điều khiển nguồn phát laser. Bộ phận xử lý sẽ so sánh tín hiệu nhận được với tín hiệu có quy luật mã hóa cho trước, nếu đúng quy luật sẽ tạo ra tín hiệu đưa sang cơ cấu bảo hiểm - kích nổ để kích nổ ngòi nổ.

Nội dung tiếp theo của luận án sẽ tập trung xây dựng thuật toán mã hóa giả ngẫu nhiên theo nguyên tắc mã hóa tín hiệu theo mã Gold nhằm mục đích nâng cao khả năng chống nhiễu tích cực do địch gây ra.

4.3. Nâng cao chất lượng ngòi nổ laser bằng kỹ thuật mã hóa

Bản chất của quá trình mã hóa là quá trình tạo ra các chuỗi giả ngẫu nhiên (chuỗi mã hóa). Chuỗi mã hóa là các chuỗi số được tạo ra theo các hàm xác định (*deterministic function*), sử dụng một giá trị khởi tạo ban đầu (*initial seed*). Khi đã biết được giá trị ban đầu và hàm, ta có thể tái tạo lại được chuỗi đã sinh. Tuy nhiên, nếu không biết được các thông tin này, ta sẽ rất khó dự báo được các giá trị sẽ tiếp tục được sinh ra. Vì vậy đây được gọi là chuỗi mã giả ngẫu nhiên.

Để mã hóa tín hiệu, ta chỉ cần nhân bit cần mã hóa với từng bit của chuỗi PN (số lượng bit tạo thành sẽ bằng chiều dài của chuỗi PN):

$$d_n \rightarrow s_n(1 \dots k) = d_n \cdot PN(1 \dots k)$$

$$\text{Trong đó} \quad d_n = \begin{cases} 1 & \text{khi data bit} = 1 \\ -1 & \text{khi data bit} = 0 \end{cases}$$

Để giải mã tín hiệu:

$$s_n(1...k) \rightarrow \tilde{s}_n(1...k) = s_n(1...k) \cdot PN(1...k) \rightarrow d_n = \text{sign}\left(\sum \tilde{s}_n(1...k)\right)$$

Các bước hoạt động chính của quá trình mã hóa và giải mã được minh họa bởi ví dụ sau:

Giả thiết hệ thống có người sử dụng A với chuỗi giả ngẫu nhiên

$$PN_A = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1]$$

và có người sử dụng B với chuỗi giả ngẫu nhiên

$$PN_B = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1]$$

Khi A gửi đi chuỗi $Data = [0 \ 1 \ 1]$ thì từng bước sẽ được thực hiện như sau:

1. Chuyển mức tín hiệu: $0 \rightarrow -1; 1 \rightarrow 1$

$$Data \rightarrow Data2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$PN_A \rightarrow PN_{A2} = [1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1]$$

2. Nhân từng bit với khóa giả ngẫu nhiên:

$$Data3 = Data2 \odot PN_{A2} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Các bit trong Data3 sẽ được truyền đi. Chú ý rằng số lượng bit đã bị tăng lên 6 lần (bằng độ dài bit của chuỗi giả ngẫu nhiên). Khi bộ thu nhận được sẽ tiến hành giải mã theo các bước sau:

3. Phân đoạn chuỗi nhận được thành các đoạn con có độ dài bằng độ dài của chuỗi giả ngẫu nhiên và nhân từng bit với chuỗi.

$$Data3 \rightarrow Data4 = Data3 \odot PN_{A2} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

4. Giải mã các hàng đã nhận:

$$Data4 \rightarrow Data5 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Trong trường hợp B muốn giải mã bản tin (sử dụng chuỗi giả ngẫu nhiên của B) ta có các kết quả như sau:

$$PN_B = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1] \rightarrow PN_{B2} = [1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1]$$

$$Data3 \rightarrow Data4 = Data3 \odot PN_{B2} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Ta có thể nhận thấy trong ví dụ đơn giản này, chuỗi Data4 không còn biểu thị được bit số liệu ban đầu. Tại các vị trí mã PN_A và mã PN_B khác nhau, giá trị bit bị đảo ngược. Nếu bên gửi sử dụng mã PN_A đủ dài thì xác suất để dò ra được chuỗi PN_B gần giống với PN_A sẽ thấp. Trong thực tế còn sử dụng phương pháp sinh khóa liên tục, có nghĩa là mã PN_A được thay đổi liên tục trong quá trình hoạt động để làm giảm khả năng dò khóa.

Một ưu điểm thứ hai của phương pháp này đó là nếu phát sinh lỗi trên đường truyền, bản tin nhận được $Data3'$ bị sai lệch so với bản tin chuyển đi $Data3$ sẽ dẫn tới bản tin sau khi giải mã $Data4'$ cũng không lý tưởng. Tuy nhiên nếu số lượng phát sinh lỗi đủ thấp thì vẫn có thể dễ dàng khôi phục lại bản tin gốc ban đầu. Ví dụ như bản tin bị lỗi đường truyền khiến cho 2/6 số bit bị đảo (đây là tỷ lệ lỗi lớn so với chất lượng các đường truyền hiện nay) như sau:

$$Data3 = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow Data3' = \begin{bmatrix} -1 & 1 & \mathbf{-1} & -1 & \mathbf{-1} & -1 \\ 1 & -1 & \mathbf{1} & \mathbf{-1} & -1 & 1 \\ \mathbf{-1} & -1 & -1 & 1 & -1 & \mathbf{-1} \end{bmatrix}$$

Khi đó bản tin giải mã được sẽ là:

$$Data4' = Data3' \odot PN_{A2} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & \mathbf{1} & -1 & \mathbf{1} & -1 \\ 1 & 1 & -\mathbf{1} & -\mathbf{1} & 1 & 1 \\ -\mathbf{1} & 1 & 1 & 1 & 1 & -\mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Ta thấy rằng bản tin sau khi giải mã cũng sẽ bị nhảy bit tại các vị trí bị nhiễu. Nếu số lượng nhiễu nhỏ, ta có thể áp dụng lấy ngưỡng đa số để thu được bản tin gốc chính xác từ bản tin giải mã $Data4'$.

$$Data4 \rightarrow Data5 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

4.3.1. Mã hóa và truyền rời rạc từng bit mã.

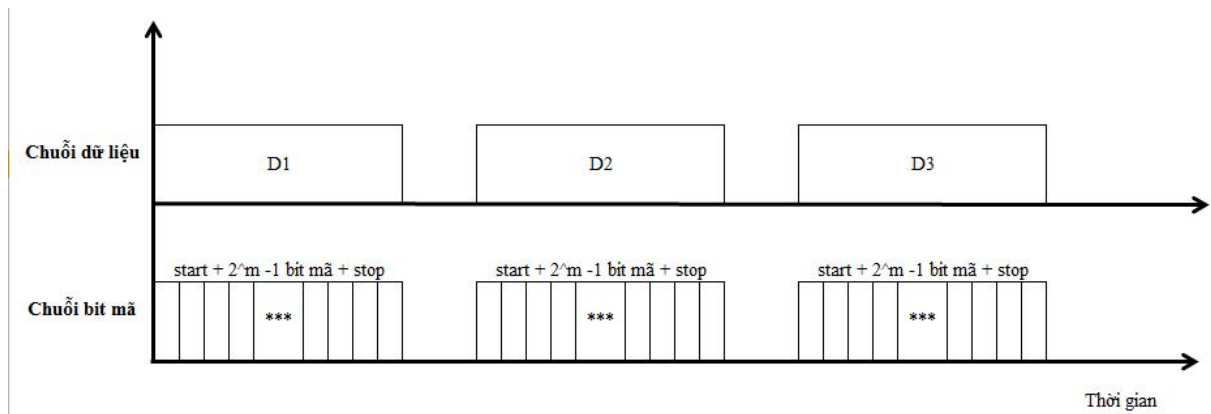
Đối với các thiết bị ngòi nổ laser làm việc với thiết bị phát đơn xung với chu kỳ không đổi, ưu điểm là thiết bị gọn nhẹ dễ triển khai, nhưng nhược điểm là dễ bị phát hiện và dễ bị chế áp bằng việc thu tần số và tạo mục tiêu giả để gây sai số đo cự li mục tiêu. Do đó, để đảm bảo việc chống nhiễu có hiệu quả và hiện thực hóa được trên các lớp tên lửa phòng không sử dụng ngòi nổ laser ta có thể thực hiện quá trình mã hóa xung dò theo một quy luật biết trước để gây khó khăn cho việc giải mã cũng như chế áp do địch gây ra.

Giải pháp mã hóa:

Quá trình mã hóa được thực hiện bởi n bit mã hóa trong một khoảng thời gian xung (số bit mã hóa càng lớn thì khả năng chống nhiễu càng cao). Tuy nhiên, số bit mã hóa mà càng lớn thì khả năng đáp ứng của phần cứng để đảm bảo tính thời gian thực càng giảm.

Mỗi lần xác định cự ly (lấy mẫu cự ly) thiết bị phát đi n bit dữ liệu theo định nghĩa cho mỗi loại tên lửa/ mục tiêu, trong mỗi bit dữ liệu gồm 1 bit start, 1 bit stop và chuỗi bit mã hóa theo mã Gold có độ dài $2^m - 1$ bit. Bit dữ liệu và bit mã có mức logic là 1 sẽ được truyền đi, các bit 0 không được truyền.

- Giải đồ tổng quát như trên hình 4.1 sau:



Hình 4. 1. Gói dữ liệu mã hóa bởi 31 bit mã

Giải pháp tính toán tham số cụ thể:

Cụ thể đến mục tiêu được xác định sau mỗi bit mã truyền và xử lý thành công. Nghĩa là, việc xác định cụ thể đến mục tiêu giống như đối với tín hiệu phát dạng đơn xung. Sau khi phát một bit mã và thu được tín hiệu mục tiêu ta đo thời gian giữ chậm và tính được cụ thể đến mục tiêu. Cứ như vậy, sau mỗi chuỗi bit mã của một bit dữ liệu truyền và xử lý thành công thì cụ thể đến mục tiêu được xác định theo phương pháp trung bình các cụ thể tính được.

Ta lấy một ví dụ cụ thể sau, chuỗi mã phát đi có độ dài là 31 bit, trong đó số bit 1 và bit 0 thay đổi sau mỗi khoảng nhịp tạo mã Gold. Do bộ đếm thời gian xung chỉ đếm được thời gian của xung truyền đi (tức các bit 1) nên tổng số bộ đếm thời gian xung có thể lưu lại luôn luôn nhỏ hơn 31.

Giả sử trong chuỗi 31 bit mã có 20 bit 1 và 11 bit 0 thì tổng số bộ đếm thời gian xung tối đa thu được là 20 bộ. Trong trường hợp có nhiều mà bị mất bit (truyền đi nhưng không thu được) thì số bộ đếm thời gian xung sẽ chỉ bằng số bit phát - thu thành công.

- Trường hợp tổng quát, gọi thời gian xung truyền thành công của mỗi bit trong chuỗi mã 31 bit lần lượt là $\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_{31}$

- Khoảng cách đến mục tiêu có thể tính được từ chuỗi thời gian xung trên lần lượt là: $D_1, D_2, \dots, D_{31}$. Trong đó:

$$D_i = \Delta T_i \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2} (m) \quad (4.1)$$

- Cụ ly đến mục tiêu sau khi truyền xong chuỗi bit mã được tính theo phương pháp lấy trung bình các mẫu đo được. Cụ ly đến mục tiêu được xác định như sau:

$$\Delta D = \Sigma D_{i*} / \text{Tổng số cụ ly tính được} \quad (4.2)$$

trong đó:

D_{i*} là các cụ ly có thể tính được

Tổng số cụ ly tính được: là số cụ ly hay số bit 1 truyền thành công.

Ví dụ: trong chuỗi bit mã chỉ có 3 bit 1 truyền thành công là D_1 , D_{10} , D_{20} thì cụ ly đến mục tiêu tính được là:

$$\Delta D = \frac{D_1 + D_{10} + D_{20}}{3} \quad (4.3)$$

Chuỗi dữ liệu ở đây được mã hóa trong 3 khoảng nhịp D0, D1, D2. Tùy thuộc vào tính chất của mục tiêu (cụ ly làm việc của ngòi nổ, diện tích phản xạ hiệu dụng của mục tiêu...), quá trình mã hóa trong các khoảng nhịp này sẽ thay đổi (số lượng bit 1 sẽ thay đổi). Trước khi bắn ta sẽ thiết lập cụ thể số bit mã trong các khoảng nhịp.

Như vậy để cấu hình khung truyền mã hóa xung dò ta cần phải có các tính toán liên quan đến độ rộng của xung mã hóa, chu kỳ xung mã hóa và số lượng lượng bit mã hóa trong một khoảng nhịp.

Độ rộng của xung mã hóa.

Độ rộng của xung mã hóa là tham số ảnh hưởng đến khả năng phân biệt theo cự ly, khả năng đo được cự ly nhỏ nhất có thể. Do đó, độ rộng của xung mã hóa được tính theo biểu thức sau:

$$\tau_x = \frac{2D_{\min}}{c} \quad (4.4)$$

Đối với ngòi nổ laser, với khả năng công nghệ hiện nay cho phép tạo được các xung dò có độ rộng cỡ ns. Do đó, với ngòi nổ laser bắn các loại tên lửa phòng không với cự ly phát hiện cực tiểu 1m thì độ rộng xung dò $\tau_x = 6,7\text{ns}$.

Chu kỳ của xung mã hóa.

Chu kỳ của xung mã hóa liên quan đến cự li phát hiện của ngòi nổ laser. Trong đó, cự li phát hiện của ngòi nổ phụ thuộc vào nhiều tham số, một trong những tham số quan trọng là công suất phát của ngòi nổ laser.

Để đưa ra được tham số chu kỳ của xung mã hóa, trước hết ta có một số đánh giá, khảo sát cự li quan sát hiệu quả của ngòi nổ laser với sự thay đổi của năng lượng của xung dò máy phát và ảnh hưởng của tuyến thu laser.

Đối với các máy đo xa laser thông thường dùng trong pháo binh, phòng không không quân hay hải quân,... cự ly cần đo thường từ vài trăm mét đến hàng chục km, do đó người ta thường sử dụng các laser rắn phát đơn xung với năng lượng xung lên đến hàng chục mJ hoặc sử dụng laser bán dẫn (laser diode) nhưng phát chuỗi xung lên đến hàng nghìn, thậm chí hàng chục nghìn xung để đo khoảng cách theo phương pháp cộng dồn tín hiệu. Tuy nhiên, đối với ngòi không tiếp xúc sử dụng laser, khoảng cách cần đo thường từ vài mét cho đến vài chục mét nên hoàn toàn có thể sử dụng laser bán dẫn để làm nguồn phát. Bên cạnh đó, laser bán dẫn chuyên dụng được đóng gói nhỏ gọn, chịu được xung lực rất lớn, phù hợp với ứng dụng quân sự.

Để tạo các xung laser ngắn cỡ nano, thậm chí đến pico giây, sử dụng các mạch driver chuyên dụng cho các laser bán dẫn.

Một số laser chuyên dụng quân sự dùng cho máy đo xa laser cũng như ngòi không tiếp xúc của hãng Exelitas Technologies (www.exelitas.com) được biểu diễn trong bảng 4.1:

Bảng 4. 1. Thông số một số máy đo xa laser

Thông số		PVGR4S12H	QPGA S3S09H	QPGA S2S09H
Công suất trung bình cực đại	W	100	300	200
Độ rộng xung laser	ns	150	100	100
Tần lặp phát xung	kHz	1	1	1

Thông số		PVGR4S12H	QPGA S3S09H	QPGA S2S09H
Bước sóng laser	nm	1550	905	905
Kích thước vùng phát xạ laser	μm	300 x 350	225 x 400	225 x 200
Góc mở chùm tia trong mặt phẳng kính tuyến	Độ	19	10	10
Góc mở chùm tia trong mặt phẳng xích đạo	Độ	38	25	25

Công suất trung bình của các laser bán dẫn dùng trong đo xa laser có thể dao động từ vài W cho đến vài trăm W, đây là miền phổ rất rộng để người sử dụng có thể lựa chọn nguồn phát đáp ứng yêu cầu.

Góc mở của chùm tia laser bán dẫn phụ thuộc vào diện tích vùng phát xạ. Theo bảng trên có thể thấy, góc mở của chùm tia laser bán dẫn theo chiều rộng lên đến 38° và theo chiều dài đến 19° . Góc mở của chùm tia laser còn có thể mở rộng hay thu hẹp bằng cách sử dụng hệ quang kết hợp với khe hở. Giả sử rằng sau khi đi qua hệ quang phát, chùm tia laser có góc mở trong mặt phẳng xích đạo là $\psi_{xd} = 90^\circ$ và góc mở trong mặt phẳng kính tuyến là $\psi_{kt} = 10^\circ$.

Khi chiếu chùm tia laser, tại cự ly R , vết laser có dạng hình ellipse với độ dài trục lớn và trục nhỏ tương ứng là:

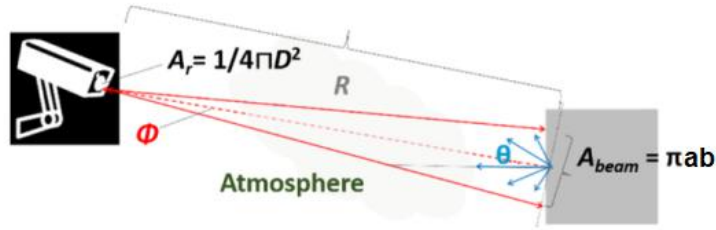
$$2a = 2R \cdot \tan\left(\frac{\psi_{xd}}{2}\right) \quad (4.5)$$

$$2b = 2R \cdot \tan\left(\frac{\psi_{kt}}{2}\right) \quad (4.6)$$

Diện tích vết laser sẽ là $A = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot R^2 \cdot \tan\left(\frac{\psi_{xd}}{2}\right) \cdot \tan\left(\frac{\psi_{kt}}{2}\right)$

Ở đây chúng ta sẽ xét hai trường hợp:

1. Kích thước vết laser nhỏ và nằm trọn trong vùng diện tích bề mặt mục tiêu được chiếu đến. Khi đó, toàn bộ năng lượng laser sẽ được tán xạ tại bề mặt mục tiêu. Trường hợp này có thể xảy ra khi mục tiêu ở rất gần tên lửa có gắn cảm biến laser.



Trong trường hợp này, năng lượng của xung laser tại bề mặt mục tiêu được xác định bởi công thức:

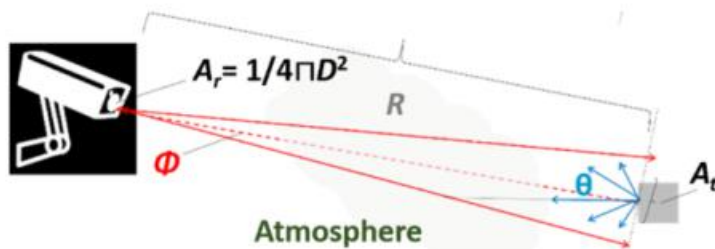
$$E_1 = \tau_{phat} \cdot E \cdot \exp(-\sigma R) \quad (4.7)$$

trong đó $E = P \cdot \tau$ là năng lượng của xung laser phát ra từ nguồn phát với P là công suất trung bình của nguồn laser bán dẫn và τ_x là độ rộng của xung laser; τ_{phat} là hệ số truyền qua của hệ quang phát (thông thường hệ số truyền qua của hệ quang phát lên đến 95%); σ (km^{-1}) là hệ số suy hao của môi trường khí quyển đối với bức xạ laser.

2. Kích thước vết laser bao trùm lên diện tích bề mặt mục tiêu được chiếu đến. Trường hợp này chỉ một phần năng lượng laser tán xạ từ bề mặt mục tiêu.

Năng lượng của xung laser chiếu đến bề mặt mục tiêu trong trường hợp này được xác định bởi biểu thức sau:

$$E_2 = \frac{\tau_{phat}}{\pi ab} E \cdot \exp(-\sigma R) \cdot A_t \cdot \cos(\theta) \quad (4.8)$$



trong đó A_t là phần diện tích mục tiêu tán xạ laser; θ là góc tạo bởi giữa pháp tuyến bề mặt mục tiêu và hướng quang trục của chùm laser.

Coi bề mặt mục tiêu là bề mặt phản xạ khuếch tán với hệ số phản xạ là ρ . Khi đó, toàn bộ năng lượng do xung laser chiếu đến mục tiêu sẽ chỉ phản xạ một phần trở lại. Toàn bộ phần năng lượng phản xạ trở lại bằng:

$$E_{px} = \rho \cdot E_{1,2} \quad (4.9)$$

Ở đây, chỉ số 1,2 tương ứng với hai trường hợp 1 và 2 ở trên.

Tuy nhiên, không phải toàn bộ năng lượng E_{px} quay trở về và đi vào đầu thu. Do bề mặt mục tiêu phản xạ khuếch tán nên bức xạ laser sau khi phản xạ sẽ truyền theo mọi hướng trong góc khối 2π (bán cầu). Và do vậy chỉ có một phần nhỏ năng lượng bức xạ laser nằm trong góc khối của hệ quang thu được đầu thu tiếp nhận. Góc khối đó là:

$$\Omega_{thu} = \frac{A_{thu}}{R^2} = \frac{\pi D^2}{4R^2} \quad (4.10)$$

Với A_{thu} là diện tích của hệ quang thu; D là đường kính của hệ quang thu.

Như vậy, năng lượng xung laser phản xạ về mà đầu thu nhận được sẽ là:

$$E_{thu}(R) = \tau_{thu} \cdot E_{px} \cdot \Omega_{thu} \cdot \cos(\theta) \cdot \exp(-\sigma R) \quad (4.11)$$

Kết hợp các biểu thức (4.6), (4.7) và (4.8) ta có:

$$E_{thu}(R) = \tau_{thu} \cdot \rho \cdot E_{1,2} \cdot \frac{A_{thu}}{R^2} \cdot \cos(\theta) \cdot \exp(-\sigma R) \quad (4.12)$$

Biểu thức (4.9) chính là công thức xác định phần năng lượng của xung laser mà đầu thu nhận được. Năng lượng này cần phải lớn hơn một giá trị ngưỡng nhất định thì đầu thu mới cảm nhận được và sau khi xử lý tín hiệu cho kết quả là khoảng cách từ tên lửa đến mục tiêu.

Giá trị ngưỡng của năng lượng phản xạ về đầu thu được xác định bởi:

$$E_{ngưỡng} = N_f \cdot NEI \cdot E_{ph} \quad (4.13)$$

Trong đó, NEI là số photon mà đầu thu cần nhận được để tạo ra một tín hiệu có tỷ lệ tín/tạp bằng 1 ($SNR = 1$); $E_{ph} = hc/\lambda$ là năng lượng của một photon;

N_f là hệ số để bảo đảm tín hiệu thu là tín hiệu có ích (không phải nhiễu). Thông thường N_f có giá trị trong khoảng từ 6 đến 10.

Như vậy, khoảng cách lớn nhất mà máy đo xa laser đo được một cách tin cậy là khoảng cách mà tại đó, năng lượng bức xạ laser trở về đầu thu bằng với giá trị ngưỡng, hay nói cách khác tỷ số $E_{thu}(R_{max})/E_{ngưỡng} = 1$.

Các thông số của hệ đo xa laser cho trong bảng sau được sử dụng để khảo sát mối quan hệ giữa công suất phát của laser và cự ly quan sát:

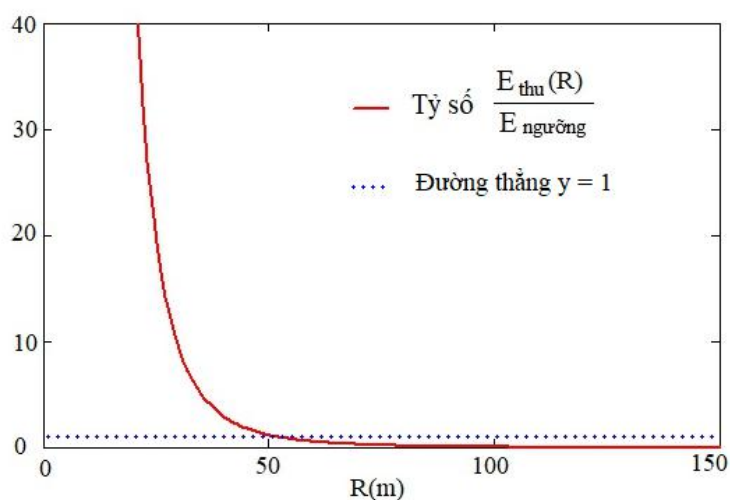
Bảng 4. 2. Ý nghĩa thông số hệ đo xa laser

Thông số	Ý nghĩa	Giá trị
A_t	Kích thước mục tiêu	$1 \times 1 \text{ m}^2$
$\psi_{xđ}$	Góc mở chùm tia laser trong mặt phẳng xích đạo	90°
ψ_{kt}	Góc mở chùm tia laser trong mặt phẳng kinh tuyến	10°
P	Công suất trung bình của nguồn laser	50W
τ	Độ rộng xung laser	6,7 ns
θ	Góc tới của tia laser chiếu đến mục tiêu	30°
ρ	Hệ số phản xạ của bề mặt mục tiêu	30%
τ_{phat}, τ_{thu}	Hệ số cho qua bức xạ laser của hệ thống quang học kênh phát và kênh thu	0,95
σ	Hệ số suy hao của bức xạ khi lan truyền trong khí quyển	0.1 km^{-1}
D	Đường kính thông quang của hệ quang thu	21 mm
N_f	Tỷ lệ tín/tạp	8
NEI	Tín hiệu vào tương đương nhiễu	33 photon
λ	Bước sóng laser	1550 nm

Với góc mở của chùm tia laser trong mặt phẳng xích đạo và mặt phẳng kinh tuyến như trên, kích thước của chùm tia laser tăng lên rất nhanh khi khoảng cách R tăng. Với $R=2\text{m}$, diện tích vết laser đã là 1m^2 , tương đương với diện tích của bề mặt mục tiêu mà ta đang xem xét. Do đó, chúng ta có thể chỉ cần xét trường hợp 2, là trường hợp kích thước vết laser bao trùm lên mục tiêu.

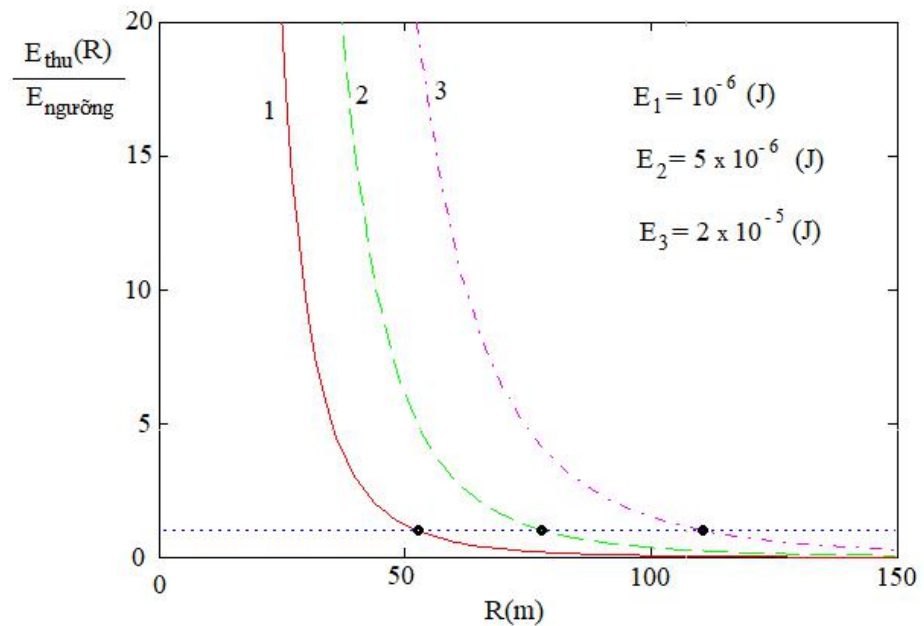
Trên hình 4.2 biểu diễn sự thay đổi của tỷ số $E_{thu}(R)/E_{ngưỡng}$ theo khoảng cách R từ máy đo xa laser đến mục tiêu. Các thông số cần thiết phục vụ tính toán được liệt kê trong bảng 4.2. Dựa vào hình 4.2, có thể dễ dàng nhận thấy rằng với cảm biến không tiếp xúc sử dụng máy đo xa laser với các thông số như trên có cự ly quan sát khoảng 50m.

Để thay đổi cự ly quan sát của cảm biến không tiếp xúc này để phù hợp với các loại tên lửa khác nhau, có thể đơn giản bằng cách thay đổi năng lượng của xung laser thông qua việc thay đổi công suất phát của nguồn laser. Trên hình 4.3 biểu diễn sự thay đổi của cự ly quan sát của cảm biến laser khi thay đổi năng lượng xung laser. Ứng với các giá trị năng lượng của xung laser là $1\mu J$, $5\mu J$ và $20\mu J$, cự ly quan sát của ngòi cảm biến laser tương ứng bằng 53m, 75m và 113m.



Hình 4. 2. Sự phụ thuộc của tỷ số $E_{thu}(R)/E_{ngưỡng}$ vào khoảng cách R từ máy đo xa laser đến mục tiêu.

Các thông số dùng để tính toán được liệt kê trong bảng 4.2.



Hình 4. 3. Cự ly quan sát của cảm biến laser tăng khi năng lượng xung laser tăng

Như vậy, qua khảo sát bài toán năng lượng của cảm biến đo xa laser, chúng ta có thể nhận thấy, với cự ly quan sát của cảm biến không quá lớn, chỉ cần xung laser với năng lượng cỡ một vài μJ cho đến một vài chục μJ . Rất nhiều nguồn laser bán dẫn thương mại có thể đáp ứng được yêu cầu này.

Đối với các ngòi laser được trang bị trên Tên lửa phòng không, năng lượng của xung laser thường ở mức dưới $5\mu J$, do đó cự li quan sát của ngòi nổ cực đại là 100m. Từ đó ta tính được chu kỳ của xung mã hóa $T_1 = 6,7\mu s$.

Giải pháp thay đổi độ dài chuỗi mã

Số lượng bit mã, số lượng bit 1 trong một khoảng nhịp phụ thuộc vào tính chất của mục tiêu, cụ thể là phụ thuộc vào cự li mục tiêu, khả năng xử lý, tính toán của tuyến thu. Nếu số lượng bit mã mà lớn thì thời gian xử lý ở tuyến thu sẽ lớn và khả năng mất mục tiêu sẽ cao. Do đó, nếu mục tiêu ở cự ly xa thì số bit mã hóa sẽ lớn, khi mục tiêu gần với ngòi laser thì số bit mã hóa sẽ giảm dần. Do đó việc thay đổi số bit mã hóa trong khoảng nhịp sẽ phụ thuộc vào cự li từ ngòi nổ đến mục tiêu.

Như đã đề cập ở trên, để đảm bảo tính thời gian thực trong quá trình xác định các tham số mục tiêu mà vẫn đảm bảo tính bảo mật, chống lại chế áp điện tử của đối phương, luận án đề xuất một giải pháp thay đổi liên tục độ dài chuỗi mã ngẫu nhiên như đã trình bày ở mục 4.3 theo công thức sau:

$$d_{ch} = kT(t) \quad (4.14)$$

trong đó: d_{ch} - độ dài chuỗi ngẫu nhiên, k là hằng số:

$$0 < k < 1 \quad (4.15)$$

$T(t)$ là khoảng thời gian bay dự kiến của tên lửa từ thời điểm hiện tại đến khi gặp mục tiêu. Khoảng thời gian này có thể được tính bởi:

$$T(t) = \frac{D_m}{V_D} \quad (4.16)$$

Ở đây D_m là cự ly giữa tên lửa và mục tiêu, tham số này do chính ngòi nổ laser đo được, V_D là tốc độ thay đổi của tham số cự ly. Vì không có thiết bị đo tốc độ thay đổi cự ly, nên cần có thuật toán đánh giá tham số này trên cơ sở xử lý bộ dữ liệu về cự ly do chính ngòi nổ laser đo được.

Giả sử ở thời điểm $t = i.\Delta T$ có dãy số liệu về cự ly giữa tên lửa và mục tiêu: $D_1, D_2, D_3, \dots, D_i$, được đo ở các thời điểm $\Delta T, 2\Delta T, 3\Delta T, \dots, i\Delta T$. Từ dãy số liệu này chúng ta có được đồ thị mô tả mối quan hệ giữa cự ly và thời gian $D(t)$. Ở mỗi thời điểm $t = i.\Delta T$ chúng ta xấp xỉ đồ thị đó bằng đường thẳng:

$$y(t) = a_i + b_i t \quad (4.17)$$

với m số liệu cự ly đo được trước đó: D_{i-j} ($j = 1, 2, \dots, m$); tức là các số liệu $D_{i-1}, D_{i-2}, \dots, D_{i-j}, \dots, D_{i-m}$. Cần tìm hai số a_i, b_i sao cho đường thẳng này gần đường cong $D(t)$ theo nghĩa: Tổng bình phương khoảng cách ở các thời điểm $j = 0, 1, 2, \dots, m$ giữa đường cong $D(t)$ và đường thẳng $y(t)$ là nhỏ nhất, tức là:

$$L = \sum_{j=0}^m [D_{(i-j)} - (a_i + b_i j \Delta T)]^2 \rightarrow \min \quad (4.18)$$

L phụ thuộc vào dãy số liệu cự ly do ngòi nổ laser đo được và hai tham số a, b . Triển khai công thức (4.18) ta có:

$$\begin{aligned} L &= \sum_{j=0}^m [D_{(i-j)} - (a_i + b_i j \Delta T)]^2 \\ &= \sum_{j=0}^m [D_{(i-j)}^2 + a_i^2 + b_i^2 j^2 \Delta T^2 - 2a_i D_{(i-j)} - 2b_i j \Delta T D_{(i-j)} + 2a_i b_i j \Delta T] \end{aligned}$$

hoặc:

$$\begin{aligned} L &= \sum_{j=0}^m [D_{(i-j)}^2 + a_i^2 + b_i^2 j^2 \Delta T^2 - 2a_i D_{(i-j)} - 2b_i j \Delta T D_{(i-j)} + 2a_i b_i j \Delta T] \\ &= \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}^2 + \sum_{j=0}^m a_i^2 + \sum_{j=0}^m b_i^2 j^2 \Delta T^2 - \sum_{j=0}^m 2a_i D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m 2b_i j \Delta T D_{(i-j)} + \sum_{j=0}^m 2a_i b_i j \Delta T \end{aligned}$$

hoặc:

$$L = \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}^2 + a_i^2 (m+1) + b_i^2 \Delta T^2 \sum_{j=0}^m j^2 - 2a_i \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - 2b_i \Delta T \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} + 2a_i b_i \Delta T \sum_{j=0}^m j \quad (4.19)$$

Giá trị L là hàm số phụ thuộc vào tham số a_i và b_i , cần tìm hai tham số này để L đạt giá trị nhỏ nhất, tức là làm cho hàm tuyến tính $y(t)$ gần nhất với đường cong $D(t)$. Để tìm hai tham số này cần giải hai phương trình sau:

$$\frac{\partial L}{\partial a_i} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial b_i} = 0 \quad (4.20)$$

Theo yêu cầu của (4.20) và từ (4.19) có:

$$\frac{\partial L}{\partial a_i} = a_i 2(m+1) - 2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} + b_i 2 \Delta T \sum_{j=0}^m j = 0 \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b_i} = b_i 2 \Delta T^2 \sum_{j=0}^m j^2 - 2 \Delta T \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} + a_i 2 \Delta T \sum_{j=0}^m j = 0 \quad (4.22)$$

Tiến hành giải hệ phương trình tuyến tính (4.21), (4.22) để xác định hai ẩn số a_i và b_i . Từ (4.21) có thể rút ra:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - b_i \Delta T \sum_{j=0}^m j}{(m+1)} \quad (4.23)$$

Từ (4.22) có:

$$b_i = \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - a_i \sum_{j=0}^m j}{\Delta T \sum_{j=0}^m j^2} \quad (4.24)$$

Thay b_i ở vế phải (4.23) bằng vế phải (4.24) nhận được:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - a_i \sum_{j=0}^m j}{\sum_{j=0}^m j^2} \sum_{j=0}^m j}{(m+1)} \quad (4.25)$$

Từ (4.25) ta có:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - a_i \sum_{j=0}^m j}{\sum_{j=0}^m j^2} \sum_{j=0}^m j}{(m+1)} = \frac{\sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} + a_i \sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j}{(m+1) \sum_{j=0}^m j^2}$$

Vậy:

$$a_i (m+1) \sum_{j=0}^m j^2 = \sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} + a_i \sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j \quad (4.26)$$

Thay tổng $\sum_{j=0}^m j$ bằng $\frac{m(m+1)}{2}$ và từ (4.26) nhận được:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)}}{(m+1) \sum_{j=0}^m j^2 - m^2 (m+1)^2 / 4}$$

hoặc:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}}{m^2 (m+1)^2 / 4 - (m+1) \sum_{j=0}^m j^2} \quad (4.27)$$

Thay a_i ở vế phải phương trình (4.24) nhận được:

$$b_i = \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \frac{\sum_{j=0}^m j \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}}{m^2(m+1)^2 / 4 - (m+1) \sum_{j=0}^m j^2} \sum_{j=0}^m j}{\Delta T \sum_{j=0}^m j^2}$$

Thay tổng $\sum_{j=0}^m j$ bằng $\frac{m(m+1)}{2}$ nhận được:

$$b_i = \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \frac{\frac{m(m+1)}{2} \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}}{m^2(m+1)^2 / 4 - (m+1) \sum_{j=0}^m j^2} \frac{m(m+1)}{2}}{\Delta T \sum_{j=0}^m j^2} \quad (4.28)$$

Từ (4.27) và (4.28) cho thấy từ tham số cự ly giữa tên lửa và mục tiêu $D_i, D_{i-1}, D_{i-2}, \dots, D_{i-m}$, được đo ở các thời điểm $(i-m)\Delta T, (i-m+1)\Delta T, \dots, \Delta T$ có thể xác định được các hệ số a_i, b_i của hàm tuyến tính (4.17). Từ (4.17) cho thấy có thể coi b_i là giá trị vận tốc bay thay đổi cự ly, tức là:

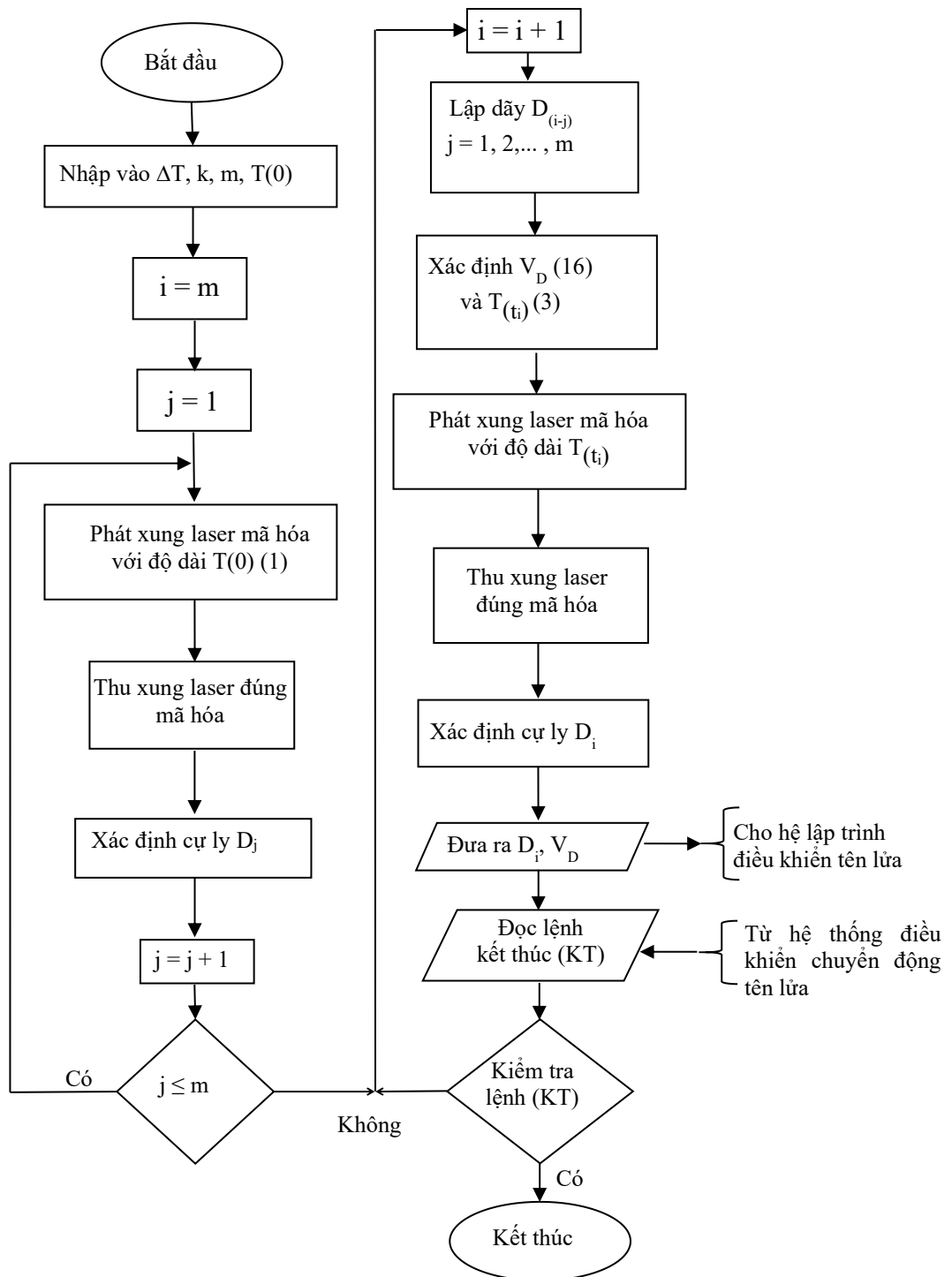
$$V_D = \frac{\sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \frac{\frac{m(m+1)}{2} \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - \sum_{j=0}^m j^2 \sum_{j=0}^m D_{(i-j)}}{m^2(m+1)^2 / 4 - (m+1) \sum_{j=0}^m j^2} \frac{m(m+1)}{2}}{\Delta T \sum_{j=0}^m j^2}$$

Thay tổng $\sum_{j=0}^m j^2$ bằng $\frac{m(m+1)(2m+1)}{6}$ nhận được:

$$V_D = \frac{6(m+2) \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)} - 6m(m+2) \sum_{j=0}^m D_{(i-j)} + 18m \sum_{j=0}^m j D_{(i-j)}}{m(m+1)(2m+1)(m+2)\Delta T} \quad (4.29)$$

Tham số V_D là tham số ngoài việc dùng vào hiệu chỉnh độ dài chuỗi mã giả ngẫu nhiên như trên đã trình bày, còn có nhiệm vụ cung cấp thông tin cho thiết bị tạo lệnh điều khiển chuyển động trên lửa. Trên hình 4.4 là thuật toán xác định

cự ly giữa tên lửa và mục tiêu, tốc độ thay đổi cự ly và độ dài xung phát tia laser mã hóa. Trong thuật toán này cần đưa vào các tham số ban đầu: ΔT , k , m , $T(0)$. Ở đây ΔT là khoảng cách thời gian của bộ vi xử lý, phụ thuộc vào chủng loại chip vi xử lý điện tử; k , m là các số tùy chọn thỏa mãn (2) và phụ thuộc vào yêu cầu bảo mật và tốc độ tính toán của chip xử lý (nếu chip xử lý nhanh thì hai tham số này có thể lớn); $T(0)$ là khoảng thời gian bay của tên lửa dự kiến từ vị trí hiện thời đến khi gặp mục tiêu.

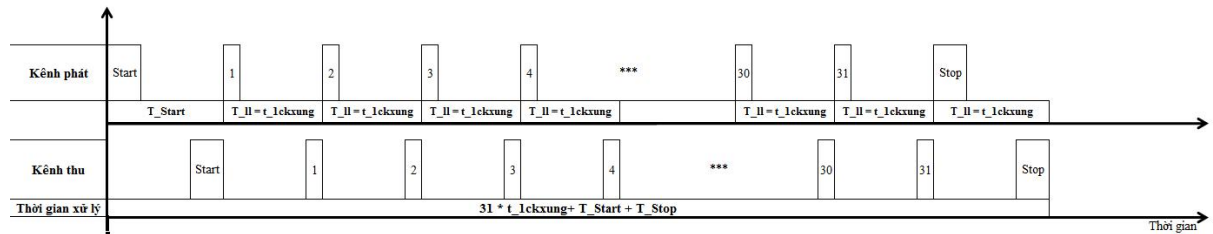


Hình 4. 4. Lưu đồ thuật toán phát chuỗi ngẫu nhiên và xác định vận tốc tiếp cận

4.3.2. Mã hóa và truyền liên tục chuỗi mã.

Điểm khác biệt của phương pháp này so với phương pháp ở phần trên là các bit mã được truyền liên tục, ngay sau 1 bit vừa truyền mà không cần đợi đến khi bit

đó được nhận và xử lý xong, nghĩa là ta truyền cả một gói dữ liệu 33 bit gồm bit start, bit mã và bit stop cùng một lúc. Giảm đồ xung theo thời gian như sau:



Hình 4.5. Gói dữ liệu mã hóa bởi 31 bit mã truyền liên tục

Tổng thời gian xử lý xong 1 bit dữ liệu:

$$T_{pa1} = 31 * t_{1ckxung} + T_{start} + T_{stop}$$

So sánh 2 phương pháp

- Sai số cự ly: do cự ly đều được tính sau mỗi bit mã nên sai số cự ly của 2 phương pháp là như nhau.

- Độ phân giải cự ly:

Xét tương quan thời gian xử lý của 2 phương án cho trường hợp chuỗi mã m bit:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{pa2} - T_{pa1} \\ &= m * T_{ll} - (m-1) * t_{1ckxung} \end{aligned}$$

Phương án 1 có thời gian xử lý phụ thuộc nhiều vào cự ly đo, cự ly càng xa thì thời gian cần để truyền bị nhân lên theo số bit sử dụng. Trong khi phương án 2 thì thời gian này phụ thuộc nhiều vào tần số lặp lại của bit mã.

Bằng cách tăng tần số lặp lại của bit mã ta có thể giảm được độ phân giải vị trí mục tiêu (do giảm được thời gian lấy mẫu cự ly).

Tuy nhiên, T_{ll} bị giới hạn vào công nghệ chế tạo các bộ thu, phát laser. Công suất thu phát càng lớn thì T_{ll} càng lớn. Các bộ laser đo cự ly xếp vào dải đo xa cỡ vài chục km thì tần số lặp lại chỉ từ 0.2 - 1 Hz (T_{ll} là 5s – 1s), các bộ công suất thấp và nhỏ cho ứng dụng đo gần (vài chục m) thì tần số xung lặp lại

tối đa cũng chỉ vài MHz. Đối với bộ laser nhóm tác giả tìm kiếm và sử dụng làm tham chiếu cho thiết kế có tần số lặp lại tối đa là 10MHz (T_{ll} là 0.1 us).

Các vấn đề cần quan tâm khi triển khai phương án 2:

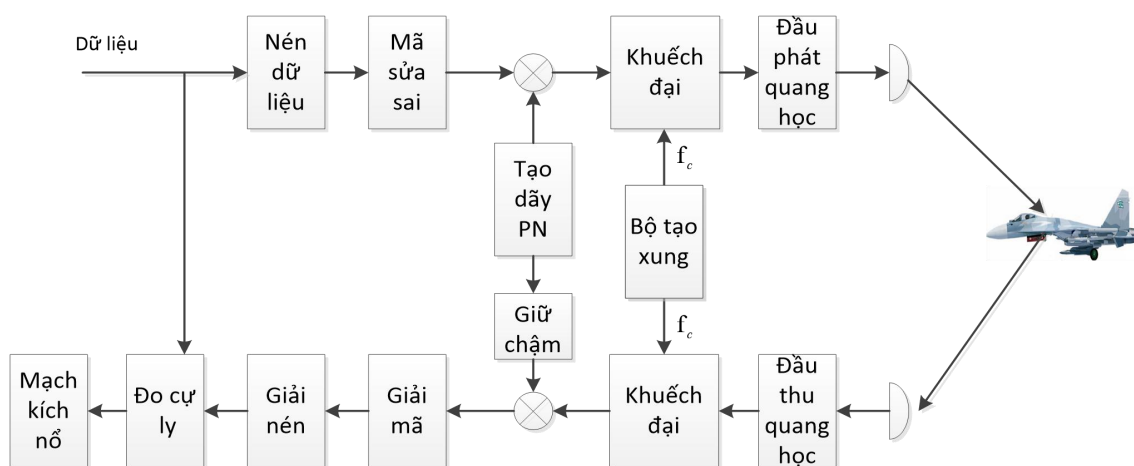
- Phải nâng tần số lặp lại xung phát lên cao hơn: Khó triển khai xuống phần cứng hơn do cần thiết kế phần cứng đảm bảo tín hiệu tần số cao hơn, khả năng chống nhiễu phần cứng ở tần số cao cũng khó hơn, dễ méo xung.

- Khởi thu và phát sẽ có thời điểm giao thoa giữa tín hiệu phát và thu có thể gây ra nhiễu, méo tín hiệu.

Nhận xét: Để cân bằng giữa yêu cầu về sai số, cự ly sát thương,... và khả năng triển khai thuật toán trên phần cứng cũng như công nghệ laser hiện tại. Luận án đề xuất phương án truyền chuỗi bit rời rạc (tức mỗi bit mã truyền nhận xong sẽ truyền tiếp bit tiếp theo), theo phương án này thì các tiêu chí về độ chính xác phép đo là phù hợp với ứng dụng mà đề tài đang hướng tới.

4.4. Giải pháp hiện thực hóa kỹ thuật mã hóa xung thăm dò.

Một trong các tiêu chí quan trọng nhất về chống nhiễu đối với ngòi nổ laser đó là: xử lý tin cậy, bảo mật và có thể triển khai được trên phần cứng. Như đã đề cập ở trên, luận án đề xuất một hệ thống mã hóa sửa lỗi dùng trên ngòi nổ laser như mô tả trong hình 4.6. Trong phạm vi luận án, chỉ giải quyết vấn đề mã hóa tạo tín hiệu điều chế.



Hình 4.6. Sơ đồ chức năng hệ thống mã hóa dùng trên ngòi nổ laser

Trong hệ thống này, có hai thành phần chính là tuyến phát và tuyến thu. Tuyến phát có chức năng phát tín hiệu đã được mã hoá, tuyến thu có chức năng thu và giải mã tín hiệu có ích thu được phục vụ cho việc phát hiện mục tiêu và kích nổ đầu nổ. Chuỗi dữ liệu sau khi được số hóa thành chuỗi dữ liệu số (0, 1) sẽ được chèn vào các đoạn mã sửa sai và chuỗi mã hóa để tăng được độ tin cậy dữ liệu xử lý và đặc biệt nâng cao khả năng bảo mật và sửa lỗi đường truyền. Bằng kỹ thuật này thì chuỗi dữ liệu được mã hóa để đưa lên kênh truyền sẽ được mở rộng phổ lên gấp nhiều lần tùy thuộc vào độ dài của chuỗi sửa lỗi và chuỗi mã hóa.

Nguyên lý hoạt động kênh phát: Chuỗi dữ liệu số hóa sau khi được chèn mã sửa lỗi và chuỗi mã hóa sẽ được điều chế và khuếch đại công suất đầu phát laser. Các xung công suất phát sau đó được thực hiện dựa trên bộ tạo xung nhịp đồng bộ của khối xử lý laser.

Nguyên lý hoạt động kênh thu: Tín hiệu thu từ đầu vào kênh thu được khuếch đại lên mức tín hiệu trong dải hoạt động của đầu thu, sau khi giải điều chế, tín hiệu sẽ kết hợp với bộ giữ chậm và chuỗi bit mã hóa và chuỗi sửa lỗi biết trước sẽ giải mã ra chuỗi dữ liệu phát đi. Bộ giữ chậm được tính toán dựa trên độ trễ tín hiệu giữa xung phát và xung thu do thời gian truyền sóng trên kênh truyền.

4.5. Mô phỏng và thực nghiệm phương pháp mã hóa.

Trong nội dung này, luận án tập trung vào các nội dung sau:

- Tính toán, thiết kế hệ thống;
- Xây dựng mô hình trong mô phỏng và thực nghiệm;
- Khảo sát, đánh giá khả năng kháng nhiễu của phương pháp;
- Khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của chuỗi tạo và giải mã ngẫu nhiên;
- Đánh giá khả năng bảo mật, phá mã;
- Triển khai giải pháp cụ thể trên phần cứng.

4.5.1. Tính toán thiết kế

- Thông số đầu vào:

Bảng 4. 3. Thông số đầu vào

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Vận tốc ánh sáng, v_{as}	$3 * 10^8$	m/s
2	Cự ly đo xa nhất, D_{xa_nhat}	100	m
3	Độ phân giải cự ly, D_{pg}	1	m
4	Vận tốc tối đa giữa tên lửa và mục tiêu, v_{tl-mt}	1700	m/s

Xây dựng công thức tính toán:

- Thời gian tín hiệu truyền trong môi trường từ lúc bắt đầu phát đến khi nhận được tín hiệu thu ở cự ly D_m (m) là:

$$t_{truyen} = 2 \times \frac{D_m}{c} \quad (4.30)$$

$$t_{truyen_xa_nhat} = 2 * \frac{100}{3 * 10^8} * 10^{-9} = 666.67 \text{ ns} \quad (4.31)$$

$$t_{truyen_gan_nhat} = 2 * \frac{1}{3 * 10^8} * 10^{-9} = 6.67 \text{ ns} \quad (4.32)$$

Chu kỳ xung 1 bit mã chọn là: $T_{1l} = t_{1ckxung} = 666.67 \text{ ns}$

Độ rộng xung 1 bit mã chọn là: $\Delta_{1xung} = 6.67 \text{ ns}$

Sai số cự ly: gồm 2 thành phần gây sai số là độ rộng xung phát và sai số hệ thống do trễ đáp ứng của phần cứng (khối xử lý, khối thu, khối phát, khuếch đại công suất). Theo khảo sát một số thiết bị thực tế trên thị trường thì thời gian đáp ứng của toàn bộ phần cứng trong dải $1 \div 6 \text{ ns}$ (nhỏ hơn sai số do độ rộng xung phát 6.67 ns), tuy nhiên thành phần này có thể được bù tính bằng giải pháp thực nghiệm, thực hiện các phép đo để xác định sai số tính sau đó bù trong tính toán cự ly. Thành phần sai số do độ rộng xung phát 6.67 ns tương ứng với $D_{pg} = 1 \text{ m}$.

- Thời gian cho xử lý 1 bit dữ liệu (hay 31 bit mã hóa) là:

$$T_{1bit_dulieu} = N_{bit_ma} * t_{1ckxung} = 31 * 666.67 = 20.67 \mu s \quad (4.33)$$

- Thời gian cho xử lý cả chuỗi 3 bit dữ liệu là:

$$T_{tong_bit_dulieu} = N_{dulieu} * T_{1bit_dulieu} = 3 * 20.67 = 62.01 \mu s \quad (4.34)$$

- Với phương pháp xác định cự ly dựa vào trung bình cự ly thu được ở mỗi bit mã phát đi thì độ dịch chuyển vị trí mục tiêu so với thời gian thực tối đa được tính như sau:

$$\begin{aligned} \Delta d_{dich_chuyen} &= T_{1bit_dulieu} * v_{tl_mt} = 20.67 * 1700 * 10^{-6} \\ &= 0.035 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.35)$$

Trong đó, vận tốc giữa tên lửa và mục tiêu (xét trong trường hợp bay ngược hướng chính diện, trường hợp gây ra sai số lớn nhất) được xác định như sau:

$$v_{tl-mt} = v_{tl} + v_{mt} \quad (4.36)$$

Vận tốc tên lửa là: v_{tl} ; vận tốc mục tiêu là: v_{mt} .

- Cự ly đo tối thiểu để đảm bảo được truyền đủ chuỗi 3 bit dữ liệu, chuỗi mã 31 bit:

$$\begin{aligned} d_{gan_nhat} &= d_{pg} + v_{tl_mt} * T_{tong_bit_dulieu} \\ &= 1 + 62.01 * 1700 * 10^{-6} = 1.1 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.37)$$

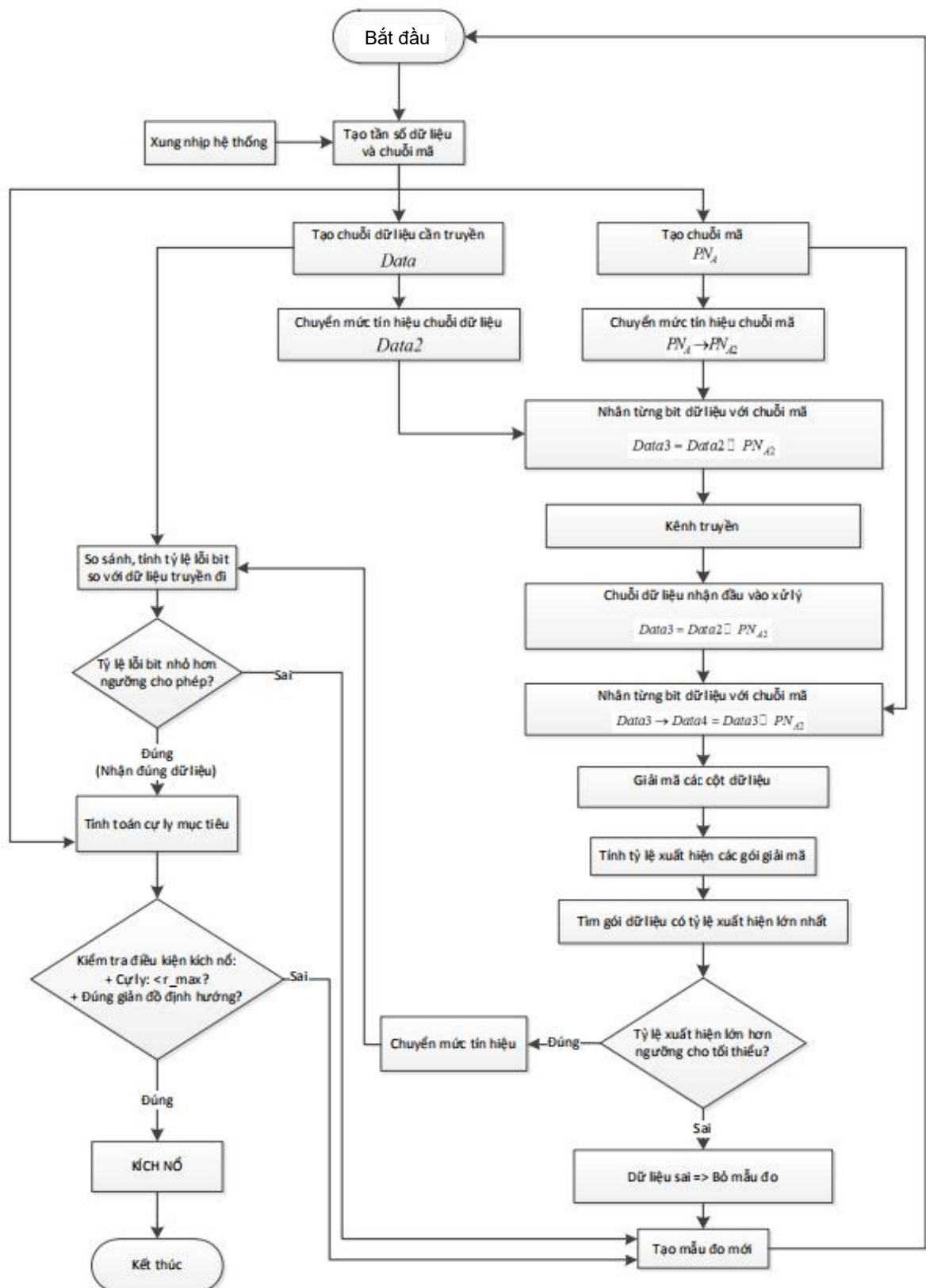
Tần số xung nhịp của chip xử lý yêu cầu tối thiểu (Định lý

lấy mẫu Nyquist–Shannon): $f_{clock} = \frac{2}{t_{truyen}} \quad (4.38)$

- Tần số xung nhịp của chip xử lý lựa chọn yêu cầu không nhỏ hơn f_{clock} . Giả sử chọn là f_{clockF} và số xung nhịp phần cứng cần để xử xong 1 xung phát đi - thu về là N_f xung nhịp, tức thời gian phần cứng xử lý xong 1 xung phát - thu là:

$$t_{xulyF} = \frac{2 * N_f}{f_{clockF}} \quad (4.39)$$

Lưu đồ thuật toán thể hiện trên hình 4.7



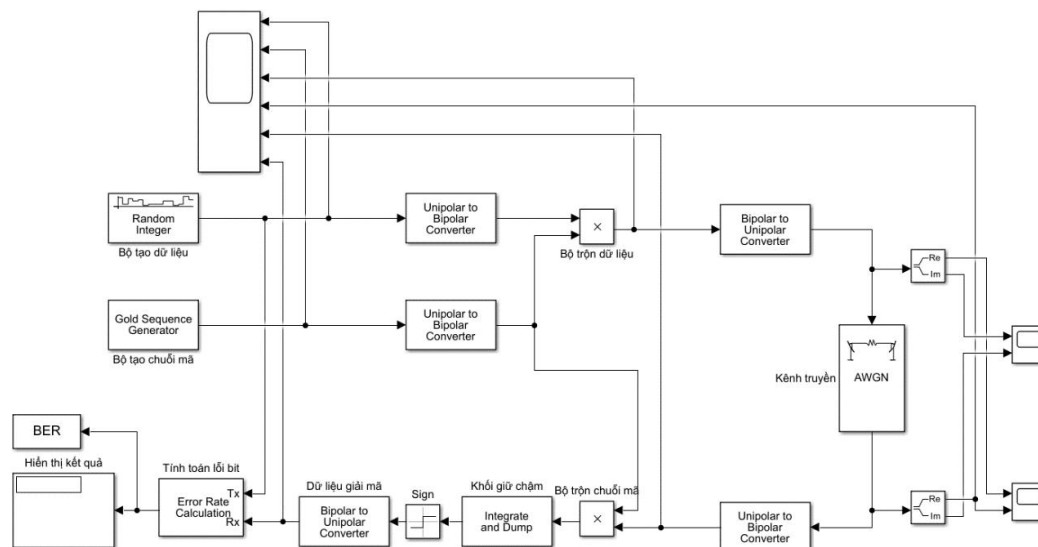
Hình 4. 7. Lưu đồ thuật toán chống nhiễu

Bảng 4. 4. Tổng hợp các thông số tính toán

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Ký hiệu thông số	Công thức
Thời gian truyền trong môi trường 1 xung ở cự ly đo xa nhất	666.67	ns	$t_{truyen_xa_nhat}$	(4.31)
Thời gian truyền trong môi trường 1 xung ở cự ly đo gần nhất	6.67	ns	$t_{truyen_gan_nhat}$	(4.32)
Chu kỳ xung 1 bit mã chọn (bit mã Gold)	666.67	ns	T_{ll}	
Độ rộng xung 1 bit mã chọn	6.67	ns	Δ_{1_xung}	
Số bit mã hóa	31	bit	N_{bit_ma}	
Thời gian cho xử lý 1 bit dữ liệu (hay 31 bit mã hóa)	20.67	μs	T_{1bit_dulieu}	(4.33)
Thời gian cho xử lý cả chuỗi 3 bit dữ liệu	62.01	μs	$T_{tong_bit_dulieu}$	(4.34)
Vận tốc tên lửa_mục tiêu (xét trong trường hợp bay ngược hướng chính diện)	1.700	m/s	V_{tl_mt} v_{tl} : 1.200m/s v_{mt} : 500 m/s	(4.36)
Độ dịch chuyển vị trí mục tiêu so với thời gian thực tối đa được tính	0.035	m	Δd_{dich_chuyen}	(4.35)
Cự ly đo tối thiểu để đảm bảo được truyền đủ chuỗi 3 bit dữ liệu, chuỗi mã 31 bit	1.1	m	d_{gan_nhat}	(4.37)
Tần số xung nhịp phần cứng tối thiểu (yêu cầu tối thiểu)	300	MHz	f_{clock}	(4.38)
Tần số xung nhịp clock FPGA tối thiểu (chọn)(*)	310	MHz	f_{clockF}	

4.5.2. Xây dựng mô hình mô phỏng

Mô hình thiết kế trên Simulink:



Hình 4. 8. Sơ đồ Matlab-Simulink của hệ thống sử dụng mã hóa

Mô hình sử dụng các khối chức năng để thể hiện lại toàn bộ quá trình truyền và giải mã dữ liệu theo như nội dung của phương pháp trình bày ở các phần trước. Các thành phần chính gồm: Bộ giả lập tạo dữ liệu truyền đi, bộ tạo mã ngẫu nhiên, bộ tổng hợp dữ liệu, kênh truyền, bộ giải điều chế, bộ giữ chậm tín hiệu kênh truyền, bộ giải mã, bộ so sánh dữ liệu phát và thu.

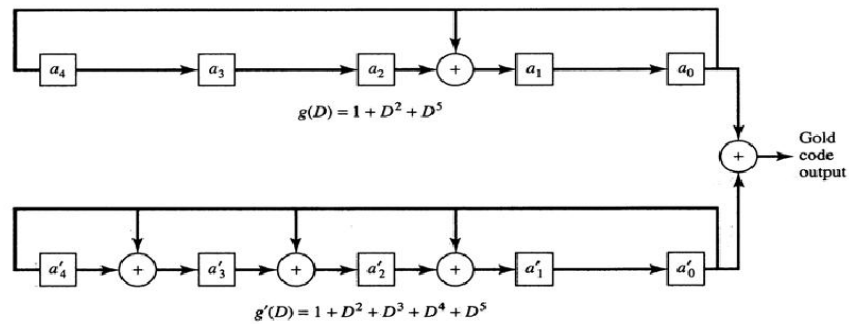
4.5.3. Khảo sát, đánh giá khả năng kháng nhiễu

a. Dữ liệu mô phỏng

Bảng 4. 5. Dữ liệu mô phỏng

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Tần số bộ tạo mã Gold	3	MHz
2	Độ dài mã Gold	31	bit
3	Tần số dữ liệu phát	97,98	kHz
4	Số bit truyền đi	1024	bit
5	Tỷ số Tín/ Nhiễu kênh truyền	4,5	dB

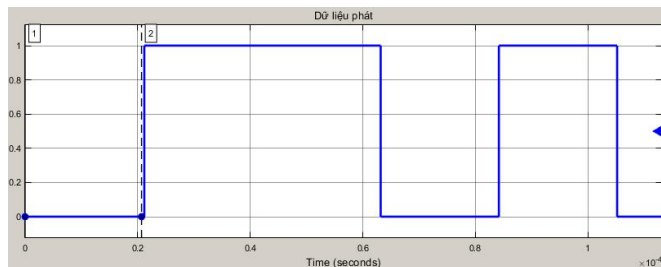
Bộ tạo mã chuỗi giả ngẫu nhiên: Sử dụng mã Gold, hai bộ $m = 5$ thành ghi, độ dài mã là $N = 2^m - 1 = 31$ như hình sau:



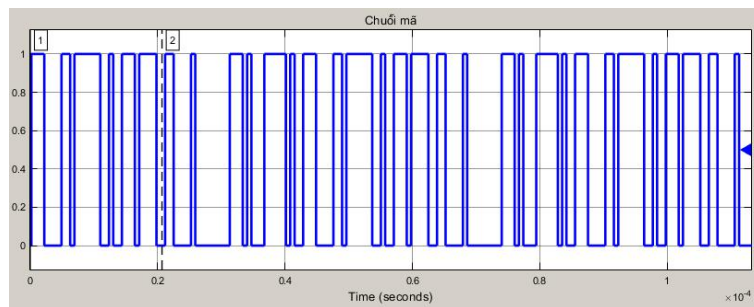
Hình 4. 9. Sơ đồ khối hệ sinh mã Gold chiều dài 31 bằng 5 thanh ghi dịch

b. Phân tích kết quả

Chuỗi dữ liệu truyền đầu vào kênh phát và dữ liệu mã:



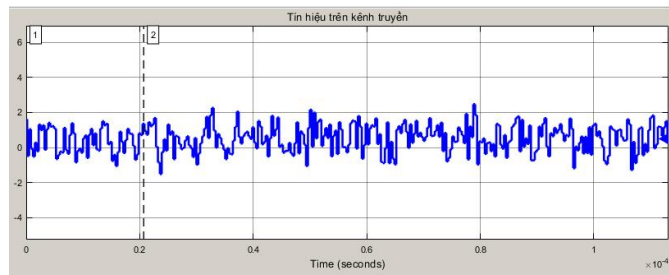
a) Chuỗi dữ liệu



b) Chuỗi PN (Mã Gold)

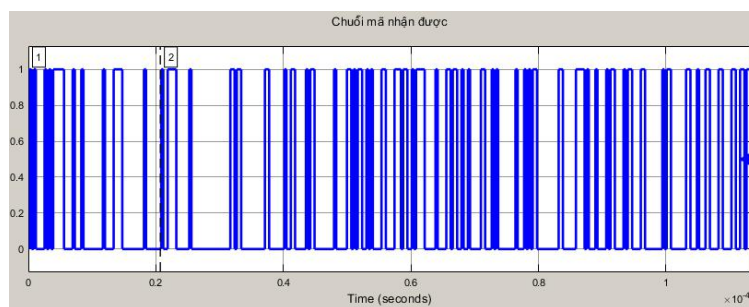
Hình 4. 10. Dạng xung dữ liệu truyền đi và mã Gold

Dữ liệu sau khi được mã hóa ở máy phát, kết hợp giả lập nhiễu trắng trên đường truyền và nhận được ở máy thu như sau:

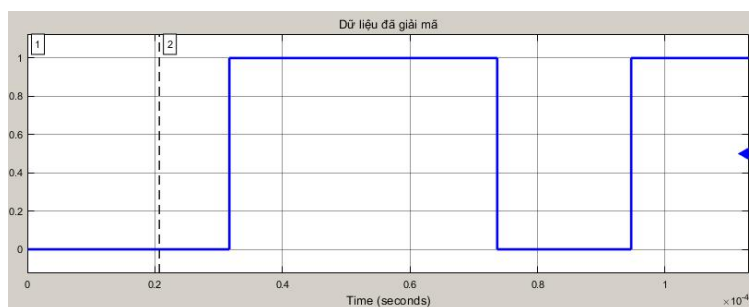


Hình 4. 11. Tín hiệu được mã hóa kết hợp nhiễu

Dữ liệu giải mã được:



a. Tín hiệu tại kênh thu

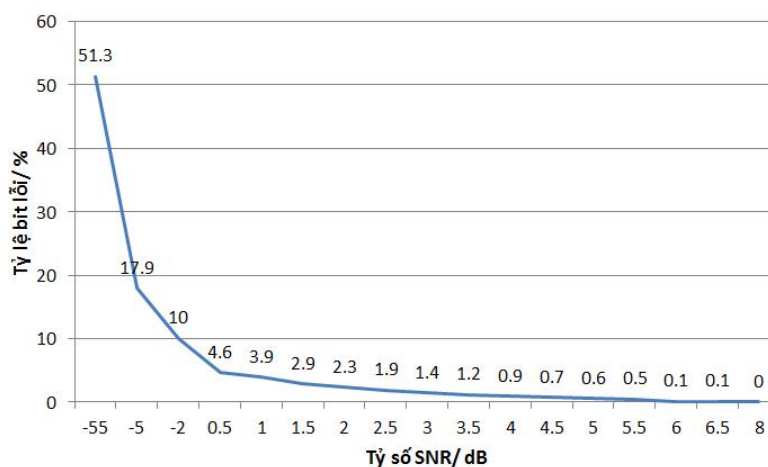


b. Chuỗi dữ liệu giải mã

Hình 4. 12. Dạng xung dữ liệu sau khi đã được giải điều chế chế ở máy thu

Về lỗi bit, ta thấy trong 1024 bit dữ liệu truyền thì có 8 bit dữ liệu bị lỗi, tương ứng 0,7% tổng số bit truyền đi. Đây là mức lỗi bit rất thấp.

Để đánh giá được mức độ ảnh hưởng của nhiễu lên lỗi bit ta thực hiện khảo sát trên toàn dải nhiễu theo tỷ số SNR. Đồ thị biểu diễn bit lỗi tương ứng với mức nhiễu thể hiện trên hình sau:

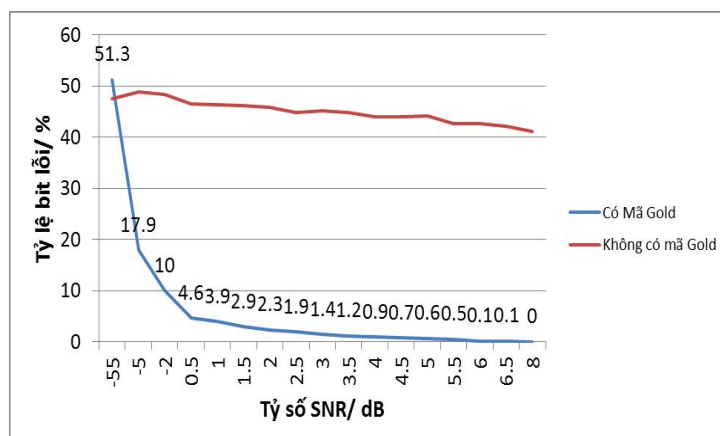


Hình 4. 13. Khảo sát lỗi bit khi thay đổi nền nhiễu

Khi tăng SNR thì số bit lỗi giảm dần, với $\text{SNR} > 5,5\text{dB}$ thì tỷ số bit lỗi giảm dần về 0. Điều này chứng tỏ khả năng chống nhiễu tốt của phương pháp đề xuất.

4.5.4. So sánh sử dụng và không sử dụng chuỗi mã

Để đánh giá được mức độ ảnh hưởng của nhiễu lên lỗi bit ta thực hiện khảo sát trên toàn dải nhiễu theo tỷ số cho cả 2 trường hợp có sử dụng mã Gold và trường hợp không sử dụng mã Gold. Đồ thị biểu diễn bit lỗi tương ứng với mức nhiễu thể hiện trên hình sau:



Hình 4. 14. So sánh tỷ lệ lỗi bit giữa sử dụng và không sử dụng mã Gold

Bảng 4. 6. So sánh tỉ lệ lỗi bit

Mức nhiễu SNR (dB)	Tỷ lệ lỗi bit (%)	
	Dùng mã Gold 31bit	Không dùng mã Gold
-55	51.3	47.6

Mức nhiễu SNR (dB)	Tỷ lệ lỗi bit (%)	
	Dùng mã Gold 31bit	Không dùng mã Gold
-5	17.9	48.9
-2	10	48.4
0.5	4.6	46.5
1	3.9	46.4
1.5	2.9	46.2
2	2.3	45.9
2.5	1.9	44.9
3	1.4	45.2
3.5	1.2	44.9
4	0.9	44
4.5	0.7	44
5	0.6	44.2
5.5	0.5	42.7
6	0.1	42.6
6.5	0.1	42.2
8	0	41.2

Để nhận thấy khi không sử dụng chuỗi mã sửa lỗi thì tỷ lệ lỗi ở cùng mức nhiễu là lớn hơn rất nhiều so với việc sử dụng chuỗi mã. Kết quả khảo sát cho thấy đường truyền chỉ cần lần 1 lượng nhiễu nhỏ đã bắt đầu xuất hiện lỗi bit với trường hợp không sử dụng chuỗi mã sửa lỗi.

4.5.5. Khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của chuỗi tạo và giải mã ngẫu nhiên

Theo phương pháp này, ta có thể thay đổi rất nhiều loại mã ngẫu nhiên khác nhau cho phù hợp với từng yêu cầu cụ thể như: tính bảo mật, loại tên lửa, nền tảng phần cứng. Để làm rõ thêm ảnh hưởng khi thay đổi mã ở đây ta khảo sát thêm trường hợp sử dụng cùng loại mã Gold nhưng có độ dài chuỗi tăng gấp đôi là 63bit. Các kết quả, phân tích được tổng hợp như sau:

- Thông số tính toán:

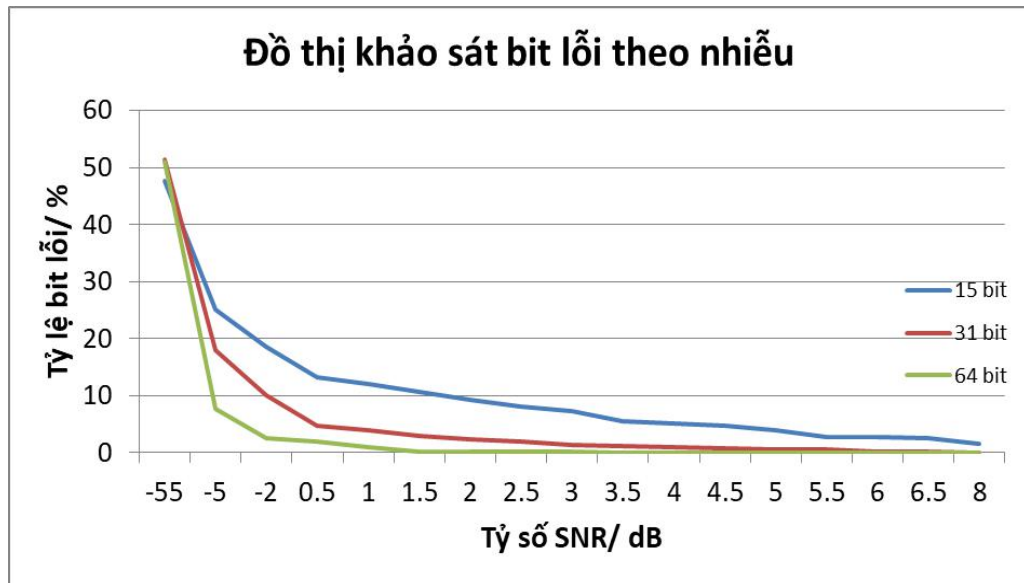
Chuỗi Poly 1: [6 1 0]

Chuỗi Poly 2: [6 5 2 1 0]

Dữ liệu truyền: 1024 mẫu.

Bảng 4. 7. Bảng tổng hợp một số kết quả ở các mức nhiễu khác nhau

Mức nhiễu SNR (dB)	Tỷ lệ lỗi bit (%)		
	Mã 15 bit	Mã 31bit	Mã 63bit
-55	47.6	51.3	50.9
-5	25.1	17.9	7.7
-2	18.6	10	2.6
0.5	13.1	4.6	2
1	12	3.9	1
1.5	10.6	2.9	0.1
2	9.2	2.3	0.1
2.5	8.1	1.9	0.1
3	7.3	1.4	0.1
3.5	5.4	1.2	0
4	5.1	0.9	0
4.5	4.7	0.7	0
5	3.8	0.6	0
5.5	2.8	0.5	0
6	2.7	0.1	0
6.5	2.6	0.1	0
8	1.6	0	0



Hình 4. 15. Đồ thị khảo sát lỗi bit theo nhiễu

Khi sử dụng mã Gold dài hơn thì khả năng chống nhiễu tốt hơn tức số bit lỗi nhỏ hơn. Tuy nhiên sẽ làm tăng băng thông kênh truyền và sẽ làm tăng yêu cầu về tốc độ xử lý 1 khung dữ liệu mã hóa để đảm bảo thời gian xử lý một chu kỳ (từ khi phát tín hiệu đến khi thu tín hiệu về và xử lý xong).

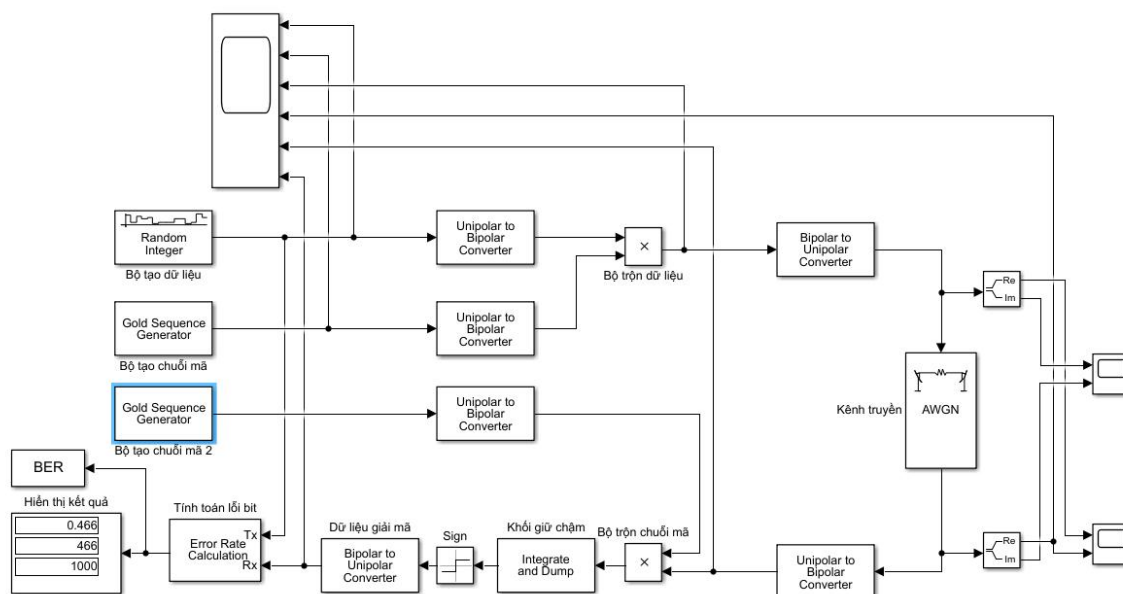
4.5.6. Khảo sát, đánh giá tính bảo mật và phá mã

Khảo sát 2 trường hợp nguồn phá mã sử dụng bộ mã ngẫu nhiên 31bit và sử dụng chính mã Gold 31bit nhưng không biết chuỗi khởi tạo của mã, các điều kiện mô phỏng khác giống nhau (SNR 9dB). Kết quả khảo sát như sau:

Mô hình mô phỏng như Hình 4.16

Bảng 4. 8. Kết quả đánh giá

Số mẫu thử	Mã ngẫu nhiên (%)	Mã Gold (Không biết mã) (%)	Mã gold (Biết chính xác mã) (%)	Ghi chú
1	50.1	42	0	SNR 9dB
2	51.8	34.5	0	SNR 9dB
3	53.5	35.2	0	SNR 9dB
Trung bình	51.8	37.2	0	



Hình 4. 16. Sơ đồ mô phỏng đánh giá tính bảo mật và phá mã

Nhận xét:

Trường hợp đối phương cũng sử dụng mã Gold. Tỷ lệ lỗi bit là 37% của 31 bit tương ứng với 11 bit lỗi, để dò ra mã đúng phải thử 2^{11} lần nên không đủ thời gian do tên lửa đã tiếp tục di chuyển đến vị trí khác. Nếu đối phương không biết mã dùng để mã hóa thì sẽ không thể tạo giả được chuỗi tín hiệu phản xạ từ mục tiêu về đầu thu laser. Như vậy, đây là phương pháp có độ bảo mật rất cao.

So với việc sử dụng các phương pháp mã hóa sửa lỗi khác như CRC, Hamming thì giải pháp này có một số ưu điểm:

+ Có thể thay đổi chuỗi PN được nên khả năng bị dò và phá chủ động sẽ khó hơn.

+ Bộ mã và tạo mã đơn giản, dễ lập trình, dễ cài đặt tham số và triển khai trên phần cứng.

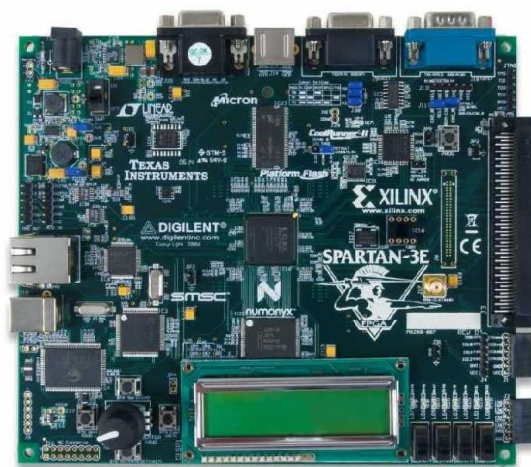
Nhược điểm:

+ Để đảm bảo khả năng bảo mật và tỷ lệ lỗi bit nhỏ thì cần sử dụng chuỗi bit đủ lớn (8, 16, 32 hoặc 64 bit) tùy vào loại đầu nỏ và yêu cầu cụ thể. Điều này có nhược điểm là làm tăng băng thông của đường truyền.

+ Đối với phương pháp sử dụng mã sửa lỗi, ví dụ như mã Hamming (11,7) thì để truyền 7 bit dữ liệu chỉ cần chèn vào chuỗi dữ liệu thêm 4 bit là đủ để sửa lỗi bản tin. Do vậy, phương pháp này sẽ tốn ít băng thông đường truyền hơn, tuy nhiên độ bảo mật lại không cao bằng việc sử dụng chuỗi mã PN.

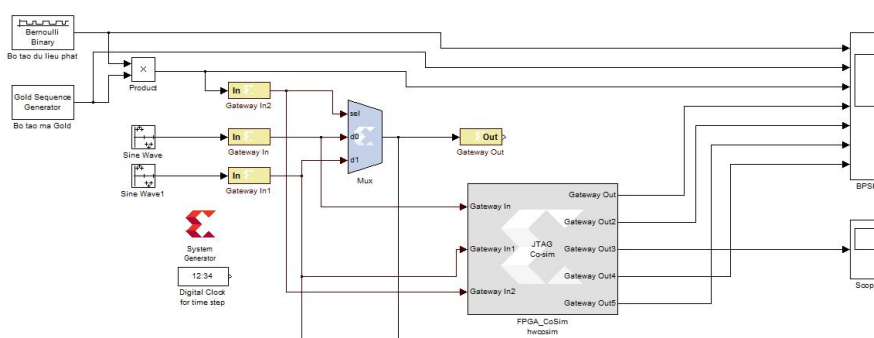
4.5.7. Triển khai giải pháp trên phần cứng

Cấu hình phần cứng: Sử dụng 2 KIT FPGA Spartan 3E làm khối phát và khối thu dữ liệu.



Hình 4. 17. KIT FPGA Spartan 3E làm khối phát và khối thu dữ liệu

Thiết kế khối phát



Hình 4. 18. Thiết kế khối phát trên FPGA

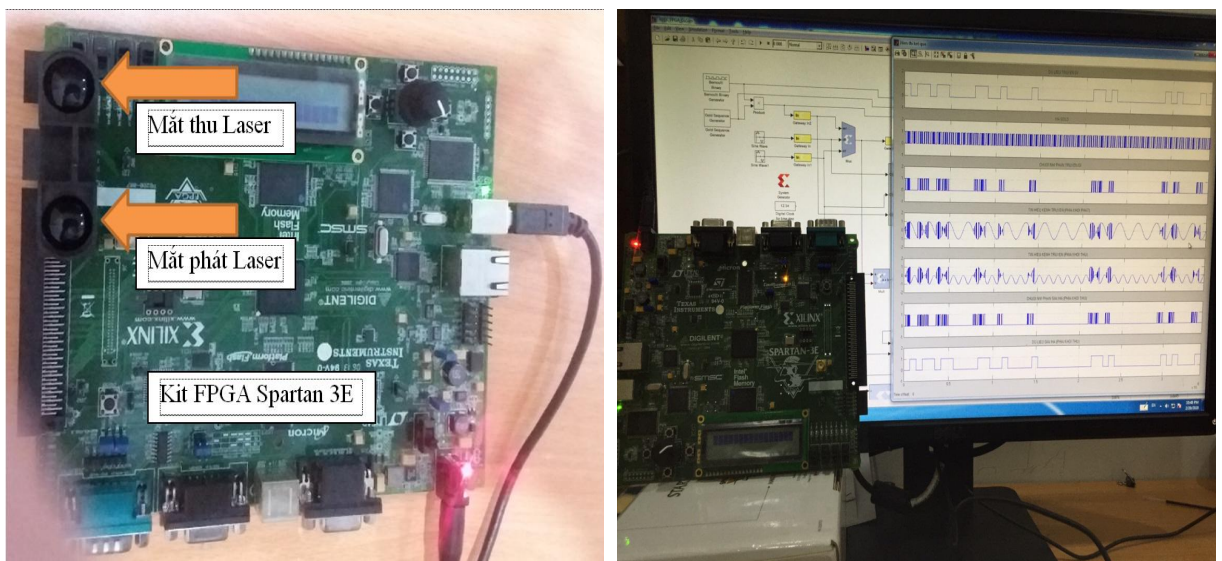
Thành phần chính bao gồm:

- Khối tạo dữ liệu nhị phân truyền đi:
 - Tần số tạo mẫu ngẫu nhiên: 97.97 KHz
 - Tỷ lệ bit '0' / '1': 60%
- Khối tạo mã Gold nhị phân truyền đi:

- Khôi giải mã dữ liệu: tín hiệu trải phổ nhận được sẽ được giải mã để lọc mã Gold ra khỏi chuỗi dữ liệu nhận được. Phần dữ liệu cuối cùng là dữ liệu đã được truyền từ khối phát.

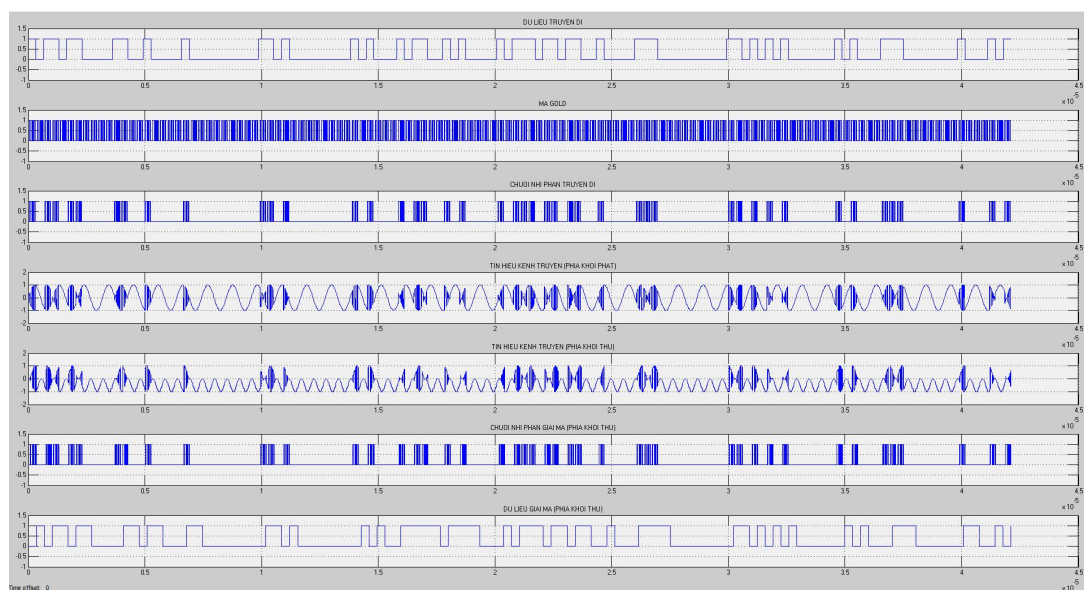
*** Kết quả thực nghiệm**

- Sơ đồ đấu nối phần cứng thực tế:



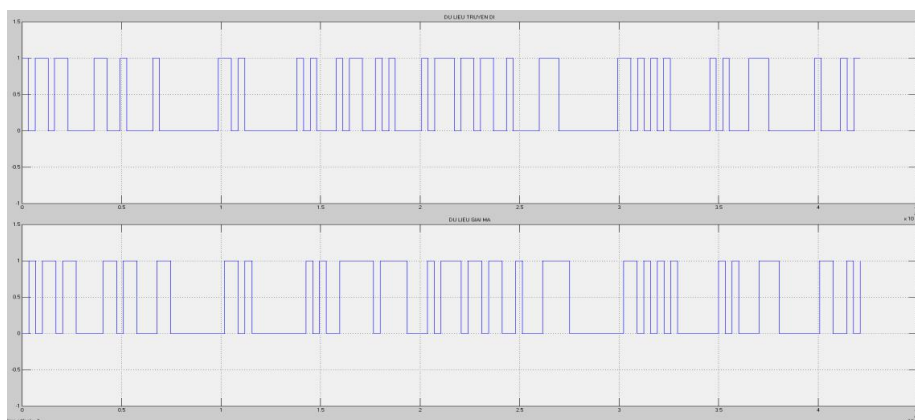
Hình 4. 21. Mô hình thực nghiệm trên Kit FPGA Spartan 3E

- Các đồ thị biểu diễn tín hiệu thu được từ việc triển khai các thuật toán trên KIT FPGA như sau (Hardware Co-Simulation):



Hình 4. 22. Đồ thị phân tích tín hiệu trên KIT FPGA

Đánh giá độ trễ xử lý của FPGA:



Hình 4. 23. Chuỗi dữ liệu phát và giải mã được

Toàn bộ chu trình xử lý số từ tạo dữ liệu, chuỗi mã giả lập đến mã hóa, giải mã đều thực hiện được theo các thông số thiết kế. Như vậy, ta thấy việc triển khai thuật toán mã hóa sửa lỗi này trên phần cứng nền tảng FPGA là hoàn toàn đáp ứng được.

4.6. Kết luận chương 4

Nội dung của chương đã đề xuất được một thuật toán mã hóa xung phát laser bằng chuỗi ngẫu nhiên có khả năng chống nhiễu chế áp điện tử. Đồng thời đề xuất thuật toán xác định tốc độ thay đổi cự ly giữa tên lửa và mục tiêu bằng đầu dò laser ở giai đoạn cận đích.

Thuật toán mà luận án đề xuất giúp tăng cường khả năng chống nhiễu và cho phép thu được các thông tin có ích một cách chính xác. Điều này giúp nâng cao chất lượng hoạt động của các ngòi nổ laser, giảm khả năng chế áp điện tử của đối phương.

Thuật toán luận án đưa ra đã được kiểm chứng dựa trên các kết quả mô phỏng bởi phần mềm mô phỏng Matlab-Simulink và thực nghiệm trên KIT FPGA.

Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy, kỹ thuật mã hoá cho phép nâng cao đáng kể độ chính xác trong truyền tin, tỉ lệ lỗi do nhiễu gây ra là không đáng kể. Trên cơ sở các kết quả đạt được, có thể mở ra khả năng ứng dụng cho các ngòi nổ laser nhằm nâng cao độ tin cậy, cũng như nâng cao xác suất tiêu diệt mục tiêu cho các tên lửa phòng không hiện đại.

KẾT LUẬN

Luận án đã tiến hành nghiên cứu xây dựng mô hình hệ quang học của ngòi nổ laser. Xây dựng các công thức tính toán các tham số quan trọng của hệ quang, từ đó phát triển thành phần mềm tính các tham số quang hình, các tham số này có thể điều chỉnh được trong quá trình thiết kế, hiệu chỉnh ngòi nổ laser. Tiến hành thu thập dữ liệu và khảo sát sự ảnh hưởng lẫn nhau của các thông số quang hình, đưa ra những nhận xét khoa học, phục vụ cho việc lựa chọn tham số tối ưu cho vùng quan sát của ngòi nổ khi nghiên cứu phát triển ngòi nổ laser sau này. Đồng thời, đã đề xuất một giải pháp chống nhiễu cho ngòi nổ laser để nâng cao khả năng chống nhiễu, đảm bảo tỉ số tín/tạp ở đầu ra máy thu lớn để từ đó tăng hiệu quả tiêu diệt mục tiêu cho tên lửa phòng không sử dụng ngòi nổ laser.

Từ việc phân tích đối tượng nghiên cứu là ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không, phân tích ưu nhược điểm của các công trình trong và ngoài nước đã công bố có liên quan đến nội dung luận án, luận án đã xác lập mục tiêu nghiên cứu cùng với các nhiệm vụ cần phải giải quyết để đạt được mục tiêu đề ra. Các kết quả cơ bản mà luận án đã đạt được là:

- Xây dựng mô hình hệ thống quang của ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không, xây dựng biểu thức tính toán các tham số quang hình trên hai mặt phẳng kinh tuyến và mặt phẳng xích đạo.

- Khảo sát sự ảnh hưởng của các tham số quang hình đến thông số làm việc của ngòi nổ, từ đó xây dựng phần mềm tính toán các tham số thích hợp cho hệ quang khi thiết kế và hiệu chỉnh chỉnh hệ quang của ngòi nổ laser lắp cho tên lửa.

- Đề xuất một giải pháp mã hóa chống nhiễu cho ngòi nổ laser của tên lửa phòng không.

- Tiến hành khảo sát và mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink và thực nghiệm trên KIT FPGA Spartan 3E để kiểm chứng. Các kết quả mô phỏng và thực nghiệm đã cho thấy tính đúng đắn của giải pháp chống nhiễu đã đề xuất.

Những đóng góp khoa học mới của luận án:

Đối chiếu với hai bài toán đã đặt ra trong chương 1 cho thấy luận án đã hoàn thành được mục tiêu đề ra, thể hiện qua các điểm:

1. Xây dựng được mô hình hệ quang, bộ công thức tính toán các thông số, khảo sát được sự ảnh hưởng lẫn nhau của các tham số, trên cơ sở đó xây dựng được bộ phần mềm tính toán các tham số quang hình của ngòi nổ laser.

2. Đề xuất được giải pháp chống nhiễu mới cho ngòi nổ laser trên tên lửa phòng không. Với phương pháp đề xuất, luận án đã mô phỏng khảo sát và tiến hành thực nghiệm, thông qua kết quả cho thấy tính khả thi của giải pháp.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án sẽ là:

Mặc dù đã có những cố gắng nhất định, tuy nhiên luận án mới chỉ dừng lại ở việc nghiên cứu dưới dạng lý thuyết và tiến hành mô phỏng trên phần mềm Matlab và thực nghiệm trên KIT FPGA Spartan 3E. Chưa được kiểm chứng trên khí tài thực, do vậy mục tiêu tiếp theo của luận án sau này sẽ là:

- Hiện thực hóa, ứng dụng được kết quả nghiên cứu về phương pháp chống nhiễu vào tên lửa của Việt Nam.

- Hoàn thiện phần mềm tính toán tham số tối ưu cho hệ quang của ngòi nổ laser và thay đổi góc nghiêng của vùng quan sát trong quá trình tên lửa tiếp cận mục tiêu.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1]. Nguyễn Đức Thi, Nguyễn Trường Sơn, Trần Hoài Linh, Trần Xuân Tình - *Nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số quang học đến chất lượng làm việc của ngòi nổ laser*. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số 54, tháng 4/2018. ISSN 1859-1043.
- [2]. Nguyễn Đức Thi, Nguyễn Trường Sơn, Trần Hoài Linh, Trần Xuân Tình, Dương Hoà An - *Nghiên cứu giải pháp nâng cao độ tin cậy cho cảm biến laser của tên lửa phòng không*. Tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Thái Nguyên, số 208, tháng 11/2019. ISSN 1859-2171.
- [3]. Nguyễn Đức Thi, Nguyễn Trường Sơn, Trần Hoài Linh, Trần Xuân Tình - *Tối ưu hoá tham số cho hệ quang ngòi nổ laser*. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số 68, tháng 8/2020. ISSN 1859-1043.
- [4]. Nguyễn Đức Thi, Nguyễn Trường Sơn, Trần Hoài Linh, Trần Xuân Tình, Trần Thuỷ Văn - *Nghiên cứu giải pháp mã hóa chống nhiễu cho ngòi nổ laser của tên lửa phòng không*. Tạp chí KH&CN Đại học Công nghiệp Hà Nội, Tập 56, số 4, tháng 8/2020. ISSN 1859-3585.
- [5]. Nguyễn Đức Thi, Nguyễn Trường Sơn, Trần Hoài Linh, Trần Xuân Tình - *Xây dựng thuật toán xác định tốc độ thay đổi cự ly giữa tên lửa với mục tiêu*. Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, số 69, tháng 10/2020. ISSN 1859-1043.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lê Anh Dũng và các cộng sự. (1999), *Lý thuyết bay và hệ thống điều khiển tên lửa phòng không (tập 1,2,3)*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội.
2. Đàm Hữu Nghị, Phạm Ngọc Văn, Nguyễn Vĩ Thuận, Bùi Quốc Dũng, Lê Thế Trung (2015), *Đạn tên lửa phòng không có điều khiển (tập 2)*, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội.
3. Lê Thế Mậu (2002), “*Xu hướng phát triển của tên lửa phòng không mang vác*”, Tạp chí thông tin chuyên đề Tình hình xu hướng phát triển kỹ thuật quân sự nước ngoài, số 20, Tổng cục Kỹ thuật, Hà Nội.
4. Phòng Thông tin KHCNMT - Tổng cục Kỹ thuật (2002), “*Tên lửa phòng không tăng thấp*”, *Tài liệu tham khảo chuyên đề, số 1*, Hà Nội.
5. Phòng Thông tin Khoa học - Công nghệ - Môi trường (2001), *Thông tin chuyên đề Tình hình xu hướng phát triển kỹ thuật quân sự nước ngoài, số 20*, Tổng cục Kỹ thuật, Hà Nội.
6. https://vi.m.wikipedia.org/wiki/Vympel_R77.
7. VK Arora, Proximity Fuzes Theory and Techniques, 2010.
8. Лебедев В. Н. - “Авиационные боеприпасы” - Москва - Издательство “ВВИА” - 1979.
9. Кренев Г.А, *Асимметричный ответ высокоточному оружию*, Воениздат, Москва, 2006.
10. Лебедько Е. Г, Системы Оптической Локации, 2013.
11. A. Nasser, “*Recent Advancements in Proximity Fuzes Technology*”, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2015.
12. D.Silber, “*Performance of a Pseudorandom Binary Phase Code with Errors and Doppler-Shifted CW*”, IEEE Transaction on Aerospace, 1981.
13. J. Jiang Liu, “*Advanced optical fuzing technology*”, Optical Technologies for Arming, Safing, Fuzing, and Firing, edited by William J. Thomes, Fred M. Dickey, Proc. of SPIE Vol. 5871, 2016.
14. Hanshan LI, Xiaoqian Zhang, “*Laser Echo Characteristics and Detection Probability Calculation on the Space Projectile Proximity Fuze*”, Optik, 2019.

15. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum, “*Applications of Lasers for Tactical Military Operations*”, IEEE, 2017.
16. Ove Steinvall, “*Effects of target shape and reflection on laser radar cross sections*”, Optical Society of America, 2000.
17. Kun Wang, Huimin Chen, “*Analysis on the characteristics of pulsed laser proximity fuze's echo*”, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011.
18. Yan Xiaopeng, LI Ping, “*Study on Detection Techniques for Laser Fuze using Pseudorandom Code*”, Semiconductor Lasers and Applications III, 2007.
19. Wen Zongping, “*A study on laser Pseudorandom Code detection*”, (8358th Institute, 3rd Academy, CASC Tianjin 300192).
20. Wang Wei, Deng Jia-hao, Huang Yan, Yin Jun (School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China), “*Laser Fuze Detection Technique Using the Pseudorandom Code*” [J]; Journal of Beijing Institute of Technology; 2003-06.
21. WEI Su-juan, Deng Jia-hao, Yao Xiu-juan (School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China); “*Study on the Signal Processing Technique of Laser Fuzes*” [J]; Journal of Beijing Institute of Technology; 2005-03.
22. Gong Jimin; “*Proximity fuze phase-modulation by pseudo-random code*” [J]; Acta Armamentarii; 1989-04.
23. Wang Wei, Deng Jia-hao, Huang Yan, Yin Jun (School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China); “*Laser Fuze Detection Technique Using the Pseudorandom Code*” [J]; Journal of Beijing Institute of Technology; 2003-06.
24. Wei Wang, Wei Li, Xiao Tong Song, Tao Yu, “*Application of Monte Carlo method to laser coding detection*”, Applied Optics and Photonics China.
25. Wen Zongpig. “*Study on detection techniques for laser using pseudorandom code*”. Infrared and Laser Engineering, 25(3), 34-40 (1996).
26. Silber D. “*Performance of a Pseudo Random Binary Phase Code With Errors and Doppler-Shifted CW*”. IEEE Trans, Vol. AES-17, No.6, (1981).

27. Xiao Guozhen, Liang Chuanjia, Wang Yumin. "*Pseudorandom sequences and application*". Beijing: National Defence Industry Press, 1985.
28. Xiaopeng Yan, Ping Li, Ruili Jia, Huimin Chen, "*Study on Detection Techniques for Laser Fuze Using Pseudorandom Code*", Photonics Asia 2007, Beijing, China.
29. Holmes J K. "*Coherent spread spectrum systems*". Liang Zhenxing, Cai Kaiji transl. Beijing: National Defence Industry Press, 1991.
30. Lin Kexiang, Wang Yifei. "*Theory and application of pseudorandom code*". Beijing: Posts & Telecom Press, 1978.
31. Wei Guanghui. "*Application of laser technology in military industry*". Beijing: Publishing House of Weapon Industry, 1995.
32. W. C. Ruff, B. L. Stann, Christian M. von der Lippe, "*Ladar Sensor Candidates for a Short Standoff Fuze*", ARL report, (May 19, 1994).
33. K. Aliberti, W. Ruff, H. Shen, P. Newman, M. Giza, W. Sarney, M. Stead, J. Damman, R. Mehandru, and F. Ren, "*Characterization of InGaAs self-mixing detectors for chirp, amplitude-modulated LADAR*", *Laser Radar Technology and Applications IX*, SPIE Vol. 5412, pp. 99-110 (2004).
34. V. B. Nakagawara, R. W. Montgomery, A. Dillard, L. McLin, and C. W. Connor, "*The effects of laser illumination on operational and visual performance of pilots conducting terminal operations*," Tech. Report-DOT/FAA/AM-03/12, Federal Aviation Administration, OK. & Air Force Research Laboratory, TX., 2003.
35. A. V. Jelalian, "*Laser Radar Systems*"-Artech House, Boston, Mass, 1992.
36. J. C. Stover, "*Optical Scattering-Measurements and Analysis*"-McGraw-Hill, New York, 1990.
37. J. C. Leader, "*Analyses and prediction of laser scattering from rough-surface materials*," J. Opt. Soc. Am. 69, 610-628 -1979.
38. Spartan-3E FPGA Family Data Sheet. Xilinx. 2008.
39. Spartan 3E FPGA Starter Kit board. User guide. Xilinx. 2011.
40. Sivanandam, S. N., and S. N. Deepa (2008), "*Genetic algorithms*." In *Introduction to genetic algorithms*, Springer, Berlin, Heidelberg.

41. Arora, Rajesh Kumar (2015), *Optimization algorithms and applications*. CRC Press.
42. Du Ke-Lin, Swamy MNS (2016), *"Search and Optimization by Metaheuristics, Techniques and Algorithms Inspired by Nature*.
43. Herrera, Francisco, Manuel Lozano, and Ana M. Sánchez (2003):. *"A taxonomy for the crossover operator for real-coded genetic algorithms: An experimental study."* International Journal of Intelligent Systems 18, no. 3 309-338.
44. Michalewicz, Zbigniew (2013). *Genetic algorithms + data structures = evolution programs*. Springer Science & Business Media.