
Esercizi di dimensionamento su Equazione Radar

Carta di Blake

Data l'espressione $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{E \cdot F \cdot G}$ si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

A →	$A _{dB} = 10$
B →	$B _{dB} = -5$
C →	$C _{dB} = 2$
D →	$D _{dB} = 4$
E →	$E _{dB} = -23$
F →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
A			
B			
C			
D			
E			
F			
Parziali			
Totale			

Carta di Blake (II)

Data l'espressione $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{E \cdot F \cdot G}$ si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

A →	$A _{dB} = 10$
B →	$B _{dB} = -5$
C →	$C _{dB} = 2$
D →	$D _{dB} = 4$
E →	$E _{dB} = -23$
F →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
A	10		W
B	-5		-
C	2		m ²
D		4	-
E		-23	m ²
F		15	-
Parziali			
Totale			

Carta di Blake (III)

Data l'espressione $P_r = \frac{A \cdot B \cdot C}{E \cdot F \cdot G}$ si convertano in dB tutti i termini.

Ad esempio

A →	$A _{dB} = 10$
B →	$B _{dB} = -5$
C →	$C _{dB} = 2$
D →	$D _{dB} = 4$
E →	$E _{dB} = -23$
F →	$F _{dB} = 15$

si riempia la tabella riportando gli elementi a numeratore nella colonna dB+ e quelli a denominatore nella colonna dB-

Nome parametro	dB+	dB -	Unità di misura
A	10		W
B	-5		-
C	2		m ²
D		4	-
E		-23	m ²
F		15	-
Parziali	7	-4	
Totale	11		dBW

Esercizio (I)

ESERCIZIO

Un radar di avvistamento ad impulsi non codificati ha le seguenti caratteristiche:

- Probabilità di falso allarme pari a 10^{-5} ;
- Banda L con portante $f_{\text{RF}}=2$ GHz;
- Banda utilizzata pari a 1MHz;
- Antenna rettangolare: 12 m dimensione nel piano di azimuth (L_ϕ), 1 m dimensione nel piano di elevazione (L_θ), efficienza pari al 60% (η_a);
- Figura di rumore totale del ricevitore $F_{\text{dB}}=4$ dB;
- PRF=500 Hz;

Esercizio (II)

- Quanto deve valere la potenza di picco del trasmettitore se si desidera avere con tale radar una portata, in chiaro, di 150 Km su un bersaglio di 5 m² (RCS) con rapporto segnale a rumore necessario per le prestazioni richieste pari a SNR=12 dB?

L'equazione radar fornisce:

$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_{\max}^4 K T_0 F B_{IF}}$$

da cui si ottiene

$$P_t = \frac{SNR (4\pi)^3 R_{\max}^4 K T_0 F B_{IF}}{G^2 \lambda^2 \sigma}$$

Esercizio (III)

passiamo quindi a determinare il valore delle diverse grandezze che compaiono nelle precedenti espressioni:

- La lunghezza d'onda λ risulta pari a $\lambda=c/f_{\text{RF}}=3\cdot 10^8 \text{ m/s} / 2 \text{ GHz}= 0.15 \text{ m}$ che riportata in dB è pari a $\lambda_{\text{dB}}=10\log_{10}(\lambda)=-8.24 \text{ dB}$
- La banda del segnale riportata in dB è pari a $B_{\text{dB}}=10\log_{10}(B)=10\log_{10}(10^6)=60\log_{10}(10)= 60 \text{ dB}$
- Il valore del guadagno d'antenna è facilmente calcolabile dai dati forniti:
 $G=(4\pi/\lambda^2)\cdot\eta_a A_g=4\pi/(0.15 \text{ m})^2 \cdot 0.6\cdot 12\text{m}\cdot 1\text{m} \approx 4021 \Rightarrow G_{\text{dB}}=10\log_{10}(G)= 36.04 \text{ dB}$
- Il valore della radar cross section riportato in dB è pari a $\sigma_{\text{dB}}=10\log_{10}(\sigma)= 6.99 \text{ dB}$
- Il valore KT_0 : $(KT_0)_{\text{dBW/Hz}}=10\log_{10}(1.3806505\cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1} \cdot 290\text{K}) \approx -204 \text{ dBW/Hz}$

Esercizio (IV)

A questo punto siamo in grado di valutare la potenza di picco necessaria:

$$\begin{aligned}(P_t)_{dBW} &= SNR_{dB} + 10 \log_{10}((4\pi)^3) + 10 \log_{10}[R_{\max}^4] + (KT_0)_{dBW/Hz} + F_{dB} + B_{dB} - \overset{\text{TX}}{\circlearrowleft} G_{dB} - \overset{\text{RX}}{\circlearrowleft} G_{dB} - 2\lambda_{dB} - \sigma_{dB} = \\ &= SNR_{dB} + 30 \log_{10}(4\pi) + 40 \log_{10}(R_{\max}) + (KT_0)_{dBW/Hz} + F_{dB} + B_{dB} - G_{dB} - G_{dB} - 2\lambda_{dB} - \sigma_{dB} = \\ &= 12dB + 32.98dB + 207.04dB - 204dBW/Hz + 4dB + 60dB - 36.04dB - 36.04dB + 2 \cdot 8.24dB - 6.99dB = \\ &= 49.43dBW\end{aligned}$$

Riportando il valore 49.43dBW in lineare si ottiene la potenza di picco $P_t=87.7$ kW.

$$P_t = 10^{0.1(P_t)_{dBW}} = 8.77 \cdot 10^4 W \Rightarrow P_t = 87.7 kW$$

Esercizio (V)

	dB+	dB-
P_t	$P_{t dBW}$	
G^2	72.08	
λ^2	-16.48	
σ	6.99	
$(4\pi)^3$		32.98
R_{max}^4		207.04
KT_0		-204
F		4
B_{IF}		60
	$P_{t dBW} + 62.59$	100.02
S/N	$P_{t dBW} - 37.43$	



$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_{max}^4 KT_0 FB_{IF}}$$

$$12 = P_{t|dBW} - 37.43$$

$$P_{t|dBW} = 49.43$$

$$P_t = \frac{SNR (4\pi)^3 R_{max}^4 KT_0 FB_{IF}}{G^2 \lambda^2 \sigma}$$

	dB+	dB-
S/N	12	
$(4\pi)^3$	32.98	
R_{max}^4	207.04	
KT_0	-204	
F	4	
B_{IF}	60	
G^2		72.08
λ^2		-16.48
σ		6.99
	112.02	62.59
$P_{t dBW}$	49.43	

Dimensionamento Radar di Ricerca (I)

Si dimensiona un radar di ricerca con le seguenti caratteristiche:

Banda L: 1 GHz

Portata: 400 Km

Velocità massima ± 300 m/s

Risoluzione in azimuth: 1.5°

Antenna: efficienza 0.73, altezza: 4m

Rotazione antenna: 5 giri/minuto

$P_{fa} = 10^{-6}$

$P_d = 0,9$ per bersaglio fisso con RCS = 1 m^2

Potenza di picco TX: $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 1.5 \text{ dB}$

Perdite: $L = 3 \text{ dB}$

Risoluzione in distanza 400 m

Dinamica lineare istantanea 40 dB

Sistemi Radar

Dimensionamento Radar di Ricerca (II)

$$P_{fa} = 10^{-6}$$

$$P_d = 0,9 \text{ per bersaglio fisso con RCS} = 1 \text{ m}^2$$

Bersaglio fisso \rightarrow serve SNR=13 dB

Risoluzione in azimuth: $1,5^\circ$

Apertura del fascio: $1,5^\circ$

$$\text{Dimensione antenna azimuth: } L = \lambda / (1,5/180 * \pi) = 0,3/\pi * 120 = 36/\pi \cong 11 \text{ m}$$

Dimensionamento Radar di Ricerca (III)

Potenza di picco TX: $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$$A_e = 0.73 * 11 * 4 \text{ m}^2 = 32.12 \text{ m}^2 \rightarrow 15 \text{ dB}$$

$$G = 4\pi * A_e / \lambda^2 = 4\pi * 32.12 / (0.3)^2 \rightarrow 11 + 15 - 2 * (5 - 10) \text{ dB} \\ = 26 + 10.5 = 36.5$$

$$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$$

$$\tau_p|_{\text{dB}} = -48 + 13 = -35 \rightarrow 3 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 300 \mu\text{s}$$

	dB+	dB-
P_p	43	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	46.5
	$48 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	13	

Sistemi Radar

Dimensionamento Radar di Ricerca (IV)

Blind range: $= c \tau_p/2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 300 \cdot 10^{-6} / 2 = 45 \text{ Km}$

Risoluzione in distanza 400 m

Con impulso rettangolare:

$$\text{risoluzione in distanza} = c \tau_p/2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 300 \cdot 10^{-6} / 2 = 45 \text{ Km}$$

Quindi serve impulso modulato con

$$\text{Rapporto di compressione} = 45000/400 = 112.5$$

$$\rightarrow \text{banda } B = 112.5 \cdot 1/300 \cdot 10^{-6} = 0.375 \text{ MHz}$$

$$B = c/2 \cdot 1/400 = 3 \cdot 10^8 / 2 / 400 = 0.375 \text{ MHz}$$

Dimensionamento Radar di Ricerca (IV)

Dinamica lineare istantanea 40 dB

Risoluzione 400 m $=k \cdot c / (2B) = 1,4 \cdot 3 \cdot 10^8 / (2 B)$

$k=1,4$ per Hamming $\rightarrow B = 2,1 \cdot 10^8 / 400 = 0,5 \cdot 10^6 = 0,5 \text{ MHz}$

Rapporto di compressione $B\tau_p = 0,5 \text{ MHz} \cdot 300 \mu\text{s} = 150 \mu\text{s}$ Forma d'onda ...

Perdita in SNR di 1 dB \rightarrow aumentare τ_p di 1dB ...

da 300 μs a 400 μs

Blind range: $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 400 \cdot 10^{-6} / 2 = 60 \text{ Km}$

Dimensionamento Radar di Ricerca (V)

Potenza di picco TX: $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{dB} = -47 + 13 = -34 \rightarrow 4 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 400 \mu\text{s}$

	dB+	dB-
P_p	43	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3+1
	$94.5 + \tau_p _{dB}$	47.5
	$47 + \tau_p _{dB}$	
SNR	13	

Sistemi Radar

Dimensionamento Radar di Ricerca (VI)

Potenza di picco TX: $P_p = 20\text{KW}/10 = 2 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -37 + 13 = -24 \rightarrow 4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 4000 \mu\text{s} = 4 \text{ ms}$

Blind range: $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 4000 \cdot 10^{-6} / 2 = 600 \text{ Km}$

Blind range > max range operativo

Sistemi Radar

	dB+	dB-
P_p	33	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3+1
	$84.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$37 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	13	

Dimensionamento Radar di Ricerca (VII)

Per radar bistatico:

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R_R^2 R_T^2 L k T_0 FB} B \tau_p$$

RX attivo anche durante trasmissione (non esiste blind range)

Quale è il limite?

Per antenna in rotazione:

T.o.t = time-on-target = $1,5^\circ / (5 \cdot 360 / 60) = 1,5^\circ / (5 \cdot 6) = 1,5 / 30 = 1 / 20 = 0,05 \text{ s} = 50 \text{ ms}$

Rapporto di compressione potenzialmente molto alto fino a $a = B \cdot \text{T.o.t}$

Per antenna fissa:

T.o.t = time-on-target = virtualmente infinito

(se bersaglio non si muove più della risoluzione in distanza oppure cambia...)

$V_{\max} \cdot \text{T.o.t} < 400\text{m} \rightarrow \text{T.o.t} < 400\text{m} / V_{\max} = 400\text{m} / 300 \text{ m/s} = 1.33 \text{ s}$

Sistemi Radar

Dimensionamento Radar di Ricerca (VIII)

Per radar monostatico:

- Trasmesso un impulso ne possiamo trasmettere altri $N-1$, fino a raggiungere il max T.o.t
- Fra un impulso ed il successivo deve passare tempo a sufficienza per permettere il ritorno dell'eco dal range più lontano.
- Come usiamo insieme tutti gli N impulsi nel T.o.t ?
- Se pensiamo tutta la sequenza di N impulsi come un unico segnale, possiamo fare un filtro adattato a tutta la sequenza.

Rapporto di compressione = $N \cdot$ rapporto di compressione del singolo impulso

Dimensionamento Radar di Ricerca (IX)

Portata: 400 Km

Per non avere ambiguità in range $PRF < c/(2R) = 1/(8/3 \cdot 10^{-3} \text{ s}) = 3000/8 \text{ Hz} \cong 400 \text{ Hz}$

Risoluzione in azimuth: $1,5^\circ$

Rotazione antenna: 5 giri/minuto

Apertura del fascio: $1,5^\circ$

time-on-target = $1,5^\circ / (5 \cdot 360/60) = 1,5^\circ / (5 \cdot 6) = 1,5/30 = 1/20 = 0,05 \text{ s} = 50 \text{ ms}$

N° Impulsi nel time-on-target = $50 \text{ ms} \cdot PRF = 0,05 \cdot 400 = 20$

Bersaglio fisso → serve SNR=13 dB

Assumendo di guadagnare un fattore $N=20$ usando tutti gli $N=20$ impulse,
basta su singolo impulso un SNR= 0 dB

Dimensionamento Radar di Ricerca (X)

Potenza di picco TX: $P_p = 20\text{KW}/10 = 2 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F= 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -37 + 0 = -37 \rightarrow 2 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 200 \mu\text{s}$

Blind range: $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4} / 2 = 30 \text{ Km}$

Sistemi Radar

	dB+	dB-
P_p	33	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3+1
	$84.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$37 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	0	

Dimensionamento Radar di Ricerca (XI)

Potenza di picco TX: $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 1.5 \text{ dB}$

$$SNR = \frac{P_p G A_e \sigma_{av}}{(4\pi)^2 R^4 L kT_0 F B} B \tau_p$$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -47 + 0 = -47 \rightarrow 2 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 20 \mu\text{s}$

Blind range: $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-5} / 2 = 3 \text{ Km}$

Sistemi Radar

	dB+	dB-
P_p	43	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3+1
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$47 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	0	

Dimensionamento Radar di Ricerca (XI)

Potenza di picco TX: $P_p = 20 \text{ KW}$

Figura di rumore: $F = 3 \text{ dB}$

Usando solo $N=5$ impulsi, serve $\text{SNR}=6 \text{ dB}$

$A_e = 15 \text{ dB}$

$G = 36.5 \text{ dB}$

$R = 400 \text{ Km} \rightarrow 56 \text{ dB}$

$\tau_p|_{\text{dB}} = -47 + 6 = -41 \rightarrow 0.8 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 80 \mu\text{s}$

Blind range: $= c \tau_p / 2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 80 \cdot 10^{-6} / 2 = 12 \text{ Km}$

Sistemi Radar

	dB+	dB-
P_p	43	
G	36.5	
A_e	15	
σ	0	
τ_p		
$(4\pi)^2$		22
R^4		224
F		1.5
kT_0		-204
L		3+1
	$94.5 + \tau_p _{\text{dB}}$	47.5
	$47 + \tau_p _{\text{dB}}$	
SNR	6	

Dimensionamento Radar di Ricerca (XII)

Banda L: 1 GHz

Portata: 400 Km

Velocità massima ± 300 m/s

Max Range: $2 R/c = 2 * 400 \cdot 10^3 / 3 \cdot 10^8 = 2,67 \cdot 10^{-3}$ s

Max Doppler: $2V/\lambda = 2V f/c = 2 * 300 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8 = 2000 = 2$ KHz

Range-Doppler Area of interest $= 2 * 2000 * 8/3 \cdot 10^{-3} = 32/3 \cong 10$