

# Сверхширокополосный TEM-рупор для излучения коротких импульсов

С.П.Скулкин

Ток в каждой точке проводника:

$$I(l, \omega) = I_1(l, \omega) \exp(-j\beta l) \quad (1)$$

Вектор излучения (Щелкунова):

$$N_\theta(\theta, \phi) = \cos \phi \cos \theta \cos a [f(\psi_1) - f(\psi_2)] - \sin \theta \sin a [f(\psi_1) + f(\psi_2)] \quad (2)$$

$$N_\phi(\theta, \phi) = -\sin \phi \cos a [f(\psi_1) - f(\psi_2)]$$

$$f(\psi, \omega) = \int_0^L I_1(l, \omega) e^{-j\beta l(1 - \cos \psi)} dl$$

$$\cos \psi_1 = \cos \theta \sin a + \sin \theta \cos a \cos \phi$$

$$\cos \psi_2 = -\cos \theta \sin a + \sin \theta \cos a \cos \phi$$

Расширение импульса:

$$I_1(l, \omega) = I_2(l)$$

$$\bar{f}(\psi, t) = F^{-1} [f(\psi, \omega)] = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j\omega t} f(\psi, \omega) d\omega$$

$$f(\psi, t) = 2\pi I_2 \left\{ \frac{ut}{1 - \cos \psi} \right\}$$

$$t_{max} = \frac{L}{u} (1 - \cos \psi)$$

$$\cos \psi_1 = \sin(a + \theta); \quad \cos \psi_2 = \sin(\theta - a)$$

Максимальная задержка по времени:

$$t_{max}(\theta, 0) = \begin{cases} \frac{L}{u} [1 - \sin(\theta - a)] & \left( -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \right) \\ \frac{L}{u} [1 - \sin(a + \theta)] & \left( \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{3}{2} \pi \right) \end{cases} \quad (4)$$

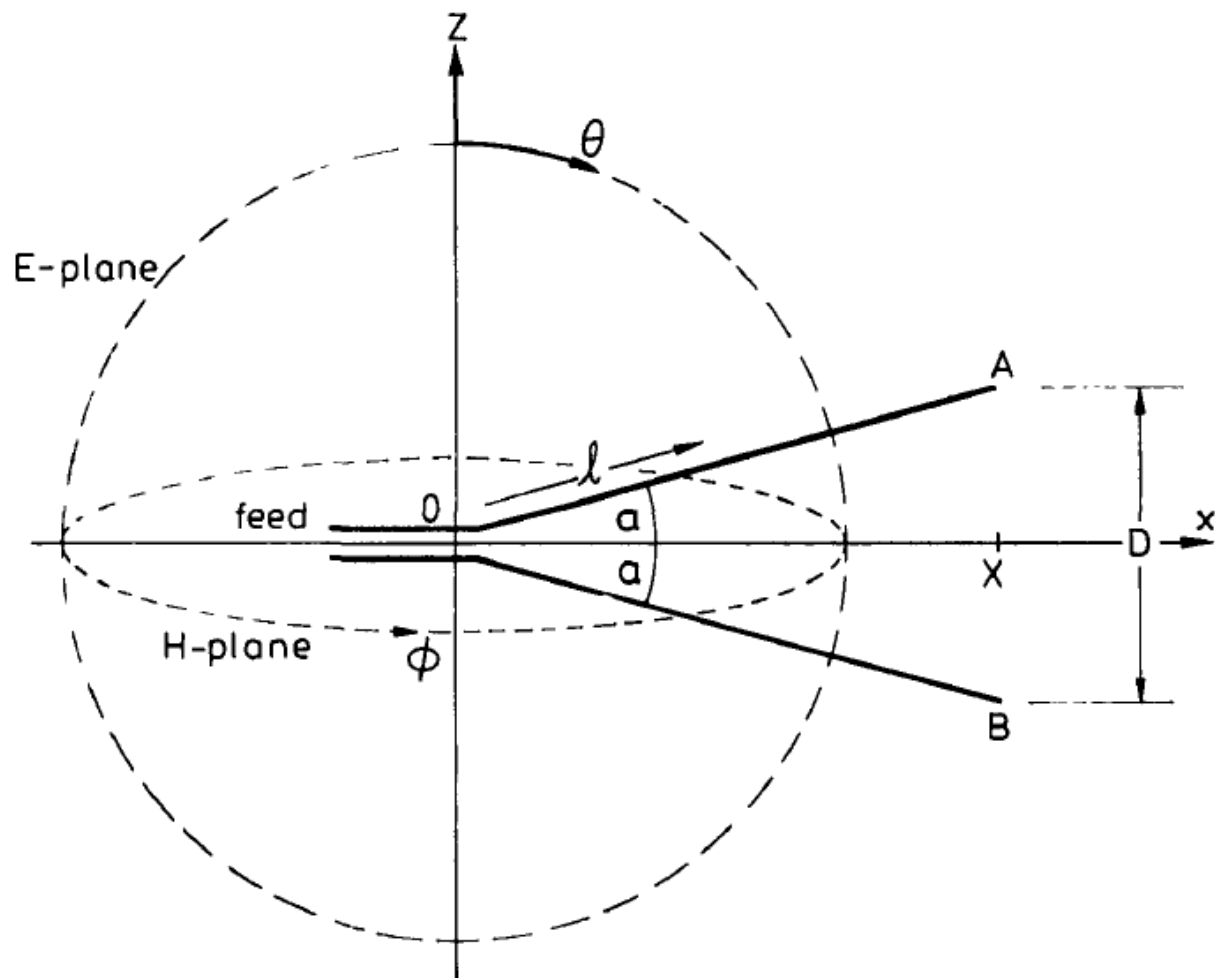


Рисунок 1. – Координаты и размеры для V - диполя

$$\max \{OAP, OBP\} - OP =$$

$$\begin{cases} L [1 - \sin(\theta - a)] & \left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right) \\ L [1 - \sin(\theta + a)] & \left(\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2}\right) \end{cases}$$

$$(\theta = \pi/2, \phi = 0), \cos \psi_1 = \cos \psi_2 = \cos a$$

$$t_{\max}(\psi_1) = t_{\max}(\psi_2) = \frac{L}{u} (1 - \cos a) \quad (5)$$

$$t_{\max}\left(\frac{\pi}{2}, \phi\right) = \frac{L}{u} (1 - \cos a \cos \phi) \quad (6)$$

Направленность антенны можно получить из выражения:

$$\frac{\left[ 4\pi \left| N_{\theta}\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \right|^2 + \left| N_{\phi}\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \right|^2 \right]}{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \left[ \left| N_{\theta}(\theta, \phi) \right|^2 + \left| N_{\phi}(\theta, \phi) \right|^2 \right] \sin \theta \, d\theta \, d\phi}$$

$$N_{\phi}\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) = 0$$

$$N_{\theta}\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) = -2 \sin a f(\psi)$$

$$= -2 \sin a \int_0^L I_1(l, \omega) e^{-j\beta l(1 - \cos a)} \, dl \quad (7)$$

Эквивалентная дина антенны:

$$L' = \int_0^L \left[ \frac{I_1(l)}{I_1(0)} \right] e^{-j\beta l(1 - \cos \alpha)} dl \quad (8)$$

$$g = \frac{\eta_0 (\beta L')^2 \sin^2 \alpha}{\pi R_i} \quad (9)$$

$$A = \frac{\eta_0 L'^2 \sin^2 \alpha}{R_i} = \zeta \left( \frac{\eta_0}{R_i} \right) D^2 \quad (10)$$

Из неравенства Шварца можно получить:

$$\zeta = \frac{L'^2}{L^2} \leq \left| \frac{1}{L^2} \int_0^L \left( \frac{I(l)}{I(0)} \right)^2 dl \int_0^L [e^{-j\beta l(1 - \cos \alpha)}]^2 dl \right. \quad (11)$$

$$\xi \leq \frac{1}{L} \int_0^L \left( \frac{I(l)}{I(0)} \right)^2 dl \leq 1 \quad (12)$$

Поле в направлении главного максимума ДН:

$$E_\theta \left( r, \frac{\pi}{2}, 0 \right) = \frac{j \omega \mu_0}{4\pi r} e^{-j\beta r} N_\theta \left( \frac{\pi}{2}, 0 \right) \quad (13)$$

$$E_\theta \left( r, \frac{\pi}{2}, 0 \right) = - \left( \frac{\mu_0 L' \sin a}{2\pi r} \right) \left( j \omega I_1(l = 0, \omega) \right) e^{-j\beta r} \quad (14)$$



$$E\left(r, \frac{\pi}{2}, 0\right) = - \left( \frac{\mu_0 L' \sin a}{2\pi r} \right) \frac{\partial I_1\left(t - \frac{r}{u}\right)}{\partial t} \Big|_{t=0} \quad (15)$$

Импеданс в  $Z(x)$  в двухпроводной неоднородной линии передачи без потерь:

$$\frac{dZ(x)}{dx} = \frac{j\gamma}{Z_0(x)} [Z_0^2(x) - Z^2(x)] \quad (16)$$

$$R(x) = \frac{Z(x) - Z_0(x)}{Z(x) + Z_0(x)} \quad (17)$$

$$\frac{dR(x)}{dx} + 2\gamma R(x) + [1 - R^2(x)] \frac{1}{2Z_0(x)} \left( \frac{dZ_0(x)}{dx} \right) = 0 \quad (18)$$

Оптимальное изменение характеристического импеданса:

$$\log_e Z(x) = \frac{1}{2} \log_e [Z_0(0)Z_0(X)] + \frac{1}{2} \log_e \left[ \frac{Z_0(X)}{Z_0(0)} \right] G \left( B, \frac{2x}{X} \right) \quad (19)$$

Максимальный коэффициент отражения на входе антенны:

$$|R(0)|_{max} = \tanh \left[ \frac{B}{\sinh B} (0.21723) \sqrt{\left\{ \frac{Z_0(X)}{Z_0(0)} \right\}} \right] \quad (20)$$

$$\beta_{min} X = \sqrt{\{B^2 + 6.523\}} \quad (21)$$

$$\frac{R_{in}}{R_{out}} = \frac{50\Omega}{377\Omega} = \left( \frac{I(l)}{I(0)} \right)^2 \simeq e^{-2}$$

Таблица 1. TWIT77. Характеристический импеданс в зависимости от расстояния и поперечные размеры антенны

$X$	$Z_0$	$a/b$	$a$	$b$
mm	$\Omega$		mm	mm
0	50	0.165	15	91
50	55	0.183	32	177
100	60	0.210	50	237
150	66	0.232	67	289
200	73	0.262	84	322
250	80	0.30	102	339
300	89	0.35	119	345
350	99	0.40	136	341
400	110	0.46	154	334
450	123	0.54	171	314
500	137	0.65	188	290
550	153	0.76	206	271
600	171	0.92	223	243
650	190	1.12	241	215
700	211	1.4	259	184
750	234	1.8	275	156
800	259	2.3	293	129
850	285	2.9	310	106
900	313	4.1	327	80
950	343	6.3	345	55
1000	376	13.0	363	28

$$I(l)/I(0) \simeq e^{-l/L}$$

$$L'^2 < L \int_0^L \left[ \frac{I(l)}{I(0)} \right]^2 dl \simeq 0.43 L^2$$

КИП антенны:  $\zeta = (L'/L)^2 \lesssim 0.43$

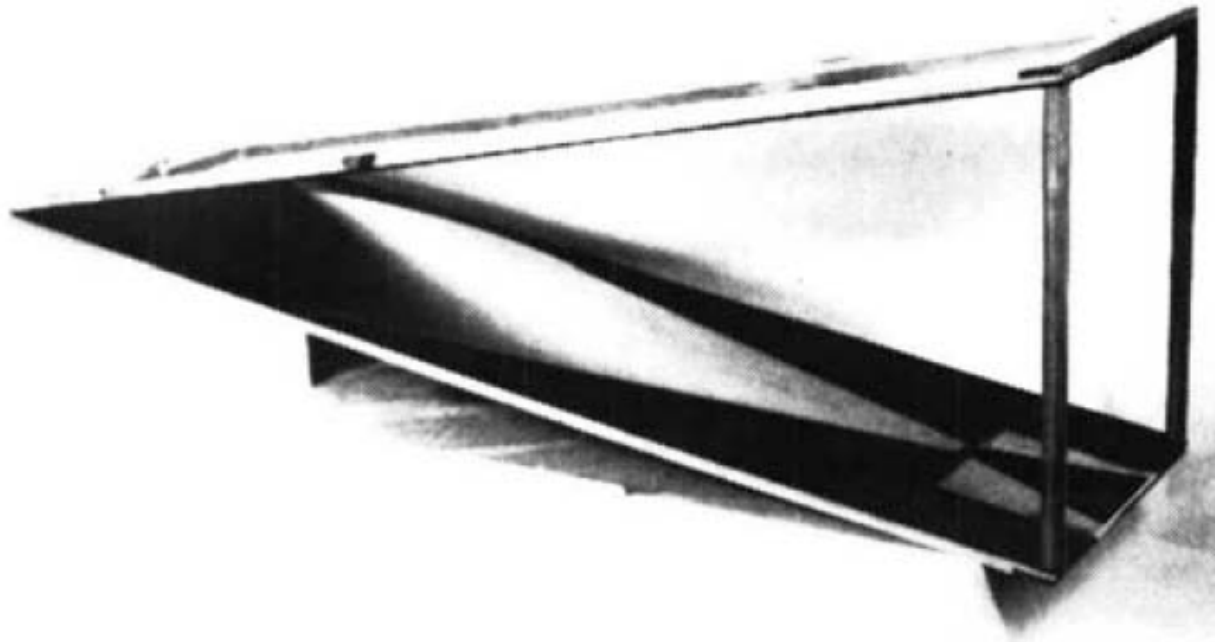


Рисунок 2. – Антенна TWIT 77

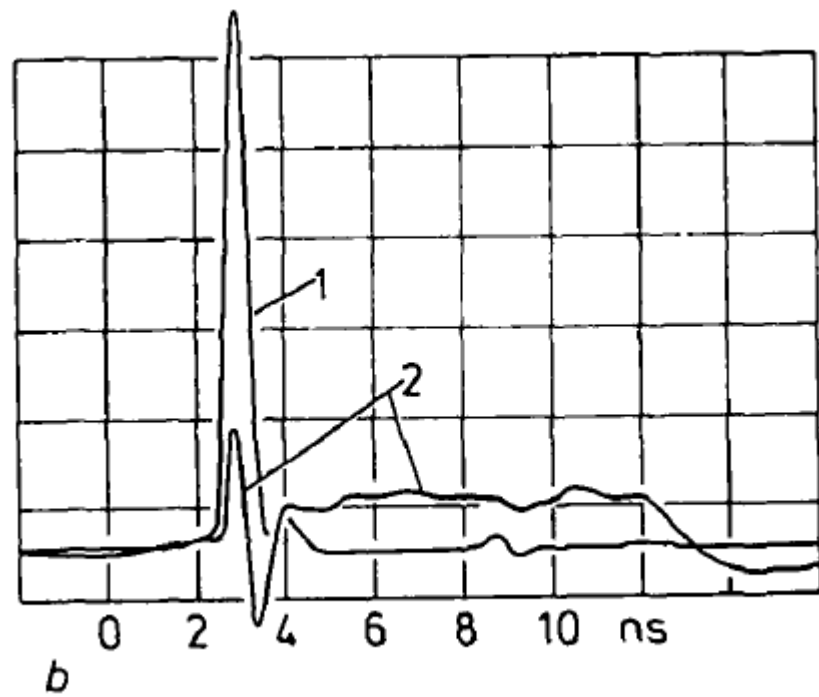
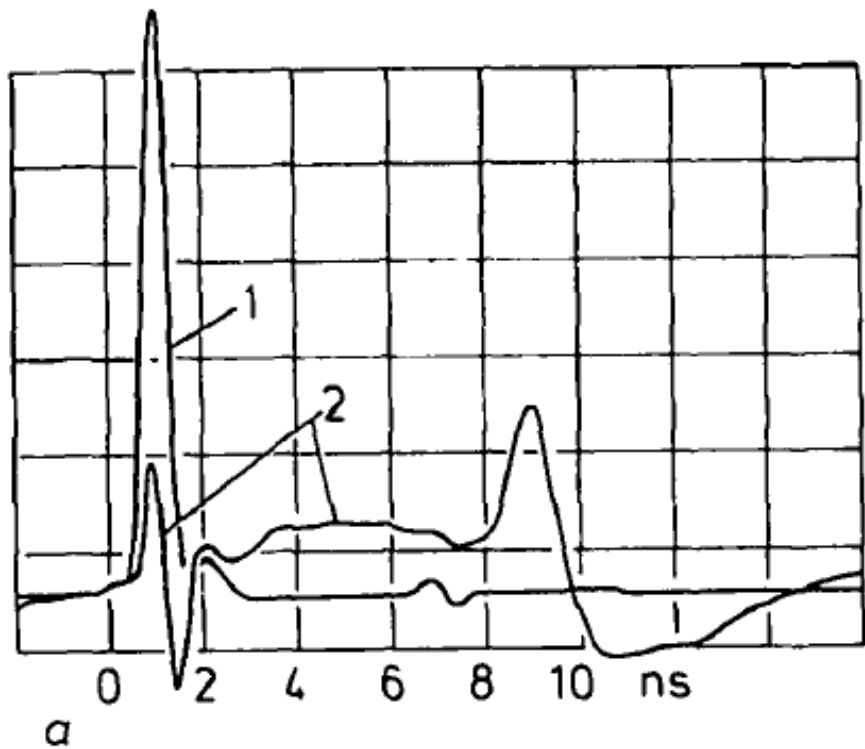


Рисунок 3. а,б– Антенна TWIT 77, форма отраженного сигнала на рефлектометре для разных входных портов антенны

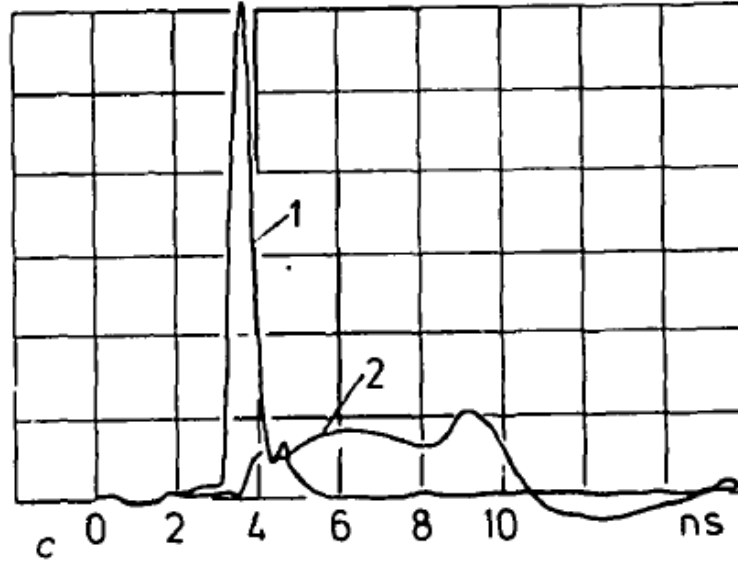


Рисунок 3. с– Антенна TWIT 77, форма отраженного сигнала на рефлектометре для разных входных портов антенны

Таблица 2. TWIT78. Характеристический импеданс в зависимости от расстояния и поперечные размеры антенны

$X$	$Z_0$	$a/b$	$a$	$b$
mm	$\Omega$		mm	mm
0	50	0.165	3	18
35	55	0.183	15	84
70	60	0.210	28	132
105	66	0.232	41	173
140	73	0.262	52	200
175	80	0.30	65	216
210	89	0.35	77	223
245	99	0.40	89	223
280	110	0.46	102	221
315	123	0.54	114	209
350	137	0.65	126	194
385	153	0.76	139	182
420	171	0.92	151	164
455	190	1.12	163	146
490	211	1.4	176	126
525	234	1.8	188	107
560	259	2.3	200	89
595	285	2.9	213	73
630	313	4.1	225	55
665	343	6.3	237	34
700	376	13	250	19

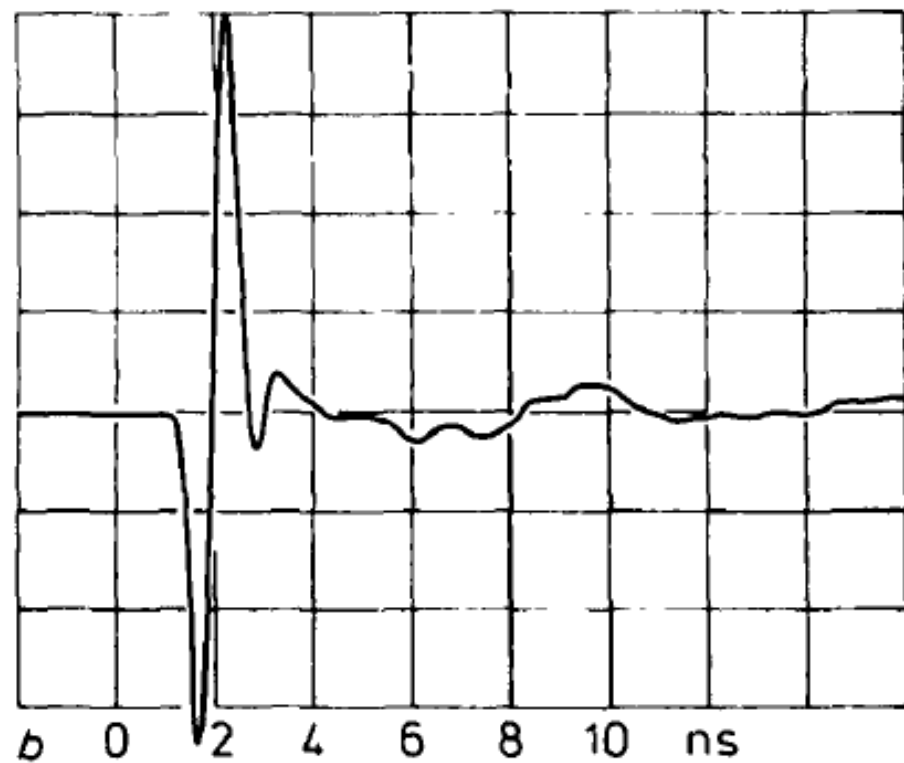
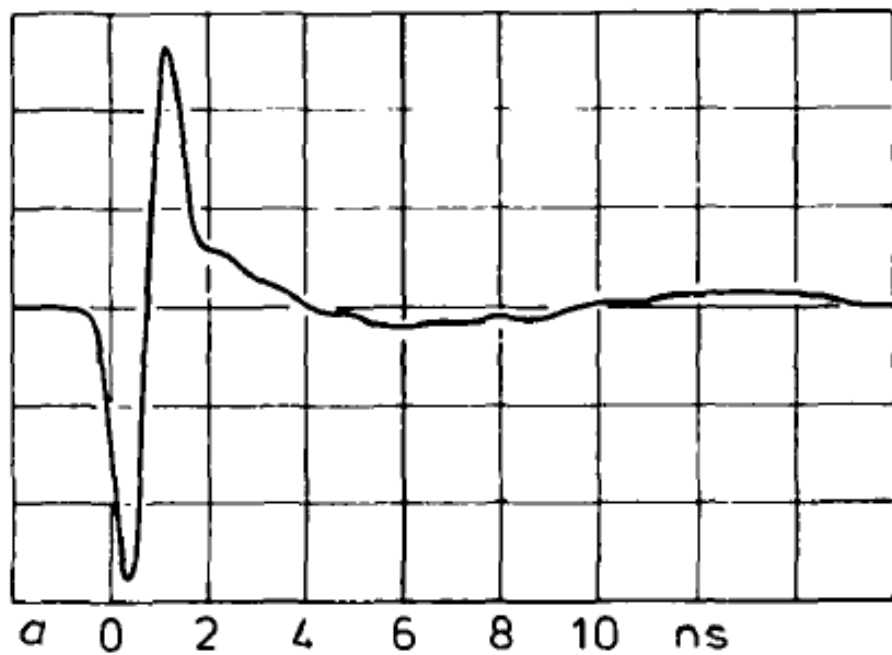


Рисунок 4. а,б– Антенна TWIT 78, форма отраженного сигнала на рефлектометре для разных типов входных портов антенны



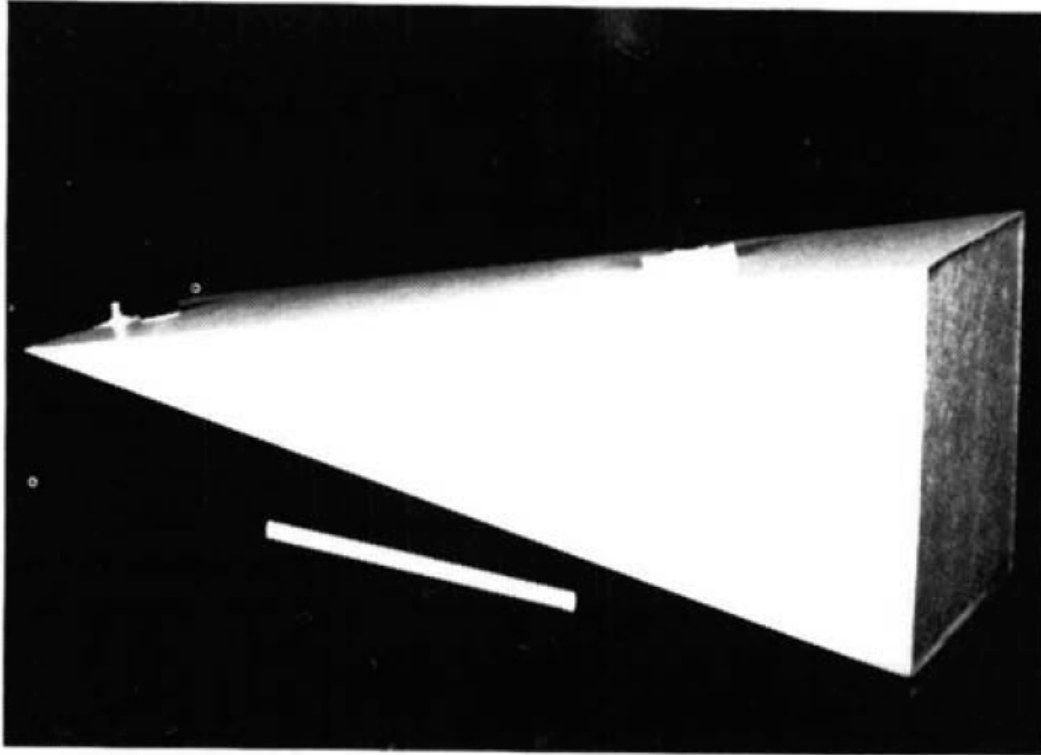


Рисунок 5. – Антенна TWIT 78

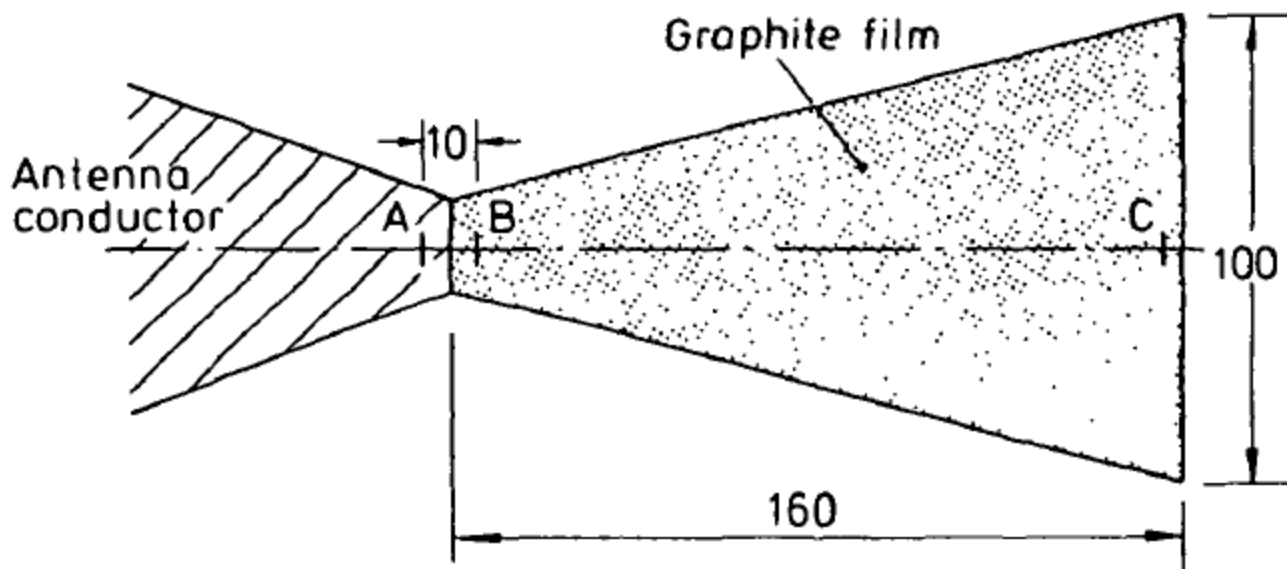


Рисунок 6. Антенна TWIT 78, размеры оконечной резистивной площадки в мм

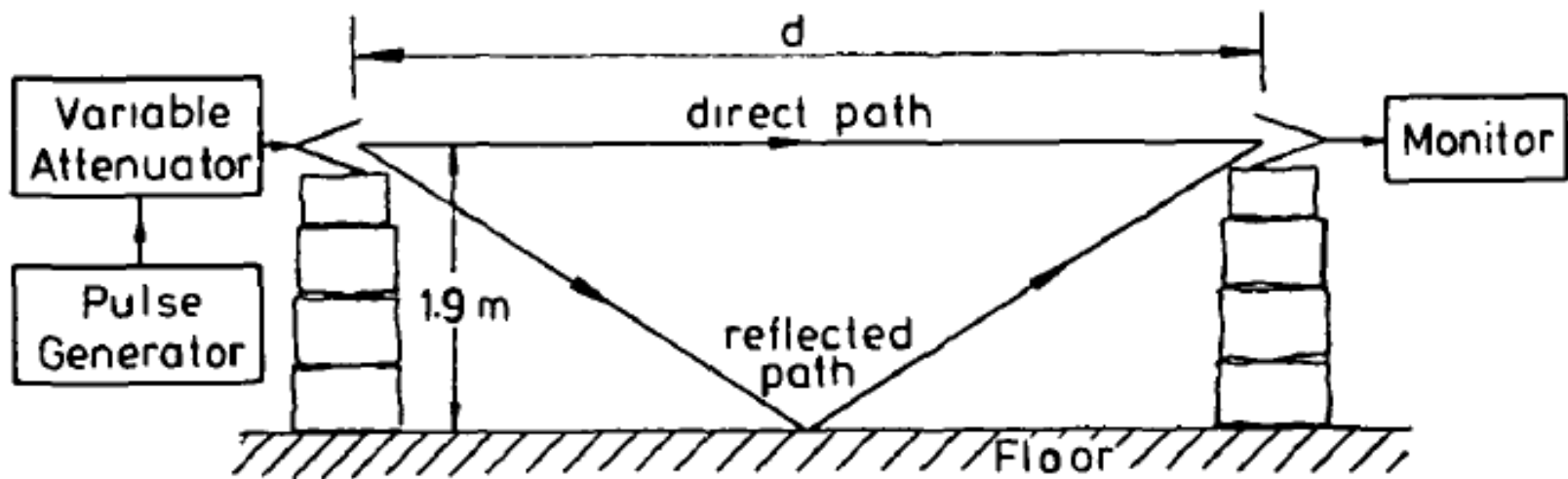


Рисунок 7. Геометрия измерительной системы

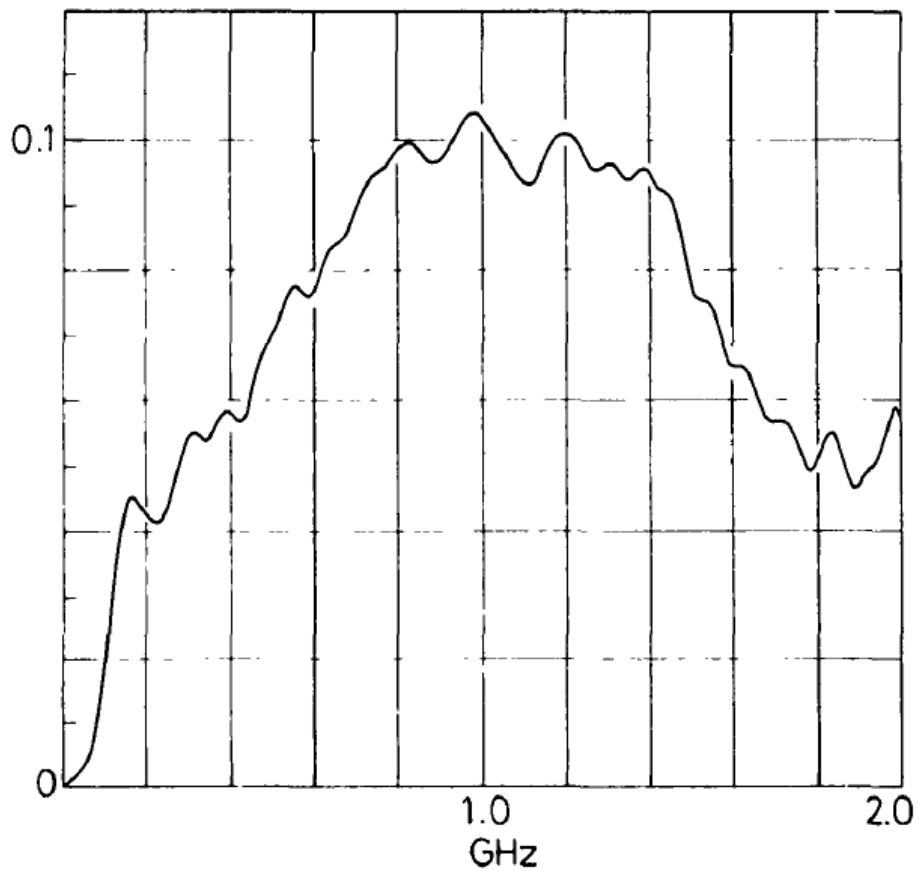


Рисунок 8. Спектр сигнала на выходе второй антенны TWIT78 в случае когда две идентичные антенны расположены на расстоянии 0,6 метра.

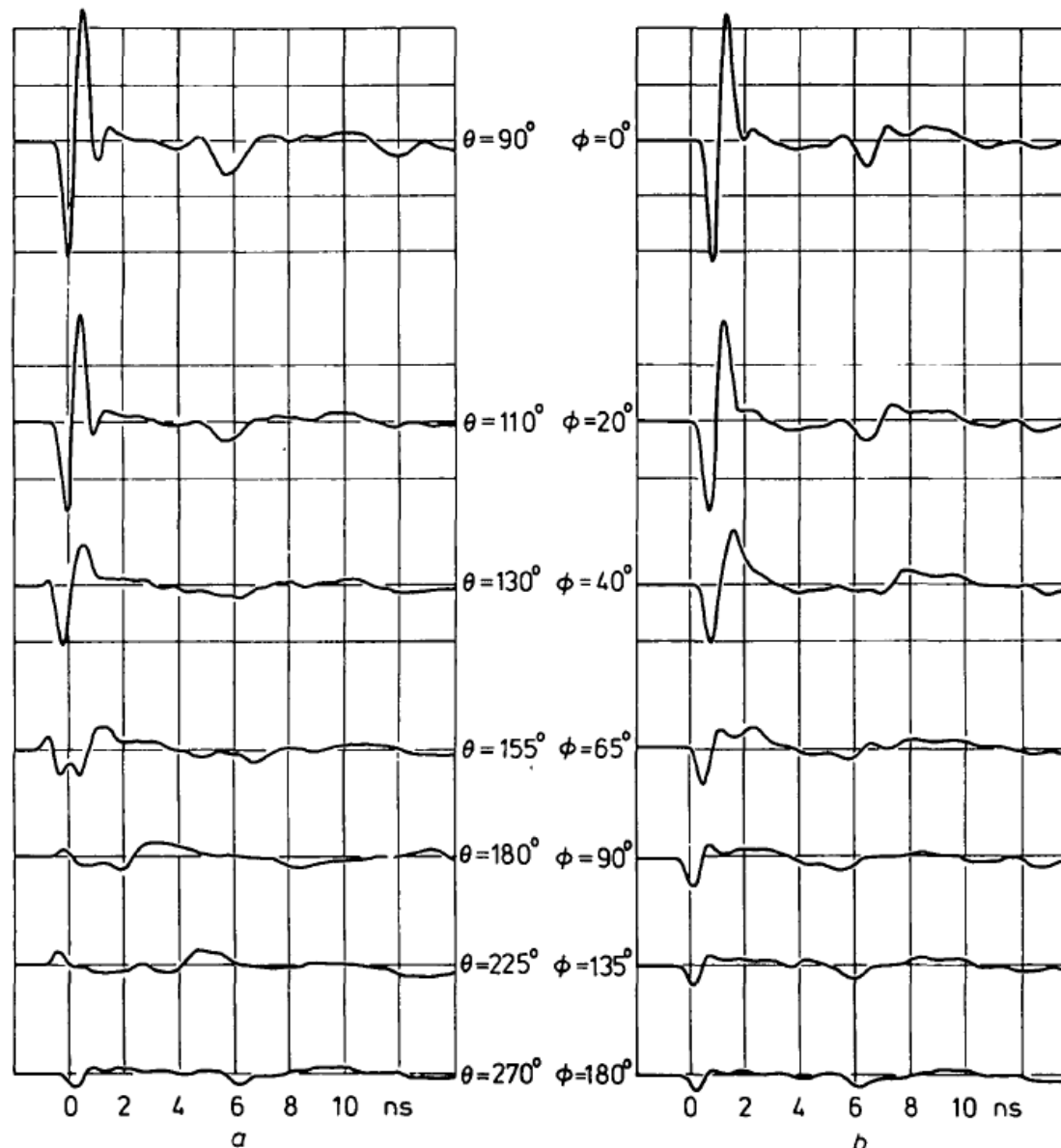


Рисунок 9. Спектр сигнала на выходе второй антенны TWIT78 для разных

УГЛОВ.

(a) E-plane,  $\phi = 0$  and  $\theta = 90^\circ$  to  $270^\circ$   
 (b) H-plane,  $\theta = \pi/2$  and  $\phi = 0^\circ$  to  $180^\circ$

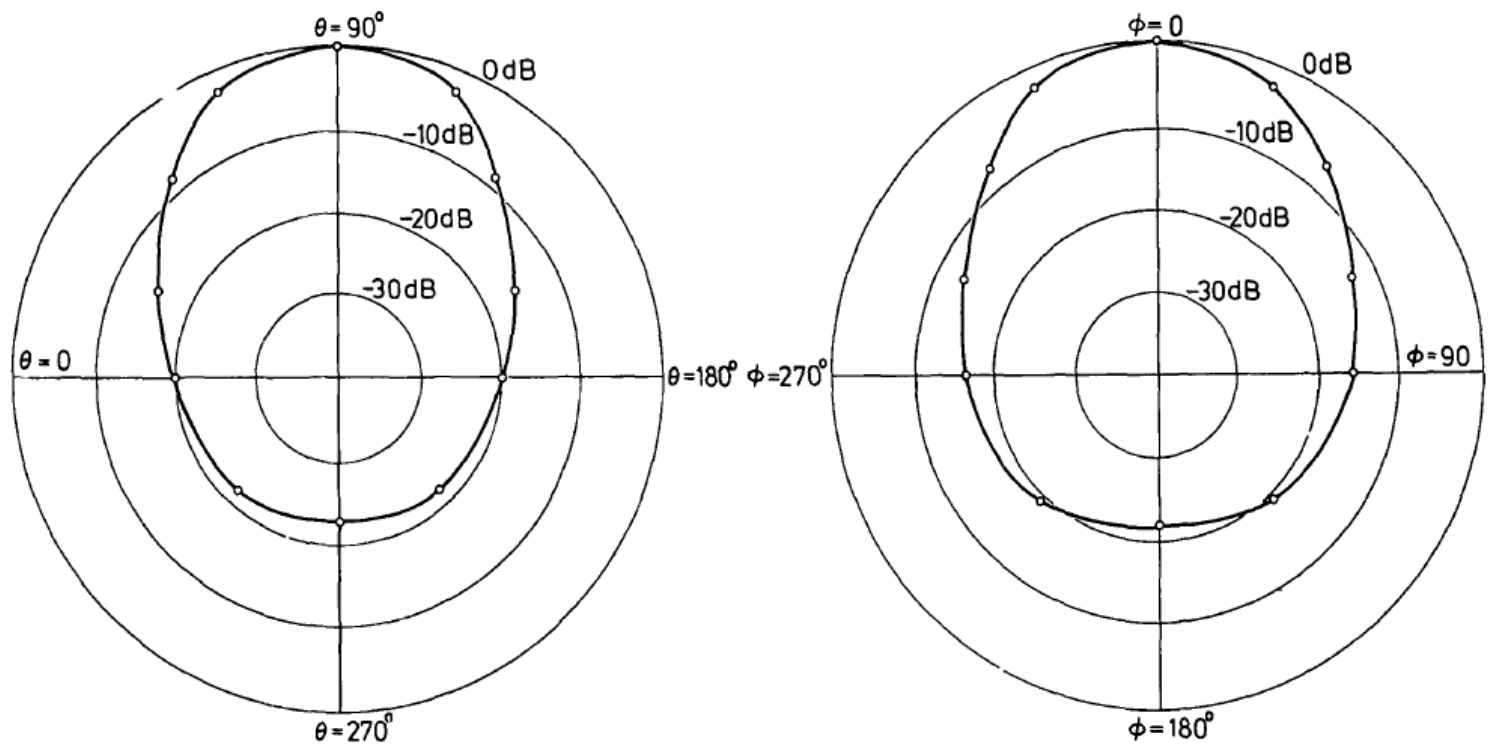


Рисунок 10. ДН антенны TWIT78 в полярных координатах.

Спасибо за внимание