

Sensor and Simulation Notes

Note 301  
22 May 1987

REVIEW OF CHARACTERISTIC IMPEDANCE  
OF TWO CONDUCTOR TRANSMISSION LINES

CLEARED FOR PUBLIC RELEASE

*PL/PA 7 FEB 97*

by

N. Ari

BBC Research Center, Baden, Switzerland

and

D.V. Giri

Pro-Tech, 125 University Ave., Berkeley, CA 94710, U.S.A.

Abstract

The objective of this note is to review the impedance of two conductor transmission lines including TEM cells with the inner septum placed symmetrically and with some vertical offset. The required computer programs were developed and implemented on the computer system at the BBC Research Center. Some example results are presented here in figures and tabular form as well for future reference.

*PL 96-1150*

Sensor and Simulation Notes

Note 301  
22 May 1987

REVIEW OF CHARACTERISTIC IMPEDANCE  
OF TWO CONDUCTOR TRANSMISSION LINES

by

N. Ari

BBC Research Center, Baden, Switzerland

and

D.V. Giri

Pro-Tech, 125 University Ave., Berkeley, CA 94710, U.S.A.

Abstract

The objective of this note is to review the impedance of two conductor transmission lines including TEM cells with the inner septum placed symmetrically and with some vertical offset. The required computer programs were developed and implemented on the computer system at the BBC Research Center. Some example results are presented here in figures and tabular form as well for future reference.

conductors, transmission lines, TEM

## CONTENTS

<u>Section</u>		<u>Page</u>
I.	Introduction	3
II.	Two-Conductor Transmission Lines	5
III.	Numerical Results for the Characteristic Impedance of Symmetric and Vertically Offset TEM Cells	13
IV.	Summary	29
	References	30

## I. Introduction

Two conductor transmission lines used in propagating electromagnetic (EM) waves has many forms. Some examples of such transmission lines are i) two-wire line [1], ii) conventional coaxial lines with one round conductor inside another [1], iii) parallel plate lines [2] and iv) rectangular coaxial lines [3, 4 and 5]. The dominant mode of electromagnetic wave propagation on such transmission line systems is the transverse electromagnetic (TEM) mode. The TEM fields are such that the components along the propagation direction are identically zero and the non-zero components are present in the transverse plane. This fundamental property of the TEM mode permits the following:

- a) the analysis may be carried out in a transverse plane, usually by employing conformal mapping techniques while recognizing that the relative field distribution is the same in all transverse planes
- b) in a practical situation, measurement of the axial components of the electric or the magnetic fields results in the detection of the presence or absence of non-TEM modes.

In addition to the field distribution, the TEM mode is also characterized by its impedance,  $Z_c$  which is the ratio of voltage and current corresponding to TEM fields. This impedance  $Z_c$  is a function of the constitutive parameters ( $\sigma$ ,  $\epsilon$ ,  $\mu$ ) of the transmission medium and the geometrical parameters of the transmission line, as expressed below

$$Z_c = \frac{1}{\eta f_g} \quad (1)$$

where

$Z_c \equiv$  characteristic impedance of the TEM mode ( $\Omega$ )

$\eta \equiv$  characteristic impedance of the medium ( $\Omega$ )

$$= \sqrt{\mu/\epsilon} = \sqrt{(\mu_0\mu_r)/(\epsilon_0\epsilon_r)}$$

$$= \eta_0 \sqrt{\mu_r/\epsilon_r}$$

$f_g \equiv$  geometrical factor for the impedance

It is observed that equation (1) simplifies to

$$Z_c = \eta_0 f_g \tag{2}$$

for the case of free space medium with  $\eta_0 \approx 377\Omega$ .

The present interest is in the impedances of rectangular coaxial transmission lines (TEM cells) with vertically offset inner conductor. Strictly speaking, the expressions used here [3 and 5] apply to the central parallel section of a conventional TEM cell with tapered lines on either side. However, if the tapered lines are long ( $\sim$  angles of  $20^\circ$  or less), the same expressions can be used to yield results within a few percent accuracy.

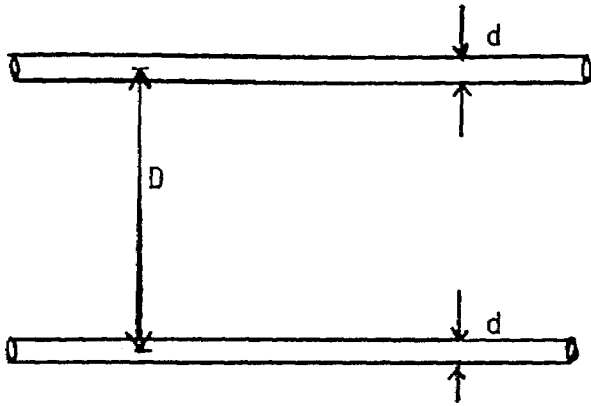
In Section II, we have listed the two-conductor transmission lines considered in this review, along with impedance expressions available in the literature. Section III presents the numerical results for the case of symmetric and vertically offset TEM cells.

## II. Two-Conductor Transmission Lines

The object of this section is to list commonly used two-conductor transmission lines and review their impedance characteristics. The transmission lines considered are:

- 1) two wire line of equal radii [1]
- 2) two wire line of unequal radii [6]
- 3) single wire above a ground plane [1]
- 4) coaxial cable [1]
- 5) eccentric coaxial cable [7]
- 6) parallel strip line [6]
- 7) parallel plate line [2]
- 8) single wire in a square enclosure [6]
- 9) single wire in a trough [6]
- 10) two wires enclosed by a circular shield [6]
- 11) two wires enclosed by a rectangular shield [6]
- 12) two wires in a trough [6]
- 13) symmetric TEM cell [3, 5]
- 14) vertically offset TEM cell [3, 5]

The impedance expressions listed are for free space medium. For other simple dielectric media with  $\mu_r = 1$ , the impedance expressions should be divided by  $\sqrt{\epsilon_r}$ .

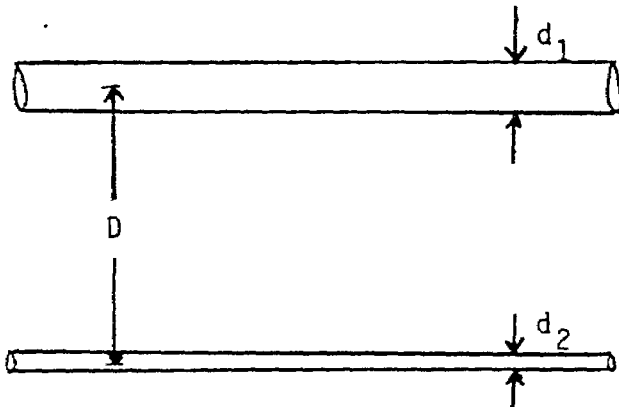


$$Z_c = 120 \cosh^{-1}\left(\frac{D}{d}\right)$$

$$\approx 120 \ln\left(\frac{2D}{d}\right)$$

(if  $D \gg d$ )

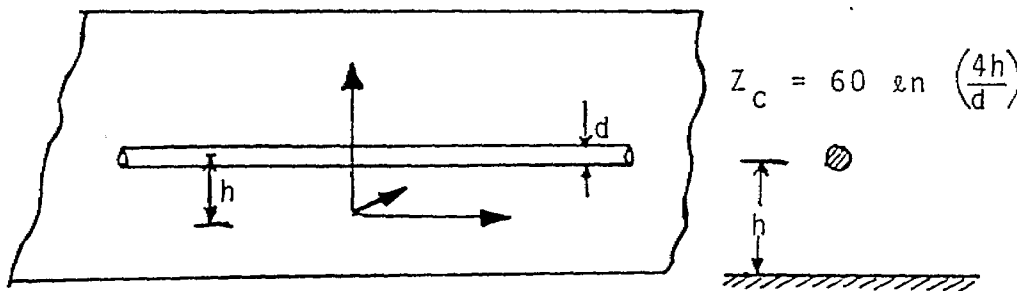
Figure 1. Balanced two wire line with equal radii



$$Z_c = 60 \cosh^{-1}(N)$$

$$N = \frac{1}{2} \left[ \frac{4D^2}{d_1 d_2} - \frac{d_1}{d_2} - \frac{d_2}{d_1} \right]$$

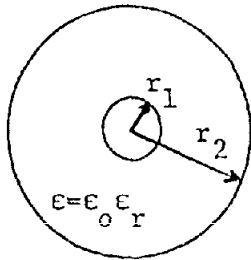
Figure 2. Balanced two wire line with unequal radii



$$Z_c = 60 \ln\left(\frac{4h}{d}\right)$$

Figure 3. Single wire above a ground plane

Figure 4. Coaxial Cable

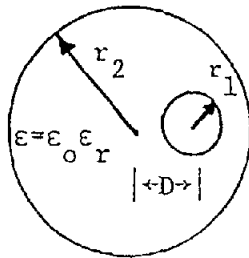


Line Parameters

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right) \quad ; \quad C' = 2\pi\epsilon / \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)$$

$$\tilde{Y}_c = \frac{s}{v} = \frac{s\sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad ; \quad \tilde{Z}_c \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)$$

Figure 5. Eccentric Coaxial Cable



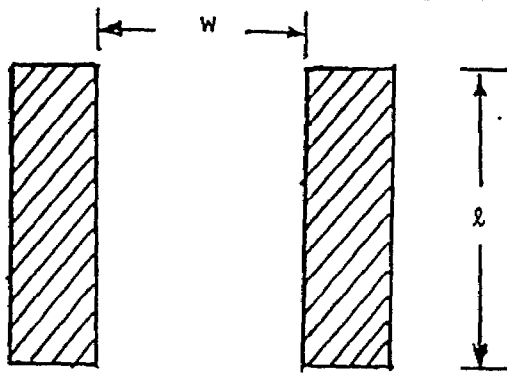
Line Parameters

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \cosh^{-1} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2 - D^2}{2r_1 r_2} \right) \quad ; \quad C' = 2\pi\epsilon / \left[ \cosh^{-1} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2 - D^2}{2r_1 r_2} \right) \right]$$

$$\tilde{Y}_c = \frac{s}{v} = \frac{s\sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad ; \quad \tilde{Z}_c \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cosh^{-1} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2 - D^2}{2r_1 r_2} \right)$$

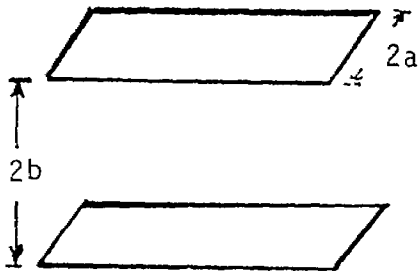
Note: For  $D \rightarrow 0$  ,  $\cosh^{-1} \left( \frac{r_1^2 + r_2^2}{2r_1 r_2} \right) \approx \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)$





for  $(w/l) < 0.1$   
 $Z_c \approx 377 \left( \frac{w}{l} \right)$

Figure 6. Parallel - strip line

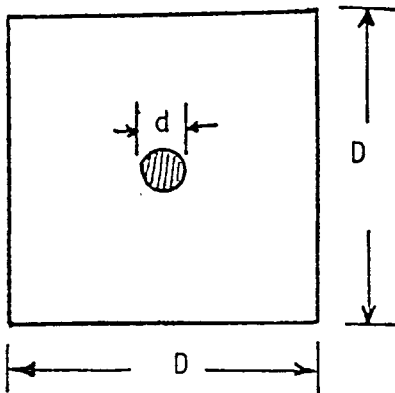


Note

The reader is referred to reference [2] for the expressions for the impedance. The accompanying table of impedances is excerpted from [2] by Baum, Giri & Gonzalez.

Figure 7. Parallel plate line

b/a	$Z_c \quad \Omega$ (free space)
0.1667	50.240
0.4068	99.961
0.5	115.439
0.7	143.927
0.9	167.595
1.0	178.058
1.23526	199.896
1.6	227.859
2.0	252.848
2.5	278.407
3.0	299.593
6.99	399.722



$$\Delta = D/d$$

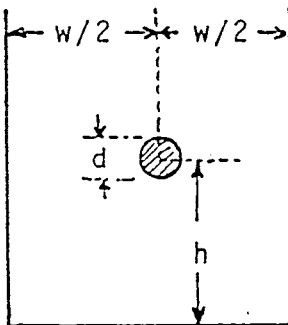
$$A = (1 + 0.405 \Delta^{-4}) / (1 - 0.405 \Delta^{-4})$$

$$B = (1 + 0.163 \Delta^{-8}) / (1 - 0.163 \Delta^{-8})$$

$$C = (1 + 0.067 \Delta^{-12}) / (1 - 0.067 \Delta^{-12})$$

$$Z_c \cong [60 \ln (\Delta) + 6.48 - 2.34 A - 0.48 B - 0.12C]$$

Figure 8. Single wire in a square enclosure



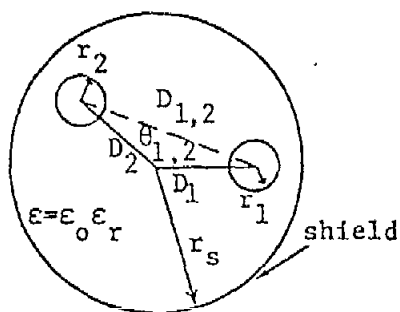
For  $d \ll h$

$d \ll w$

$$Z_c = 60 \ln \left[ \frac{4w \tanh (\pi h/w)}{\pi d} \right]$$

Figure 9. Single wire in a trough

Figure 10. Two Wires Enclosed by a Circular Shield



Assumption:

$r_1 \ll D_{1,2}, (r_s - D_1)$ , i.e., the conductors are separated sufficiently from each other and the shield as well.

Line Parameters

$$(L'_{i,j}) = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

$$\left[ \begin{array}{l} \ln \left( \frac{r_s^2 - D_1^2}{r_s r_1} \right) \quad \ln \left\{ \frac{D_1}{r_s \sqrt{\frac{(D_1 D_2)^2 + r_s^4 - 2D_1 D_2 r_s^2 \cos(\theta_{12})}{(D_1 D_2)^2 + D_1^4 - 2D_2 D_1^3 \cos(\theta_{12})}}} \right\} \\ \ln \left\{ \frac{D_1}{r_s \sqrt{\frac{(D_2 D_1)^2 + r_s^4 - 2D_2 D_1 r_s^2 \cos(\theta_{12})}{(D_2 D_1)^2 + D_1^4 - 2D_2 D_1^3 \cos(\theta_{12})}}} \right\} \quad \ln \left( \frac{r_s^2 - D_2^2}{r_s r_2} \right) \\ \ln \left( \frac{r_s^2 - D_2^2}{r_s r_2} \right) \quad -\ln \left\{ \frac{D_1}{r_s \sqrt{\frac{(D_1 D_2)^2 + r_s^4 - 2D_1 D_2 r_s^2 \cos(\theta_{12})}{(D_1 D_2)^2 + D_1^4 - 2D_2 D_1^3 \cos(\theta_{12})}}} \right\} \\ -\ln \left\{ \frac{D_1}{r_s \sqrt{\frac{(D_1 D_2)^2 + r_s^4 - 2D_1 D_2 r_s^2 \cos(\theta_{12})}{(D_1 D_2)^2 + D_1^4 - 2D_2 D_1^3 \cos(\theta_{12})}}} \right\} \quad \ln \left( \frac{r_s^2 - D_1^2}{r_s r_1} \right) \end{array} \right]$$

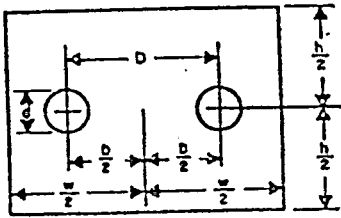
$$(C'_{i,j}) = \frac{2\pi\epsilon}{\Delta}$$

where

$$\Delta = \ln \left( \frac{r_s^2 - D_1^2}{r_s r_1} \right) \ln \left( \frac{r_s^2 - D_2^2}{r_s r_2} \right) - \ln^2 \left\{ \frac{D_1}{r_s \sqrt{\frac{(D_1 D_2)^2 + r_s^4 - 2D_1 D_2 r_s^2 \cos(\theta_{12})}{(D_1 D_2)^2 + D_1^4 - 2D_2 D_1^3 \cos(\theta_{12})}}} \right\}$$

$$(\tilde{Y}'_{c,i,j}) = \frac{s\sqrt{\epsilon_r}}{c} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} ; \quad \text{with } c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$(\tilde{Z}'_{c,i,j}) = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} (L'_{i,j})$$



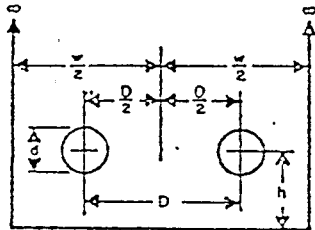
For  $d \ll D, w, h,$

$$Z_0 = (276/\epsilon^{1/2}) \left[ \log_{10} \left( \frac{4h \tanh(\pi D/2h)}{\pi d} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \log_{10} \left( \frac{1+u_n^2}{1-v_n^2} \right) \right]$$

where

$$u_n = \frac{\sinh(\pi D/2h)}{\cosh(n\pi w/2h)} \quad v_n = \frac{\sinh(\pi D/2h)}{\sinh(n\pi w/2h)}$$

Figure 11. Two wires enclosed by a rectangular shield



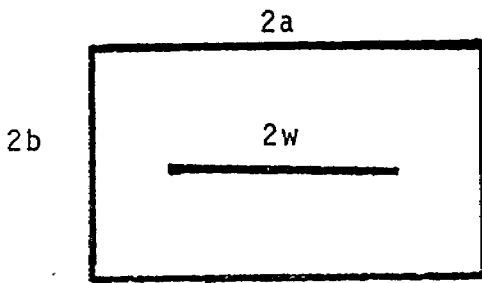
For  $d \ll D, w, h,$

$$Z_0 = (276/\epsilon^{1/2}) \log_{10} [2w/\pi d (A^{1/2})]$$

where

$$A = \operatorname{cosec}^2(\pi D/w) + \operatorname{cosech}^2(2\pi h/w)$$

Figure 12. Two wires enclosed by a trough



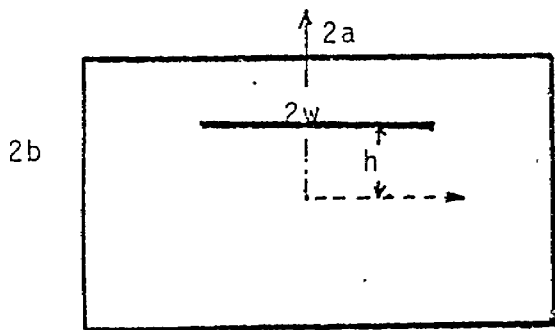
$$\left(\frac{Z_c}{\eta}\right) = \frac{K(\alpha)}{K(\alpha')}$$

$$\alpha = \operatorname{sn}\left(\frac{w}{b} K(k') | k\right)$$

$$\text{where } \frac{K(k)}{K(k')} = \frac{a}{b}$$

$$\alpha' = \sqrt{1 - \alpha^2}; \quad k' = \sqrt{1 - k^2}$$

Figure 13. Symmetric TEM cell [3]



$$\frac{Z_c}{\eta} = \frac{[K'(\beta)(1 - \beta^2 A_1) + 2A_1 E'(\beta)]}{4[K(\beta)\{1 + A_1(2 - \beta^2)\} - 2A_1 E(\beta)]}$$

$$\text{where } \beta = \sin(\pi w/2a)$$

$$A_1 = \left[ \frac{\cosh\left(\frac{\pi b}{a}\right) - \cosh\left(\frac{\pi h}{a}\right)}{\operatorname{sinh}\left(\frac{\pi b}{a}\right)} - 1 \right]$$

Figure 14. Vertically offset TEM cell [5]

$$K'(\beta) = K(\beta_1)$$

$$E'(\beta) = E(\beta_1)$$

$$\beta_1 = \sqrt{1 - \beta^2}$$

### III. Numerical Results for the Characteristic Impedance of Symmetric and Vertically Offset TEM Cells

The two cases of symmetric (figure 13) and vertically offset (figure 14) are considered in this section for numerical results. The expressions from references [3 and 5] are programmed on the computer system at the BBC Research Center. The required complete elliptic integrals and elliptic functions were evaluated with subroutines developed on the basis of equations in [8].

The results of the symmetric case are presented in figures 15 and 16 with accompanying Tables 1 and 2. For the case of vertically offset cell, vertically offsets of  $h/b = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$  and  $0.9$  are presented in this paper in figures 17, 18, 19, 20 and 21. For these four figures, the results are also tabulated in accompanying Tables 3, 4, 5, 6 and 7.

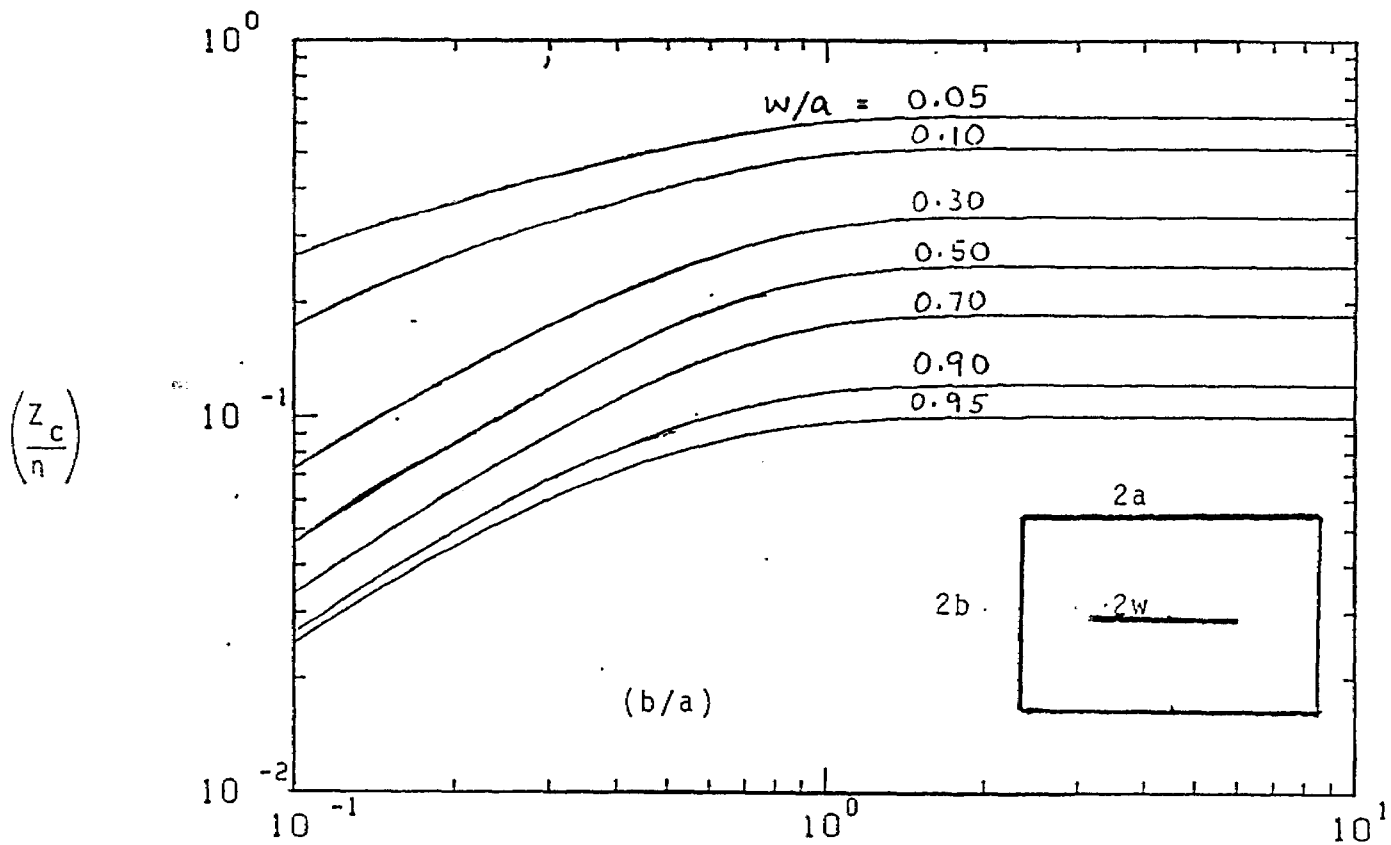


Figure 15. Characteristic impedance of the dominant TEM mode in a symmetrical rectangular coaxial line (tabulated in the next page)

TABLE 1. Normalized characteristic impedance ( $Z_c/\eta$ ) of a symmetric cell (plotted in Figure 15)

$b/a \backslash w/a$	0.05	0.10	0.30	0.50	0.70	0.90	0.95
0.1000	0.2666	0.1735	0.0726	0.0459	0.0336	0.0264	0.0248
0.1122	0.2835	0.1877	0.0803	0.0510	0.0374	0.0294	0.0275
0.1259	0.3006	0.2024	0.0885	0.0567	0.0417	0.0327	0.0305
0.1413	0.3180	0.2177	0.0975	0.0628	0.0463	0.0363	0.0337
0.1585	0.3355	0.2335	0.1071	0.0695	0.0514	0.0402	0.0371
0.1778	0.3532	0.2497	0.1175	0.0769	0.0571	0.0445	0.0408
0.1995	0.3710	0.2662	0.1285	0.0848	0.0632	0.0490	0.0447
0.2239	0.3889	0.2831	0.1403	0.0934	0.0699	0.0539	0.0488
0.2512	0.4069	0.3003	0.1528	0.1028	0.0771	0.0590	0.0531
0.2813	0.4250	0.3176	0.1660	0.1127	0.0848	0.0643	0.0574
0.3162	0.4431	0.3351	0.1798	0.1233	0.0930	0.0698	0.0618
0.3549	0.4612	0.3527	0.1941	0.1345	0.1016	0.0754	0.0663
0.3981	0.4792	0.3704	0.2089	0.1462	0.1105	0.0810	0.0706
0.4467	0.4971	0.3880	0.2239	0.1583	0.1196	0.0865	0.0748
0.5012	0.5147	0.4053	0.2390	0.1704	0.1286	0.0918	0.0788
0.5623	0.5318	0.4222	0.2539	0.1824	0.1375	0.0968	0.0825
0.6310	0.5481	0.4383	0.2683	0.1941	0.1460	0.1015	0.0859
0.7079	0.5633	0.4533	0.2817	0.2050	0.1539	0.1057	0.0889
0.7943	0.5770	0.4669	0.2940	0.2150	0.1609	0.1094	0.0916
0.8913	0.5890	0.4788	0.3047	0.2237	0.1671	0.1125	0.0938
1.0000	0.5992	0.4888	0.3138	0.2310	0.1722	0.1150	0.0955
1.1220	0.6073	0.4969	0.3211	0.2369	0.1763	0.1170	0.0969
1.2589	0.6135	0.5031	0.3266	0.2414	0.1794	0.1186	0.0980
1.4125	0.6181	0.5076	0.3307	0.2447	0.1816	0.1196	0.0987
1.5849	0.6211	0.5106	0.3334	0.2469	0.1831	0.1204	0.0992
1.7783	0.6231	0.5126	0.3352	0.2483	0.1841	0.1208	0.0995
1.9953	0.6243	0.5137	0.3363	0.2491	0.1847	0.1211	0.0997
2.2387	0.6249	0.5143	0.3368	0.2496	0.1850	0.1213	0.0998
2.5119	0.6252	0.5147	0.3371	0.2498	0.1852	0.1213	0.0999
2.8184	0.6254	0.5148	0.3373	0.2499	0.1852	0.1214	0.0999
3.1623	0.6254	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
3.5481	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
3.9811	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
4.4668	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
5.0119	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
5.6234	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
6.3096	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
7.0795	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
7.9433	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
8.9125	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999
10.0000	0.6255	0.5149	0.3373	0.2500	0.1853	0.1214	0.0999



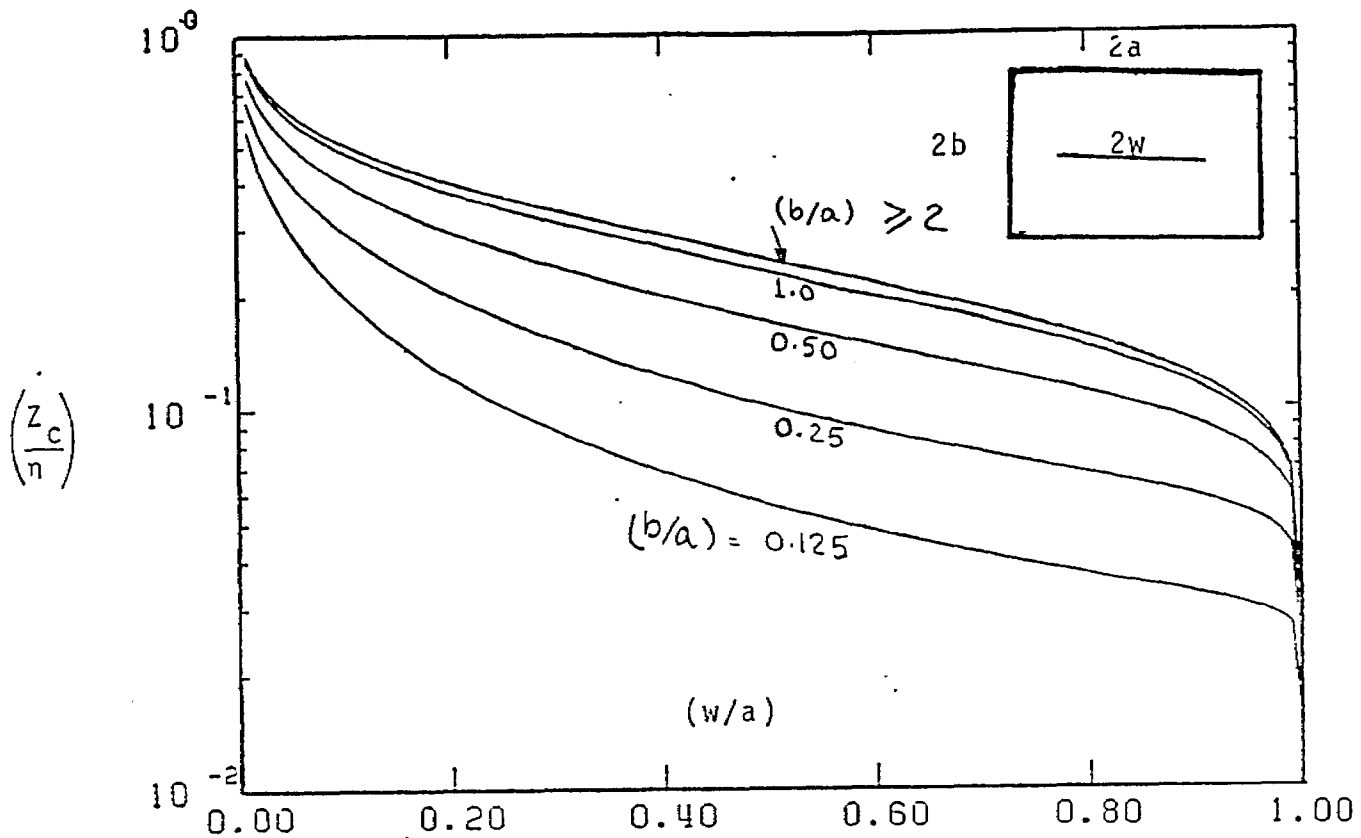


Figure 16. TEM impedance of a symmetric cell (tabulated below)

TABLE 2. Normalized impedance of a symmetric cell (plotted above)

$(b/a) \backslash (w/a)$	0.125	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
0.0100	0.5510	0.6611	0.7702	0.8553	0.8805	0.8817	0.8817
0.0200	0.4413	0.5510	0.6599	0.7450	0.7702	0.7714	0.7714
0.0300	0.3777	0.4867	0.5955	0.6805	0.7056	0.7068	0.7068
0.0400	0.3333	0.4413	0.5498	0.6347	0.6598	0.6610	0.6610
0.0500	0.2995	0.4062	0.5144	0.5992	0.6243	0.6255	0.6255
0.0600	0.2725	0.3777	0.4855	0.5701	0.5952	0.5964	0.5964
0.0700	0.2503	0.3539	0.4611	0.5456	0.5707	0.5718	0.5718
0.0800	0.2315	0.3333	0.4400	0.5244	0.5494	0.5505	0.5505
0.0900	0.2154	0.3154	0.4215	0.5056	0.5306	0.5317	0.5317
0.1000	0.2015	0.2995	0.4050	0.4888	0.5137	0.5149	0.5149
0.1100	0.1893	0.2853	0.3900	0.4737	0.4985	0.4997	0.4997
0.1200	0.1784	0.2725	0.3765	0.4598	0.4846	0.4857	0.4857
0.1300	0.1688	0.2609	0.3640	0.4471	0.4718	0.4729	0.4729
0.1400	0.1601	0.2503	0.3526	0.4353	0.4599	0.4610	0.4610
0.1500	0.1523	0.2405	0.3419	0.4243	0.4488	0.4500	0.4500
0.1600	0.1452	0.2315	0.3320	0.4140	0.4384	0.4396	0.4396
0.1700	0.1388	0.2232	0.3227	0.4044	0.4287	0.4298	0.4298
0.1800	0.1329	0.2154	0.3140	0.3953	0.4195	0.4206	0.4206
0.1900	0.1275	0.2082	0.3058	0.3867	0.4107	0.4119	0.4119
0.2000	0.1225	0.2015	0.2981	0.3785	0.4025	0.4036	0.4036

TABLE 2 (continued)

b/a \ w/a	0.125	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
0.2100	0.1179	0.1952	0.2908	0.3707	0.3946	0.3957	0.3957
0.2200	0.1136	0.1893	0.2839	0.3633	0.3870	0.3881	0.3881
0.2300	0.1096	0.1837	0.2773	0.3562	0.3798	0.3809	0.3809
0.2400	0.1059	0.1784	0.2710	0.3494	0.3729	0.3740	0.3740
0.2500	0.1024	0.1735	0.2650	0.3429	0.3662	0.3673	0.3673
0.2600	0.0992	0.1688	0.2593	0.3366	0.3596	0.3609	0.3609
0.2700	0.0961	0.1643	0.2538	0.3308	0.3536	0.3547	0.3547
0.2800	0.0932	0.1601	0.2486	0.3248	0.3476	0.3487	0.3487
0.2900	0.0905	0.1561	0.2436	0.3192	0.3419	0.3429	0.3429
0.3000	0.0880	0.1523	0.2387	0.3138	0.3363	0.3373	0.3373
0.3100	0.0856	0.1487	0.2341	0.3085	0.3308	0.3319	0.3319
0.3200	0.0833	0.1452	0.2296	0.3034	0.3256	0.3266	0.3266
0.3300	0.0811	0.1419	0.2253	0.2985	0.3205	0.3215	0.3215
0.3400	0.0791	0.1388	0.2212	0.2937	0.3155	0.3165	0.3165
0.3500	0.0771	0.1358	0.2172	0.2891	0.3106	0.3116	0.3116
0.3600	0.0753	0.1329	0.2133	0.2845	0.3059	0.3069	0.3069
0.3700	0.0735	0.1301	0.2096	0.2801	0.3013	0.3023	0.3023
0.3800	0.0718	0.1275	0.2060	0.2758	0.2968	0.2978	0.2978
0.3900	0.0702	0.1249	0.2025	0.2716	0.2924	0.2933	0.2933
0.4000	0.0687	0.1225	0.1991	0.2675	0.2880	0.2890	0.2890
0.4100	0.0672	0.1201	0.1958	0.2635	0.2838	0.2848	0.2848
0.4200	0.0658	0.1178	0.1927	0.2596	0.2797	0.2806	0.2806
0.4300	0.0644	0.1156	0.1896	0.2558	0.2759	0.2769	0.2769
0.4400	0.0631	0.1135	0.1866	0.2520	0.2717	0.2728	0.2728
0.4500	0.0619	0.1115	0.1836	0.2484	0.2677	0.2687	0.2687
0.4600	0.0607	0.1096	0.1808	0.2448	0.2639	0.2648	0.2648
0.4700	0.0595	0.1077	0.1780	0.2412	0.2601	0.2610	0.2610
0.4800	0.0584	0.1058	0.1753	0.2378	0.2564	0.2573	0.2573
0.4900	0.0573	0.1041	0.1727	0.2344	0.2528	0.2537	0.2537
0.5000	0.0563	0.1024	0.1702	0.2310	0.2491	0.2500	0.2500
0.5100	0.0553	0.1007	0.1677	0.2277	0.2456	0.2464	0.2464
0.5200	0.0543	0.0991	0.1652	0.2245	0.2421	0.2429	0.2429
0.5300	0.0534	0.0975	0.1628	0.2213	0.2386	0.2395	0.2395
0.5400	0.0525	0.0960	0.1605	0.2181	0.2352	0.2360	0.2360
0.5500	0.0516	0.0946	0.1582	0.2150	0.2319	0.2328	0.2328
0.5600	0.0508	0.0932	0.1560	0.2120	0.2285	0.2293	0.2293
0.5700	0.0500	0.0918	0.1538	0.2089	0.2252	0.2260	0.2260
0.5800	0.0492	0.0904	0.1517	0.2060	0.2220	0.2227	0.2227
0.5900	0.0484	0.0891	0.1496	0.2030	0.2187	0.2195	0.2195
0.6000	0.0477	0.0879	0.1475	0.2001	0.2155	0.2163	0.2163
0.6100	0.0470	0.0866	0.1455	0.1974	0.2124	0.2131	0.2131
0.6200	0.0463	0.0854	0.1435	0.1943	0.2092	0.2099	0.2099
0.6300	0.0456	0.0842	0.1415	0.1915	0.2061	0.2068	0.2068
0.6400	0.0450	0.0831	0.1395	0.1887	0.2030	0.2036	0.2036
0.6500	0.0443	0.0820	0.1377	0.1859	0.1999	0.2005	0.2005
0.6600	0.0437	0.0809	0.1358	0.1831	0.1968	0.1975	0.1975
0.6700	0.0431	0.0798	0.1339	0.1804	0.1938	0.1944	0.1944
0.6800	0.0425	0.0788	0.1321	0.1776	0.1907	0.1914	0.1914
0.6900	0.0419	0.0778	0.1303	0.1747	0.1877	0.1883	0.1883
0.7000	0.0414	0.0768	0.1285	0.1722	0.1847	0.1853	0.1853
0.7100	0.0408	0.0758	0.1267	0.1695	0.1817	0.1822	0.1822
0.7200	0.0403	0.0748	0.1249	0.1668	0.1787	0.1792	0.1792
0.7300	0.0398	0.0739	0.1231	0.1641	0.1757	0.1762	0.1762
0.7400	0.0393	0.0730	0.1214	0.1614	0.1727	0.1732	0.1732
0.7500	0.0388	0.0721	0.1196	0.1587	0.1696	0.1702	0.1702
0.7600	0.0383	0.0712	0.1179	0.1560	0.1666	0.1671	0.1671
0.7700	0.0379	0.0703	0.1161	0.1533	0.1636	0.1641	0.1641
0.7800	0.0374	0.0694	0.1144	0.1505	0.1606	0.1610	0.1610
0.7900	0.0370	0.0685	0.1127	0.1478	0.1575	0.1580	0.1580
0.8000	0.0365	0.0677	0.1109	0.1450	0.1544	0.1549	0.1549
0.8100	0.0361	0.0669	0.1091	0.1422	0.1513	0.1517	0.1517
0.8200	0.0357	0.0661	0.1073	0.1394	0.1482	0.1486	0.1486
0.8300	0.0353	0.0651	0.1055	0.1366	0.1450	0.1454	0.1454
0.8400	0.0349	0.0642	0.1037	0.1337	0.1418	0.1422	0.1422
0.8500	0.0345	0.0634	0.1018	0.1308	0.1385	0.1389	0.1389
0.8600	0.0341	0.0625	0.0999	0.1278	0.1352	0.1356	0.1356
0.8700	0.0337	0.0616	0.0979	0.1247	0.1318	0.1322	0.1322
0.8800	0.0333	0.0607	0.0959	0.1216	0.1284	0.1287	0.1287
0.8900	0.0329	0.0597	0.0939	0.1184	0.1248	0.1251	0.1251
0.9000	0.0325	0.0588	0.0917	0.1150	0.1211	0.1214	0.1214
0.9100	0.0321	0.0577	0.0894	0.1116	0.1173	0.1175	0.1175
0.9200	0.0317	0.0567	0.0870	0.1079	0.1133	0.1135	0.1135
0.9300	0.0312	0.0555	0.0845	0.1041	0.1091	0.1093	0.1093
0.9400	0.0308	0.0543	0.0817	0.1000	0.1048	0.1048	0.1048
0.9500	0.0303	0.0529	0.0787	0.0955	0.0997	0.0999	0.0999
0.9600	0.0297	0.0513	0.0753	0.0906	0.0944	0.0946	0.0946
0.9700	0.0290	0.0494	0.0714	0.0850	0.0883	0.0884	0.0884
0.9800	0.0282	0.0470	0.0665	0.0781	0.0809	0.0810	0.0810
0.9900	0.0268	0.0434	0.0595	0.0686	0.0708	0.0709	0.0709
1.0000	0.0147	0.0188	0.0211	0.0278	0.0224	0.0224	0.0224

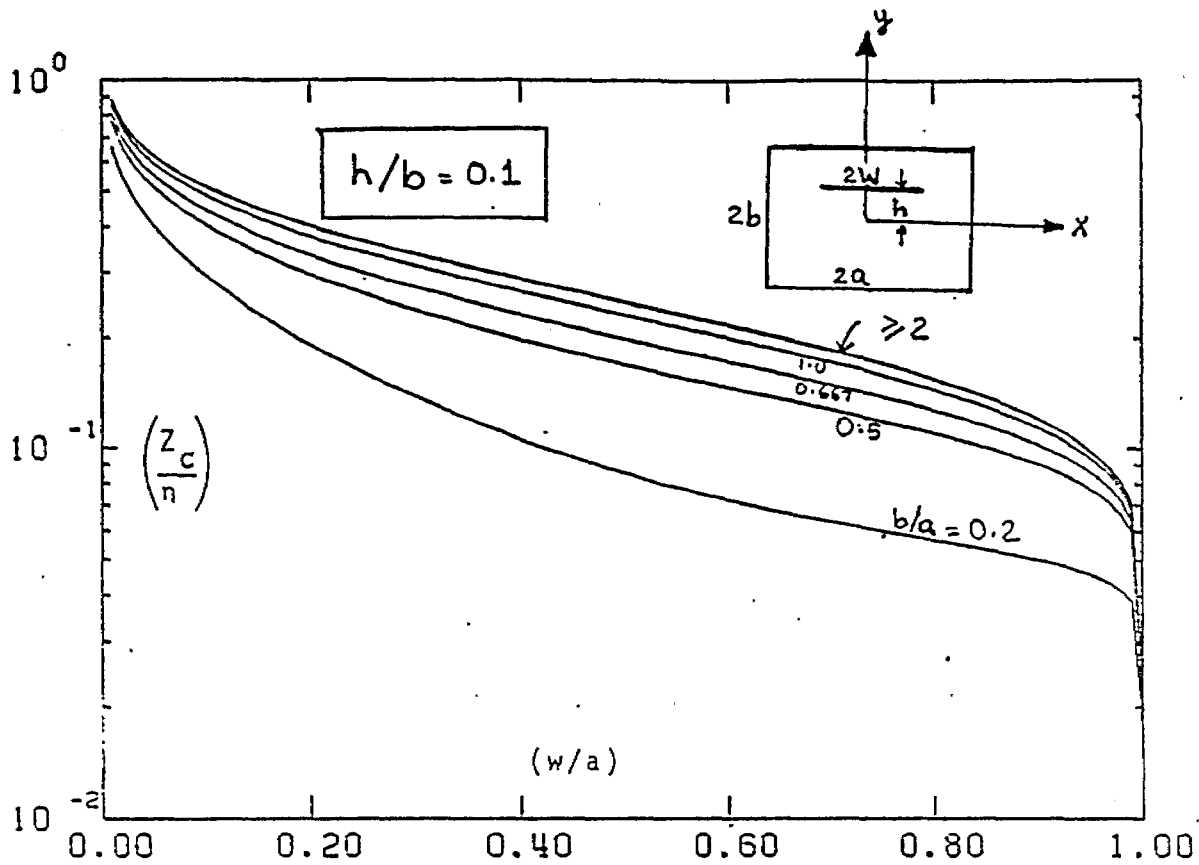


Figure 17. TEM impedance of a vertically offset cell (tabulated below) ( $h/b = 0.1$ )

TABLE 3. Normalized impedance of a vertically offset cell

$b/a \backslash w/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.0100	0.6593	0.7704	0.8102	0.8540	0.8803	0.8817	0.8817
0.0200	0.5491	0.6601	0.6999	0.7436	0.7699	0.7714	0.7714
0.0300	0.4847	0.5957	0.6354	0.6791	0.7054	0.7068	0.7068
0.0400	0.4390	0.5500	0.5897	0.6333	0.6596	0.6610	0.6610
0.0500	0.4037	0.5145	0.5542	0.5978	0.6240	0.6255	0.6255
0.0600	0.3750	0.4856	0.5252	0.5688	0.5950	0.5964	0.5964
0.0700	0.3508	0.4612	0.5008	0.5443	0.5704	0.5718	0.5718
0.0800	0.3299	0.4401	0.4796	0.5230	0.5491	0.5505	0.5505
0.0900	0.3115	0.4216	0.4610	0.5043	0.5303	0.5317	0.5317
0.1000	0.2952	0.4050	0.4443	0.4875	0.5135	0.5149	0.5149
0.1100	0.2805	0.3900	0.4292	0.4723	0.4983	0.4997	0.4997
0.1200	0.2672	0.3764	0.4155	0.4585	0.4843	0.4857	0.4857
0.1300	0.2551	0.3639	0.4029	0.4458	0.4715	0.4729	0.4729
0.1400	0.2439	0.3524	0.3913	0.4340	0.4596	0.4610	0.4610
0.1500	0.2336	0.3417	0.3804	0.4230	0.4486	0.4500	0.4500
0.1600	0.2241	0.3318	0.3703	0.4127	0.4382	0.4396	0.4396
0.1700	0.2152	0.3225	0.3608	0.4031	0.4284	0.4298	0.4298
0.1800	0.2069	0.3137	0.3519	0.3940	0.4192	0.4206	0.4206
0.1900	0.1991	0.3055	0.3435	0.3854	0.4105	0.4119	0.4119
0.2000	0.1918	0.2977	0.3356	0.3772	0.4022	0.4036	0.4036
0.2100	0.1850	0.2903	0.3280	0.3694	0.3943	0.3957	0.3957
0.2200	0.1785	0.2833	0.3208	0.3620	0.3868	0.3881	0.3881
0.2300	0.1724	0.2767	0.3140	0.3549	0.3796	0.3809	0.3809
0.2400	0.1667	0.2704	0.3074	0.3482	0.3726	0.3740	0.3740
0.2500	0.1612	0.2643	0.3012	0.3416	0.3660	0.3673	0.3673

TABLE 3 (continued)

$\frac{b/a}{w/a}$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.2600	0.1561	0.2585	0.2952	0.3354	0.3596	0.3609	0.3609
0.2700	0.1512	0.2530	0.2894	0.3294	0.3534	0.3547	0.3547
0.2800	0.1466	0.2477	0.2839	0.3236	0.3474	0.3487	0.3487
0.2900	0.1422	0.2427	0.2786	0.3180	0.3416	0.3429	0.3429
0.3000	0.1380	0.2378	0.2734	0.3126	0.3361	0.3373	0.3373
0.3100	0.1340	0.2331	0.2685	0.3073	0.3306	0.3319	0.3319
0.3200	0.1302	0.2286	0.2637	0.3022	0.3254	0.3266	0.3266
0.3300	0.1266	0.2243	0.2591	0.2973	0.3202	0.3215	0.3215
0.3400	0.1232	0.2201	0.2547	0.2925	0.3153	0.3165	0.3165
0.3500	0.1199	0.2161	0.2503	0.2879	0.3104	0.3116	0.3116
0.3600	0.1168	0.2122	0.2462	0.2834	0.3057	0.3069	0.3069
0.3700	0.1139	0.2085	0.2421	0.2790	0.3011	0.3023	0.3023
0.3800	0.1110	0.2048	0.2382	0.2747	0.2966	0.2978	0.2978
0.3900	0.1083	0.2013	0.2343	0.2705	0.2922	0.2933	0.2933
0.4000	0.1057	0.1979	0.2306	0.2664	0.2879	0.2890	0.2890
0.4100	0.1033	0.1946	0.2270	0.2624	0.2836	0.2848	0.2848
0.4200	0.1009	0.1914	0.2235	0.2585	0.2795	0.2806	0.2806
0.4300	0.0986	0.1883	0.2200	0.2547	0.2754	0.2766	0.2766
0.4400	0.0965	0.1853	0.2167	0.2510	0.2715	0.2726	0.2726
0.4500	0.0944	0.1824	0.2134	0.2473	0.2676	0.2687	0.2687
0.4600	0.0925	0.1795	0.2102	0.2437	0.2637	0.2648	0.2648
0.4700	0.0906	0.1768	0.2071	0.2402	0.2599	0.2610	0.2610
0.4800	0.0888	0.1741	0.2041	0.2367	0.2562	0.2573	0.2573
0.4900	0.0871	0.1715	0.2011	0.2333	0.2526	0.2536	0.2536
0.5000	0.0854	0.1689	0.1982	0.2300	0.2490	0.2500	0.2500
0.5100	0.0838	0.1664	0.1953	0.2267	0.2454	0.2464	0.2464
0.5200	0.0823	0.1640	0.1925	0.2235	0.2419	0.2429	0.2429
0.5300	0.0809	0.1616	0.1898	0.2203	0.2385	0.2394	0.2394
0.5400	0.0795	0.1593	0.1871	0.2172	0.2351	0.2360	0.2360
0.5500	0.0781	0.1570	0.1845	0.2141	0.2317	0.2326	0.2326
0.5600	0.0769	0.1548	0.1819	0.2111	0.2284	0.2293	0.2293
0.5700	0.0756	0.1527	0.1793	0.2080	0.2251	0.2260	0.2260
0.5800	0.0745	0.1505	0.1768	0.2051	0.2218	0.2227	0.2227
0.5900	0.0733	0.1485	0.1743	0.2021	0.2186	0.2195	0.2195
0.6000	0.0722	0.1464	0.1719	0.1992	0.2154	0.2163	0.2163
0.6100	0.0712	0.1444	0.1695	0.1964	0.2122	0.2131	0.2131
0.6200	0.0702	0.1424	0.1671	0.1935	0.2091	0.2099	0.2099
0.6300	0.0692	0.1405	0.1648	0.1907	0.2059	0.2068	0.2068
0.6400	0.0683	0.1386	0.1624	0.1879	0.2028	0.2036	0.2036
0.6500	0.0674	0.1367	0.1602	0.1851	0.1998	0.2005	0.2005
0.6600	0.0665	0.1349	0.1579	0.1824	0.1967	0.1975	0.1975
0.6700	0.0657	0.1330	0.1556	0.1796	0.1937	0.1944	0.1944
0.6800	0.0649	0.1312	0.1534	0.1769	0.1906	0.1914	0.1914
0.6900	0.0641	0.1294	0.1512	0.1742	0.1876	0.1883	0.1883
0.7000	0.0633	0.1277	0.1490	0.1715	0.1846	0.1853	0.1853
0.7100	0.0626	0.1259	0.1468	0.1688	0.1816	0.1822	0.1822
0.7200	0.0618	0.1242	0.1446	0.1661	0.1786	0.1792	0.1792
0.7300	0.0611	0.1224	0.1425	0.1634	0.1756	0.1762	0.1762
0.7400	0.0605	0.1207	0.1403	0.1608	0.1726	0.1732	0.1732
0.7500	0.0598	0.1190	0.1381	0.1581	0.1695	0.1702	0.1702
0.7600	0.0591	0.1173	0.1360	0.1554	0.1665	0.1671	0.1671
0.7700	0.0585	0.1156	0.1338	0.1527	0.1635	0.1641	0.1641
0.7800	0.0579	0.1138	0.1316	0.1500	0.1605	0.1610	0.1610
0.7900	0.0572	0.1121	0.1294	0.1473	0.1574	0.1580	0.1580
0.8000	0.0566	0.1104	0.1272	0.1445	0.1543	0.1549	0.1549
0.8100	0.0560	0.1086	0.1250	0.1417	0.1512	0.1517	0.1517
0.8200	0.0554	0.1069	0.1228	0.1390	0.1481	0.1486	0.1486
0.8300	0.0548	0.1051	0.1205	0.1361	0.1449	0.1454	0.1454
0.8400	0.0542	0.1033	0.1182	0.1333	0.1417	0.1422	0.1422
0.8500	0.0535	0.1014	0.1158	0.1303	0.1385	0.1389	0.1389
0.8600	0.0529	0.0995	0.1134	0.1274	0.1352	0.1356	0.1356
0.8700	0.0523	0.0976	0.1110	0.1243	0.1318	0.1322	0.1322
0.8800	0.0516	0.0956	0.1085	0.1212	0.1283	0.1287	0.1287
0.8900	0.0509	0.0935	0.1058	0.1180	0.1247	0.1251	0.1251
0.9000	0.0502	0.0914	0.1031	0.1147	0.1210	0.1214	0.1214
0.9100	0.0495	0.0891	0.1003	0.1112	0.1172	0.1175	0.1175
0.9200	0.0487	0.0868	0.0974	0.1076	0.1132	0.1135	0.1135
0.9300	0.0479	0.0842	0.0942	0.1038	0.1090	0.1093	0.1093
0.9400	0.0469	0.0815	0.0908	0.0997	0.1045	0.1048	0.1048
0.9500	0.0459	0.0785	0.0871	0.0953	0.0997	0.0999	0.0999
0.9600	0.0447	0.0751	0.0830	0.0904	0.0943	0.0946	0.0946
0.9700	0.0433	0.0712	0.0782	0.0848	0.0882	0.0884	0.0884
0.9800	0.0414	0.0663	0.0724	0.0780	0.0809	0.0810	0.0810
0.9900	0.0386	0.0594	0.0642	0.0685	0.0708	0.0709	0.0709
1.0000	0.0177	0.0211	0.0217	0.0221	0.0224	0.0224	0.0224

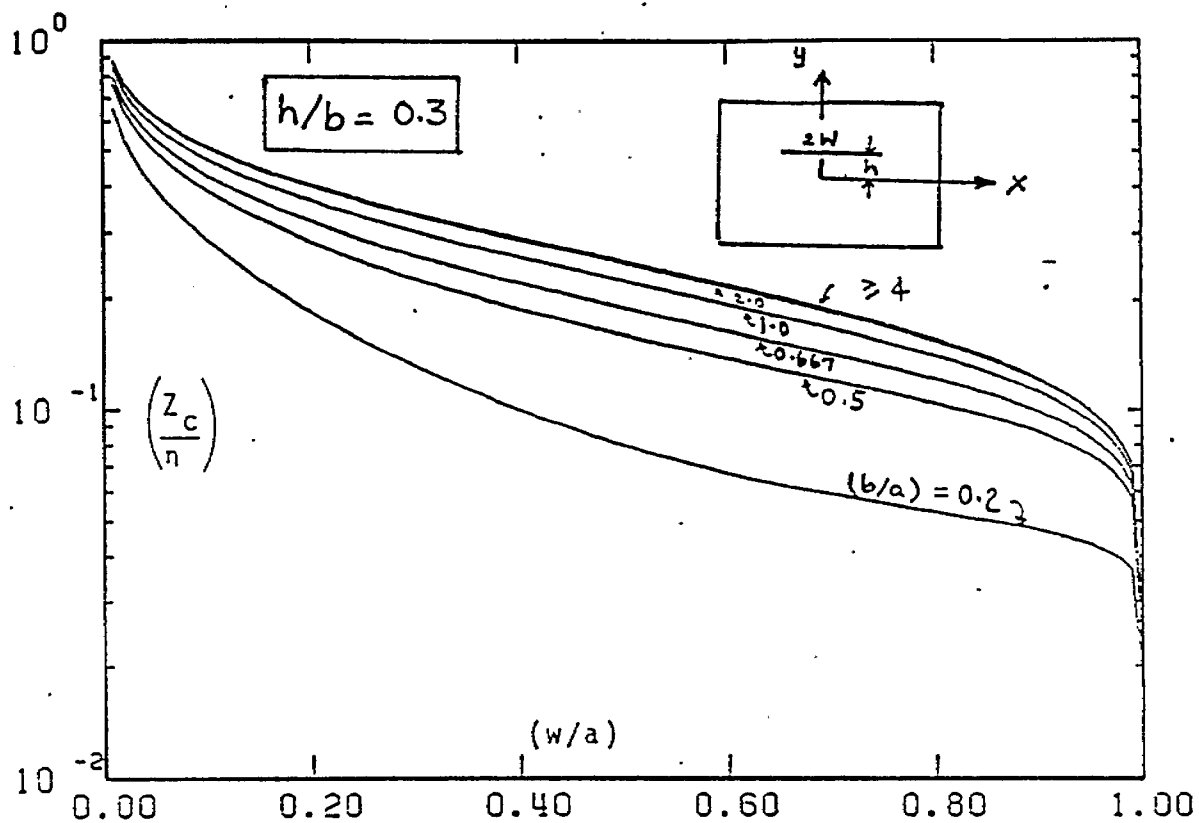


Figure 18. TEM impedance of a vertically offset cell (tabulated below) ( $h/b = 0.3$ )

TABLE 4. TEM impedance of a vertically offset cell (plotted above)

$b/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.0100	0.6518	0.7565	0.7957	0.8422	0.8777	0.8816	0.8817
0.0200	0.5415	0.6462	0.6854	0.7318	0.7674	0.7713	0.7714
0.0300	0.4771	0.5818	0.6209	0.6673	0.7028	0.7068	0.7068
0.0400	0.4315	0.5361	0.5752	0.6215	0.6570	0.6610	0.6610
0.0500	0.3962	0.5006	0.5398	0.5860	0.6215	0.6254	0.6255
0.0600	0.3675	0.4718	0.5108	0.5570	0.5924	0.5964	0.5964
0.0700	0.3433	0.4474	0.4864	0.5325	0.5679	0.5718	0.5718
0.0800	0.3224	0.4263	0.4652	0.5113	0.5466	0.5505	0.5505
0.0900	0.3041	0.4078	0.4466	0.4926	0.5278	0.5317	0.5317
0.1000	0.2878	0.3912	0.4300	0.4758	0.5109	0.5149	0.5149
0.1100	0.2731	0.3763	0.4150	0.4607	0.4957	0.4996	0.4997
0.1200	0.2598	0.3627	0.4013	0.4469	0.4818	0.4857	0.4857
0.1300	0.2477	0.3503	0.3887	0.4342	0.4690	0.4729	0.4729
0.1400	0.2366	0.3388	0.3771	0.4224	0.4571	0.4610	0.4610
0.1500	0.2263	0.3282	0.3663	0.4115	0.4461	0.4499	0.4500
0.1600	0.2168	0.3183	0.3563	0.4013	0.4357	0.4395	0.4396
0.1700	0.2079	0.3090	0.3469	0.3917	0.4260	0.4298	0.4298
0.1800	0.1996	0.3003	0.3380	0.3826	0.4168	0.4206	0.4206
0.1900	0.1919	0.2921	0.3297	0.3741	0.4081	0.4118	0.4118
0.2000	0.1846	0.2844	0.3218	0.3660	0.3998	0.4035	0.4035
0.2100	0.1778	0.2771	0.3143	0.3582	0.3919	0.3956	0.3957
0.2200	0.1714	0.2702	0.3072	0.3509	0.3844	0.3881	0.3881
0.2300	0.1654	0.2636	0.3004	0.3439	0.3772	0.3809	0.3809
0.2400	0.1597	0.2574	0.2939	0.3372	0.3702	0.3739	0.3740
0.2500	0.1543	0.2514	0.2878	0.3307	0.3636	0.3673	0.3673

TABLE 4 (continued)

$\frac{b/a}{w/a}$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.2600	0.1492	0.2457	0.2818	0.3245	0.3572	0.3608	0.3609
0.2700	0.1443	0.2403	0.2762	0.3186	0.3510	0.3547	0.3547
0.2800	0.1397	0.2351	0.2707	0.3129	0.3451	0.3487	0.3487
0.2900	0.1354	0.2301	0.2655	0.3073	0.3393	0.3429	0.3429
0.3000	0.1312	0.2253	0.2605	0.3020	0.3338	0.3373	0.3373
0.3100	0.1273	0.2207	0.2556	0.2969	0.3284	0.3319	0.3319
0.3200	0.1236	0.2163	0.2510	0.2919	0.3231	0.3266	0.3266
0.3300	0.1200	0.2121	0.2465	0.2870	0.3180	0.3215	0.3215
0.3400	0.1166	0.2080	0.2421	0.2823	0.3130	0.3165	0.3165
0.3500	0.1134	0.2041	0.2379	0.2778	0.3082	0.3116	0.3116
0.3600	0.1103	0.2003	0.2338	0.2733	0.3035	0.3069	0.3069
0.3700	0.1074	0.1966	0.2299	0.2690	0.2989	0.3022	0.3023
0.3800	0.1046	0.1931	0.2260	0.2648	0.2944	0.2977	0.2978
0.3900	0.1020	0.1897	0.2223	0.2608	0.2900	0.2933	0.2933
0.4000	0.0994	0.1864	0.2187	0.2568	0.2858	0.2890	0.2890
0.4100	0.0970	0.1832	0.2152	0.2529	0.2816	0.2847	0.2848
0.4200	0.0947	0.1801	0.2118	0.2491	0.2774	0.2806	0.2806
0.4300	0.0925	0.1772	0.2085	0.2454	0.2734	0.2765	0.2766
0.4400	0.0904	0.1743	0.2053	0.2417	0.2695	0.2725	0.2726
0.4500	0.0884	0.1714	0.2021	0.2382	0.2656	0.2686	0.2687
0.4600	0.0865	0.1687	0.1991	0.2347	0.2618	0.2648	0.2648
0.4700	0.0847	0.1661	0.1961	0.2313	0.2580	0.2610	0.2610
0.4800	0.0829	0.1635	0.1932	0.2280	0.2543	0.2572	0.2573
0.4900	0.0813	0.1610	0.1903	0.2247	0.2507	0.2536	0.2536
0.5000	0.0797	0.1586	0.1876	0.2215	0.2471	0.2500	0.2500
0.5100	0.0781	0.1562	0.1848	0.2183	0.2436	0.2464	0.2464
0.5200	0.0767	0.1539	0.1822	0.2152	0.2401	0.2429	0.2429
0.5300	0.0753	0.1517	0.1796	0.2121	0.2367	0.2394	0.2395
0.5400	0.0739	0.1495	0.1770	0.2091	0.2333	0.2360	0.2360
0.5500	0.0727	0.1473	0.1745	0.2062	0.2300	0.2326	0.2326
0.5600	0.0714	0.1453	0.1721	0.2032	0.2267	0.2293	0.2293
0.5700	0.0703	0.1432	0.1697	0.2003	0.2234	0.2260	0.2260
0.5800	0.0692	0.1412	0.1673	0.1975	0.2202	0.2227	0.2227
0.5900	0.0681	0.1393	0.1650	0.1947	0.2170	0.2194	0.2195
0.6000	0.0670	0.1374	0.1627	0.1919	0.2138	0.2162	0.2163
0.6100	0.0661	0.1355	0.1604	0.1892	0.2107	0.2130	0.2131
0.6200	0.0651	0.1337	0.1582	0.1865	0.2076	0.2099	0.2099
0.6300	0.0642	0.1319	0.1560	0.1838	0.2045	0.2067	0.2068
0.6400	0.0633	0.1301	0.1538	0.1811	0.2014	0.2036	0.2036
0.6500	0.0625	0.1284	0.1517	0.1785	0.1983	0.2005	0.2006
0.6600	0.0617	0.1266	0.1496	0.1758	0.1953	0.1974	0.1975
0.6700	0.0609	0.1249	0.1475	0.1732	0.1923	0.1944	0.1944
0.6800	0.0601	0.1233	0.1454	0.1707	0.1893	0.1913	0.1914
0.6900	0.0594	0.1216	0.1434	0.1681	0.1863	0.1883	0.1883
0.7000	0.0587	0.1200	0.1413	0.1655	0.1833	0.1853	0.1853
0.7100	0.0580	0.1184	0.1393	0.1630	0.1803	0.1823	0.1823
0.7200	0.0573	0.1168	0.1373	0.1604	0.1774	0.1792	0.1792
0.7300	0.0567	0.1152	0.1353	0.1579	0.1744	0.1762	0.1762
0.7400	0.0561	0.1136	0.1333	0.1553	0.1714	0.1732	0.1732
0.7500	0.0554	0.1121	0.1313	0.1528	0.1684	0.1701	0.1702
0.7600	0.0548	0.1105	0.1293	0.1503	0.1655	0.1671	0.1671
0.7700	0.0543	0.1089	0.1273	0.1477	0.1625	0.1641	0.1641
0.7800	0.0537	0.1074	0.1253	0.1451	0.1595	0.1610	0.1610
0.7900	0.0531	0.1058	0.1233	0.1426	0.1564	0.1579	0.1580
0.8000	0.0526	0.1042	0.1212	0.1400	0.1534	0.1548	0.1549
0.8100	0.0520	0.1026	0.1192	0.1373	0.1503	0.1517	0.1517
0.8200	0.0515	0.1010	0.1171	0.1347	0.1472	0.1486	0.1486
0.8300	0.0509	0.0994	0.1150	0.1320	0.1441	0.1454	0.1454
0.8400	0.0504	0.0977	0.1129	0.1293	0.1409	0.1422	0.1422
0.8500	0.0498	0.0961	0.1107	0.1266	0.1377	0.1389	0.1389
0.8600	0.0493	0.0943	0.1085	0.1237	0.1344	0.1356	0.1356
0.8700	0.0487	0.0926	0.1062	0.1209	0.1311	0.1321	0.1322
0.8800	0.0481	0.0908	0.1039	0.1179	0.1276	0.1287	0.1287
0.8900	0.0475	0.0889	0.1015	0.1149	0.1241	0.1251	0.1251
0.9000	0.0469	0.0870	0.0990	0.1117	0.1204	0.1214	0.1214
0.9100	0.0462	0.0849	0.0964	0.1084	0.1167	0.1175	0.1175
0.9200	0.0456	0.0827	0.0936	0.1050	0.1127	0.1135	0.1135
0.9300	0.0448	0.0804	0.0907	0.1013	0.1085	0.1093	0.1093
0.9400	0.0440	0.0779	0.0876	0.0974	0.1041	0.1048	0.1048
0.9500	0.0431	0.0752	0.0841	0.0932	0.0993	0.0999	0.0999
0.9600	0.0420	0.0721	0.0803	0.0885	0.0940	0.0945	0.0946
0.9700	0.0407	0.0685	0.0758	0.0831	0.0879	0.0884	0.0884
0.9800	0.0391	0.0639	0.0703	0.0765	0.0806	0.0810	0.0810
0.9900	0.0366	0.0574	0.0625	0.0674	0.0706	0.0709	0.0709
1.0000	0.0173	0.0208	0.0215	0.0220	0.0223	0.0224	0.0224

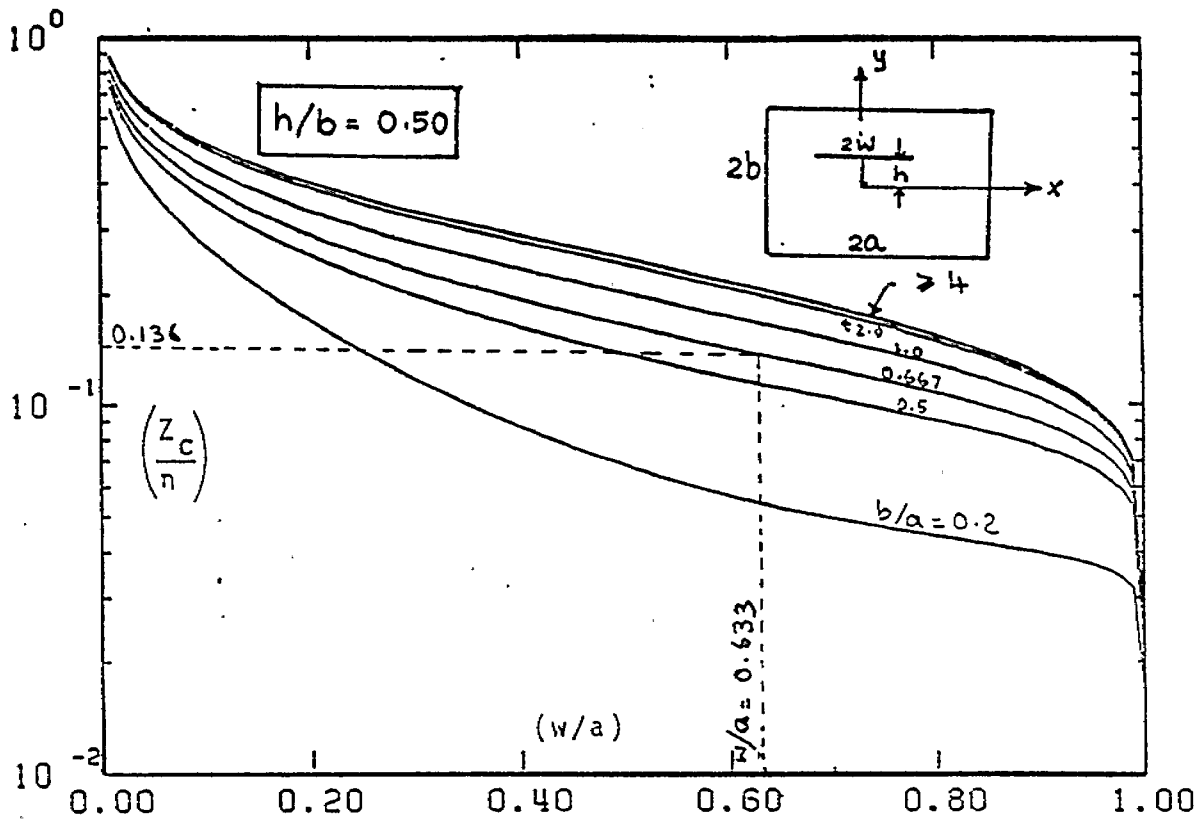


Figure 19. TEM impedance of a vertically offset cell (tabulated below) ( $h/b = 0.50$ )

TABLE 5. TEM impedance of a vertically offset cell (plotted above)

$b/a \backslash w/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.0100	0.6366	0.7273	0.7642	0.8137	0.8679	0.8811	0.8817
0.0200	0.5284	0.6170	0.6539	0.7034	0.7576	0.7708	0.7713
0.0300	0.4620	0.5525	0.5894	0.6389	0.6931	0.7062	0.7068
0.0400	0.4164	0.5069	0.5437	0.5932	0.6473	0.6604	0.6610
0.0500	0.3811	0.4715	0.5083	0.5577	0.6117	0.6249	0.6254
0.0600	0.3524	0.4426	0.4794	0.5287	0.5827	0.5958	0.5964
0.0700	0.3282	0.4183	0.4550	0.5043	0.5581	0.5712	0.5718
0.0800	0.3074	0.3973	0.4339	0.4831	0.5369	0.5499	0.5505
0.0900	0.2891	0.3788	0.4154	0.4644	0.5181	0.5311	0.5317
0.1000	0.2728	0.3623	0.3988	0.4478	0.5013	0.5143	0.5149
0.1100	0.2582	0.3475	0.3839	0.4327	0.4861	0.4991	0.4997
0.1200	0.2449	0.3340	0.3703	0.4190	0.4722	0.4852	0.4858
0.1300	0.2329	0.3216	0.3578	0.4064	0.4594	0.4723	0.4729
0.1400	0.2218	0.3103	0.3463	0.3947	0.4476	0.4605	0.4611
0.1500	0.2115	0.2997	0.3357	0.3839	0.4366	0.4494	0.4499
0.1600	0.2021	0.2899	0.3257	0.3737	0.4262	0.4390	0.4396
0.1700	0.1933	0.2808	0.3164	0.3642	0.4165	0.4293	0.4298
0.1800	0.1851	0.2722	0.3077	0.3553	0.4074	0.4200	0.4206
0.1900	0.1774	0.2641	0.299	0.3469	0.3987	0.4113	0.4119
0.2000	0.1702	0.2565	0.291	0.3389	0.3905	0.4030	0.4036
0.2100	0.1635	0.2494	0.2844	0.3313	0.3826	0.3951	0.3957
0.2200	0.1571	0.2426	0.2774	0.3241	0.3752	0.3876	0.3881
0.2300	0.1511	0.2362	0.2708	0.3173	0.3680	0.3803	0.3809
0.2400	0.1455	0.2301	0.2645	0.3107	0.3611	0.3734	0.3740
0.2500	0.1402	0.2243	0.2585	0.3044	0.3546	0.3668	0.3674
0.2600	0.1352	0.2188	0.2528	0.2984	0.3482	0.3603	0.3609
0.2700	0.1304	0.2135	0.2473	0.2926	0.3421	0.3542	0.3547
0.2800	0.1259	0.2085	0.2421	0.2871	0.3362	0.3482	0.3487
0.2900	0.1216	0.2037	0.2370	0.2817	0.3305	0.3424	0.3429
0.3000	0.1176	0.1991	0.2322	0.2766	0.3250	0.3368	0.3373

TABLE 5 (continued)

b/a \ w/a	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.3100	0.1137	0.1947	0.2276	0.2716	0.3197	0.3314	0.3319
0.3200	0.1101	0.1905	0.2231	0.2668	0.3145	0.3261	0.3266
0.3300	0.1066	0.1864	0.2188	0.2622	0.3095	0.3210	0.3215
0.3400	0.1034	0.1825	0.2147	0.2577	0.3046	0.3160	0.3165
0.3500	0.1002	0.1788	0.2107	0.2534	0.2998	0.3111	0.3116
0.3600	0.0973	0.1752	0.2069	0.2492	0.2952	0.3064	0.3069
0.3700	0.0944	0.1718	0.2032	0.2451	0.2907	0.3018	0.3023
0.3800	0.0918	0.1685	0.1996	0.2411	0.2863	0.2973	0.2977
0.3900	0.0892	0.1653	0.1961	0.2372	0.2820	0.2928	0.2933
0.4000	0.0868	0.1622	0.1928	0.2335	0.2778	0.2885	0.2890
0.4100	0.0845	0.1593	0.1895	0.2299	0.2737	0.2843	0.2848
0.4200	0.0823	0.1564	0.1864	0.2263	0.2697	0.2802	0.2806
0.4300	0.0802	0.1536	0.1833	0.2228	0.2657	0.2761	0.2765
0.4400	0.0782	0.1510	0.1804	0.2195	0.2619	0.2721	0.2725
0.4500	0.0763	0.1484	0.1775	0.2162	0.2581	0.2682	0.2686
0.4600	0.0745	0.1459	0.1747	0.2129	0.2543	0.2643	0.2648
0.4700	0.0727	0.1435	0.1720	0.2098	0.2507	0.2606	0.2610
0.4800	0.0711	0.1412	0.1693	0.2067	0.2471	0.2568	0.2573
0.4900	0.0695	0.1389	0.1668	0.2037	0.2436	0.2532	0.2536
0.5000	0.0680	0.1368	0.1643	0.2008	0.2401	0.2496	0.2500
0.5100	0.0666	0.1347	0.1619	0.1979	0.2367	0.2460	0.2464
0.5200	0.0653	0.1326	0.1595	0.1950	0.2333	0.2425	0.2429
0.5300	0.0640	0.1306	0.1572	0.1923	0.2300	0.2390	0.2394
0.5400	0.0628	0.1287	0.1549	0.1895	0.2267	0.2356	0.2360
0.5500	0.0616	0.1268	0.1527	0.1869	0.2235	0.2322	0.2326
0.5600	0.0605	0.1250	0.1506	0.1842	0.2203	0.2289	0.2293
0.5700	0.0594	0.1232	0.1484	0.1816	0.2171	0.2256	0.2260
0.5800	0.0584	0.1215	0.1464	0.1791	0.2140	0.2223	0.2227
0.5900	0.0574	0.1198	0.1444	0.1766	0.2109	0.2191	0.2195
0.6000	0.0565	0.1181	0.1424	0.1741	0.2078	0.2159	0.2162
0.6100	0.0556	0.1165	0.1404	0.1717	0.2048	0.2127	0.2131
0.6200	0.0548	0.1150	0.1385	0.1693	0.2018	0.2096	0.2099
0.6300	0.0540	0.1134	0.1366	0.1669	0.1988	0.2064	0.2068
0.6400	0.0532	0.1119	0.1348	0.1645	0.1959	0.2033	0.2036
0.6500	0.0525	0.1105	0.1330	0.1622	0.1929	0.2002	0.2005
0.6600	0.0518	0.1090	0.1312	0.1599	0.1900	0.1972	0.1975
0.6700	0.0511	0.1076	0.1294	0.1576	0.1871	0.1941	0.1944
0.6800	0.0504	0.1062	0.1277	0.1553	0.1842	0.1910	0.1913
0.6900	0.0498	0.1049	0.1260	0.1531	0.1813	0.1880	0.1883
0.7000	0.0492	0.1035	0.1242	0.1508	0.1785	0.1850	0.1853
0.7100	0.0486	0.1022	0.1226	0.1486	0.1756	0.1820	0.1822
0.7200	0.0481	0.1009	0.1209	0.1464	0.1728	0.1790	0.1792
0.7300	0.0476	0.0996	0.1192	0.1442	0.1699	0.1759	0.1762
0.7400	0.0470	0.0983	0.1175	0.1420	0.1671	0.1729	0.1732
0.7500	0.0465	0.0970	0.1159	0.1398	0.1642	0.1699	0.1701
0.7600	0.0460	0.0958	0.1142	0.1376	0.1613	0.1669	0.1671
0.7700	0.0456	0.0945	0.1126	0.1354	0.1585	0.1638	0.1641
0.7800	0.0451	0.0933	0.1109	0.1331	0.1556	0.1608	0.1610
0.7900	0.0447	0.0920	0.1093	0.1309	0.1527	0.1577	0.1579
0.8000	0.0442	0.0907	0.1076	0.1287	0.1498	0.1546	0.1549
0.8100	0.0438	0.0895	0.1060	0.1264	0.1468	0.1515	0.1517
0.8200	0.0434	0.0882	0.1043	0.1241	0.1439	0.1484	0.1486
0.8300	0.0429	0.0869	0.1025	0.1218	0.1409	0.1452	0.1454
0.8400	0.0425	0.0856	0.1008	0.1194	0.1378	0.1420	0.1422
0.8500	0.0421	0.0843	0.09	0.1170	0.1347	0.1387	0.1389
0.8600	0.0417	0.0829	0.09	0.1146	0.1316	0.1354	0.1356
0.8700	0.0412	0.0815	0.0954	0.1121	0.1283	0.1320	0.1322
0.8800	0.0408	0.0801	0.0935	0.1095	0.1250	0.1285	0.1287
0.8900	0.0403	0.0786	0.0915	0.1069	0.1216	0.1249	0.1251
0.9000	0.0399	0.0770	0.0894	0.1041	0.1181	0.1212	0.1214
0.9100	0.0394	0.0754	0.0873	0.1012	0.1145	0.1174	0.1175
0.9200	0.0389	0.0737	0.0850	0.0982	0.1107	0.1134	0.1135
0.9300	0.0383	0.0718	0.0826	0.0950	0.1066	0.1092	0.1093
0.9400	0.0377	0.0698	0.0799	0.0916	0.1023	0.1047	0.1048
0.9500	0.0370	0.0676	0.0770	0.0878	0.0977	0.0998	0.0999
0.9600	0.0362	0.0651	0.0738	0.0836	0.0925	0.0945	0.0945
0.9700	0.0353	0.0621	0.0700	0.0788	0.0867	0.0883	0.0884
0.9800	0.0340	0.0583	0.0653	0.0729	0.0795	0.0810	0.0810
0.9900	0.0321	0.0529	0.0585	0.0646	0.0697	0.0708	0.0709
1.0000	0.0162	0.0202	0.0210	0.0217	0.0223	0.0224	0.0224



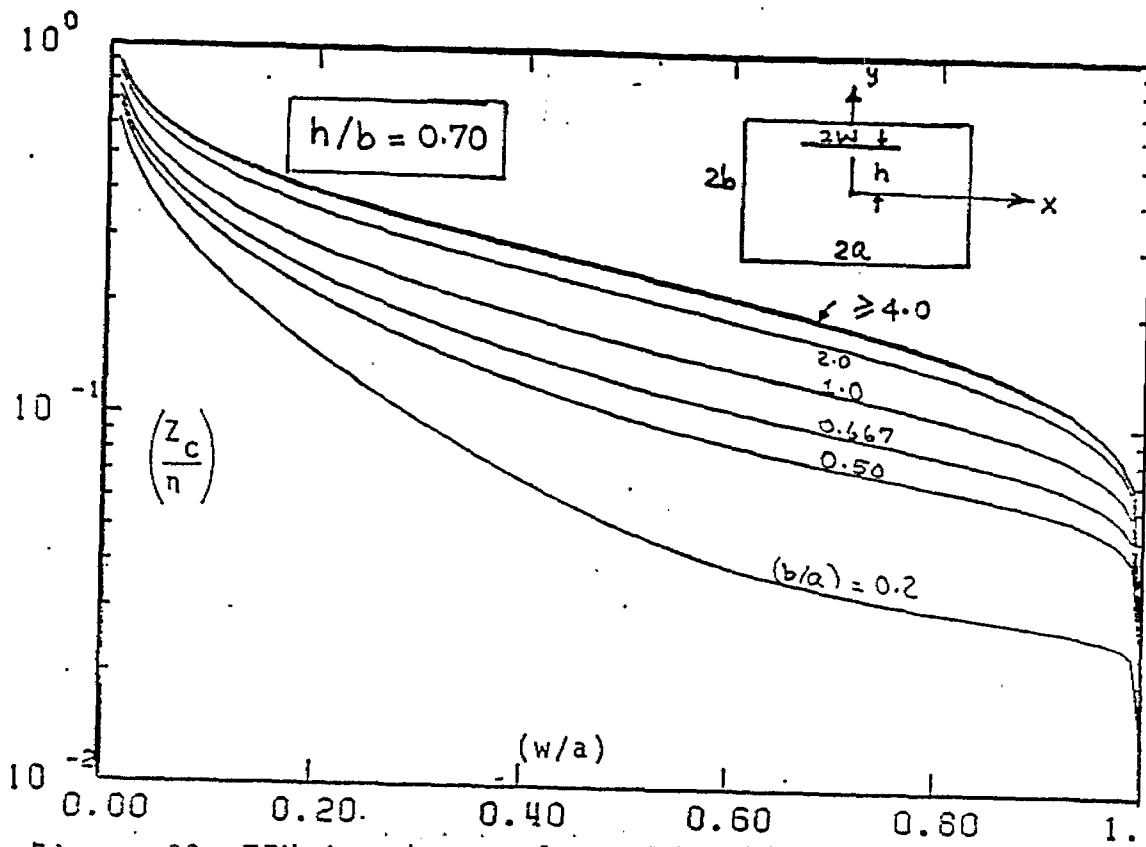


Figure 20. TEM impedance of a vertically offset cell (tabulated below) ( $h/b$ ) = 0.7

TABLE 6. TEM impedance of a vertically offset cell (plotted above)

$b/a$ $w/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.0100	0.6136	0.6798	0.7100	0.7571	0.8334	0.8744	0.8806
0.0200	0.5034	0.5695	0.5997	0.6468	0.7231	0.7640	0.7703
0.0300	0.4390	0.5051	0.5353	0.5824	0.6585	0.6995	0.7057
0.0400	0.3934	0.4595	0.4896	0.5367	0.6128	0.6537	0.6599
0.0500	0.3582	0.4241	0.4542	0.5012	0.5773	0.6182	0.6244
0.0600	0.3295	0.3954	0.4254	0.4724	0.5483	0.5891	0.5953
0.0700	0.3053	0.3711	0.4011	0.4480	0.5238	0.5645	0.5707
0.0800	0.2845	0.3502	0.3801	0.4269	0.5026	0.5433	0.5494
0.0900	0.2663	0.3318	0.3617	0.4084	0.4839	0.5245	0.5306
0.1000	0.2500	0.3154	0.3452	0.3918	0.4672	0.5077	0.5138
0.1100	0.2355	0.3007	0.3304	0.3769	0.4520	0.4924	0.4986
0.1200	0.2223	0.2873	0.3170	0.3633	0.4383	0.4785	0.4846
0.1300	0.2103	0.2751	0.3047	0.3509	0.4256	0.4657	0.4718
0.1400	0.1993	0.2639	0.2934	0.3394	0.4139	0.4539	0.4599
0.1500	0.1891	0.2535	0.2829	0.3288	0.4029	0.4428	0.4489
0.1600	0.1797	0.2439	0.2732	0.3189	0.3928	0.4325	0.4385
0.1700	0.1710	0.2349	0.2641	0.3096	0.3832	0.4227	0.4287
0.1800	0.1629	0.2265	0.2556	0.3009	0.3742	0.4136	0.4195
0.1900	0.1553	0.2187	0.2476	0.2927	0.3657	0.4049	0.4108
0.2000	0.1482	0.2113	0.2401	0.2850	0.3576	0.3966	0.4025
0.2100	0.1416	0.2044	0.2330	0.2777	0.3499	0.3887	0.3946
0.2200	0.1354	0.1978	0.2263	0.2708	0.3426	0.3812	0.3871
0.2300	0.1295	0.1916	0.2200	0.2642	0.3356	0.3740	0.3799
0.2400	0.1240	0.1858	0.2140	0.2579	0.3290	0.3671	0.3729
0.2500	0.1188	0.1802	0.2082	0.2520	0.3226	0.3605	0.3663
0.2600	0.1139	0.1750	0.2028	0.2463	0.3165	0.3541	0.3599
0.2700	0.1092	0.1700	0.1977	0.2408	0.3106	0.3481	0.3539
0.2800	0.1049	0.1652	0.1927	0.2356	0.3049	0.3421	0.3487
0.2900	0.1007	0.1607	0.1880	0.2306	0.2994	0.3363	0.3435
0.3000	0.0968	0.1564	0.1835	0.2259	0.2942	0.3308	0.3383

TABLE 6 (continued)

$b/a$ $w/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.3100	0.0931	0.1523	0.1793	0.2213	0.2891	0.3254	0.3309
0.3200	0.0896	0.1484	0.1752	0.2169	0.2841	0.3202	0.3256
0.3300	0.0863	0.1447	0.1712	0.2126	0.2793	0.3151	0.3205
0.3400	0.0831	0.1411	0.1675	0.2085	0.2747	0.3102	0.3155
0.3500	0.0802	0.1377	0.1639	0.2046	0.2702	0.3054	0.3107
0.3600	0.0773	0.1345	0.1604	0.2008	0.2659	0.3007	0.3060
0.3700	0.0747	0.1313	0.1571	0.1972	0.2616	0.2961	0.3013
0.3800	0.0721	0.1284	0.1539	0.1936	0.2575	0.2917	0.2968
0.3900	0.0697	0.1255	0.1508	0.1902	0.2535	0.2873	0.2924
0.4000	0.0675	0.1228	0.1479	0.1869	0.2496	0.2830	0.2881
0.4100	0.0653	0.1202	0.1451	0.1837	0.2458	0.2789	0.2839
0.4200	0.0633	0.1177	0.1423	0.1806	0.2420	0.2748	0.2797
0.4300	0.0613	0.1153	0.1397	0.1776	0.2384	0.2708	0.2757
0.4400	0.0595	0.1130	0.1372	0.1747	0.2349	0.2669	0.2717
0.4500	0.0577	0.1108	0.1347	0.1719	0.2314	0.2630	0.2678
0.4600	0.0561	0.1086	0.1324	0.1692	0.2280	0.2592	0.2640
0.4700	0.0545	0.1066	0.1301	0.1665	0.2247	0.2555	0.2602
0.4800	0.0530	0.1047	0.1279	0.1640	0.2214	0.2519	0.2565
0.4900	0.0516	0.1028	0.1258	0.1615	0.2182	0.2483	0.2528
0.5000	0.0503	0.1010	0.1238	0.1590	0.2151	0.2447	0.2492
0.5100	0.0490	0.0992	0.1218	0.1567	0.2120	0.2412	0.2456
0.5200	0.0478	0.0976	0.1199	0.1544	0.2090	0.2378	0.2421
0.5300	0.0467	0.0960	0.1181	0.1521	0.2060	0.2344	0.2387
0.5400	0.0456	0.0944	0.1163	0.1499	0.2031	0.2311	0.2353
0.5500	0.0446	0.0929	0.1145	0.1478	0.2002	0.2278	0.2319
0.5600	0.0437	0.0915	0.1129	0.1457	0.1974	0.2245	0.2285
0.5700	0.0428	0.0901	0.1112	0.1436	0.1946	0.2213	0.2252
0.5800	0.0419	0.0888	0.1097	0.1416	0.1918	0.2181	0.2220
0.5900	0.0411	0.0875	0.1081	0.1397	0.1891	0.2149	0.2188
0.6000	0.0403	0.0862	0.1066	0.1378	0.1864	0.2118	0.2156
0.6100	0.0396	0.0850	0.1052	0.1359	0.1838	0.2087	0.2124
0.6200	0.0389	0.0839	0.1038	0.1341	0.1812	0.2056	0.2093
0.6300	0.0383	0.0828	0.1024	0.1322	0.1786	0.2025	0.2061
0.6400	0.0376	0.0817	0.1010	0.1305	0.1760	0.1995	0.2030
0.6500	0.0371	0.0806	0.099	0.1287	0.1735	0.1965	0.1999
0.6600	0.0365	0.0796	0.097	0.1270	0.1709	0.1935	0.1969
0.6700	0.0360	0.0786	0.0972	0.1253	0.1684	0.1905	0.1938
0.6800	0.0355	0.0776	0.0960	0.1236	0.1660	0.1876	0.1908
0.6900	0.0350	0.0767	0.0948	0.1220	0.1635	0.1846	0.1878
0.7000	0.0346	0.0757	0.0936	0.1203	0.1610	0.1817	0.1847
0.7100	0.0341	0.0748	0.0924	0.1187	0.1586	0.1787	0.1817
0.7200	0.0337	0.0739	0.0913	0.1171	0.1561	0.1758	0.1787
0.7300	0.0333	0.0731	0.0901	0.1155	0.1537	0.1729	0.1757
0.7400	0.0330	0.0722	0.0890	0.1139	0.1513	0.1699	0.1727
0.7500	0.0326	0.0714	0.0879	0.1124	0.1488	0.1670	0.1697
0.7600	0.0323	0.0706	0.0868	0.1108	0.1464	0.1641	0.1667
0.7700	0.0320	0.0697	0.0857	0.1092	0.1439	0.1611	0.1636
0.7800	0.0317	0.0689	0.0846	0.1076	0.1415	0.1581	0.1606
0.7900	0.0314	0.0681	0.0835	0.1061	0.1390	0.1552	0.1575
0.8000	0.0311	0.0673	0.0825	0.1045	0.1365	0.1522	0.1545
0.8100	0.0308	0.0665	0.0814	0.1029	0.1340	0.1491	0.1514
0.8200	0.0305	0.0658	0.0803	0.1013	0.1315	0.1461	0.1482
0.8300	0.0303	0.0650	0.0792	0.0996	0.1289	0.1430	0.1450
0.8400	0.0300	0.0641	0.0781	0.0980	0.1263	0.1399	0.1418
0.8500	0.0297	0.0633	0.0769	0.0963	0.1237	0.1367	0.1386
0.8600	0.0295	0.0625	0.0758	0.0946	0.1210	0.1334	0.1352
0.8700	0.0292	0.0617	0.0746	0.0928	0.1182	0.1301	0.1319
0.8800	0.0290	0.0608	0.0733	0.0910	0.1154	0.1267	0.1284
0.8900	0.0287	0.0599	0.0721	0.0891	0.1124	0.1233	0.1248
0.9000	0.0285	0.0589	0.0708	0.0872	0.1094	0.1197	0.1211
0.9100	0.0282	0.0579	0.0694	0.0851	0.1063	0.1159	0.1173
0.9200	0.0279	0.0569	0.0679	0.0829	0.1030	0.1120	0.1133
0.9300	0.0276	0.0558	0.0663	0.0806	0.0994	0.1079	0.1091
0.9400	0.0273	0.0545	0.0646	0.0781	0.0957	0.1035	0.1046
0.9500	0.0269	0.0531	0.0627	0.0753	0.0916	0.0987	0.0997
0.9600	0.0265	0.0516	0.0605	0.0722	0.0871	0.0935	0.0944
0.9700	0.0260	0.0497	0.0579	0.0686	0.0818	0.0875	0.0883
0.9800	0.0253	0.0472	0.0546	0.0640	0.0755	0.0802	0.0809
0.9900	0.0242	0.0436	0.0498	0.0575	0.0666	0.0703	0.0708
1.0000	0.0139	0.0187	0.0197	0.0208	0.0219	0.0223	0.0224

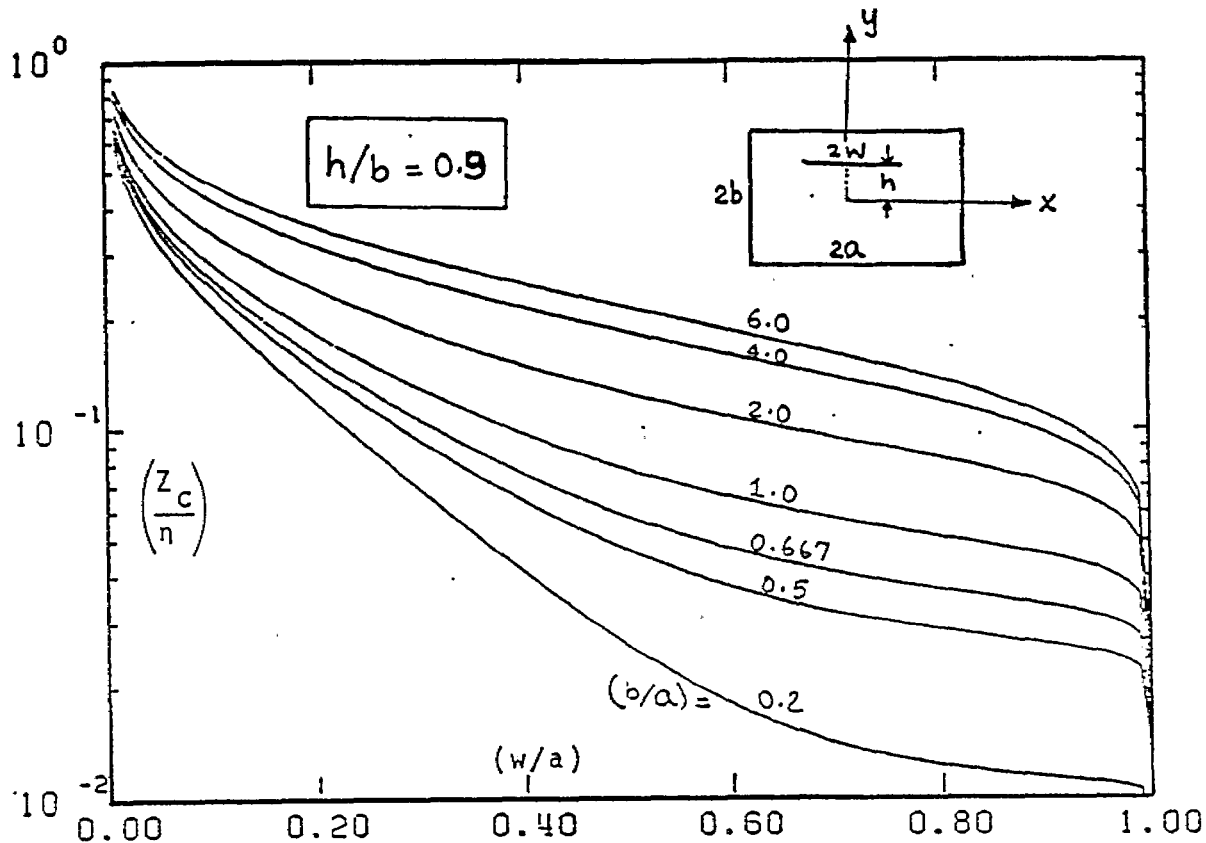


Figure 21. TEM impedance of a vertically offset cell (tabulated below) ( $h/b = 0.9$ )

TABLE 7. TEM impedance of a vertically offset cell (plotted above)

$b/a$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.0100	0.5823	0.6093	0.6234	0.6492	0.7119	0.7911	0.8814
0.0200	0.4721	0.4991	0.5131	0.5389	0.6016	0.6808	0.7711
0.0300	0.4077	0.4347	0.4488	0.4745	0.5372	0.6163	0.7065
0.0400	0.3622	0.3892	0.4032	0.4289	0.4915	0.5706	0.6558
0.0500	0.3270	0.3539	0.3679	0.3936	0.4562	0.5352	0.6209
0.0600	0.2983	0.3252	0.3392	0.3649	0.4274	0.5062	0.5860
0.0700	0.2742	0.3011	0.3150	0.3407	0.4030	0.4818	0.5611
0.0800	0.2535	0.2803	0.2942	0.3198	0.3821	0.4607	0.5402
0.0900	0.2353	0.2620	0.2759	0.3015	0.3636	0.4420	0.5213
0.1000	0.2191	0.2458	0.2597	0.2852	0.3472	0.4254	0.5042
0.1100	0.2047	0.2313	0.2451	0.2705	0.3324	0.4104	0.4891
0.1200	0.1916	0.2181	0.2319	0.2573	0.3189	0.3967	0.4750
0.1300	0.1796	0.2061	0.2199	0.2451	0.3066	0.3842	0.4626
0.1400	0.1687	0.1951	0.2088	0.2340	0.2953	0.3726	0.4513
0.1500	0.1587	0.1850	0.1986	0.2237	0.2848	0.3618	0.4410
0.1600	0.1494	0.1756	0.1892	0.2142	0.2750	0.3518	0.4318
0.1700	0.1408	0.1669	0.1805	0.2054	0.2659	0.3424	0.4232
0.1800	0.1328	0.1588	0.1723	0.1971	0.2574	0.3336	0.4152
0.1900	0.1254	0.1512	0.1647	0.1894	0.2494	0.3252	0.4077
0.2000	0.1184	0.1442	0.1576	0.1821	0.2419	0.3174	0.4006
0.2100	0.1119	0.1376	0.1509	0.1753	0.2348	0.3099	0.3939
0.2200	0.1058	0.1313	0.1446	0.1689	0.2281	0.3028	0.3876
0.2300	0.1001	0.1255	0.1387	0.1629	0.2218	0.2961	0.3816
0.2400	0.0947	0.1200	0.1331	0.1572	0.2158	0.2896	0.3758
0.2500	0.0897	0.1148	0.1279	0.1518	0.2100	0.2835	0.3702
0.2600	0.0850	0.1099	0.1229	0.1467	0.2046	0.2776	0.3648
0.2700	0.0805	0.1053	0.1182	0.1419	0.1994	0.2719	0.3596
0.2800	0.0763	0.1010	0.1138	0.1373	0.1945	0.2665	0.3546
0.2900	0.0723	0.0969	0.1096	0.1330	0.1898	0.2613	0.3497
0.3000	0.0686	0.0930	0.1056	0.1289	0.1853	0.2563	0.3449

TABLE 7 (continued)

$\frac{b/a}{w/a}$	0.2	0.5	0.667	1.0	2.0	4.0	6.0
0.3100	0.0651	0.0893	0.1019	0.1250	0.1810	0.2515	0.2891
0.3200	0.0618	0.0858	0.0983	0.1212	0.1769	0.2469	0.2841
0.3300	0.0586	0.0825	0.0949	0.1177	0.1729	0.2424	0.2794
0.3400	0.0557	0.0794	0.0917	0.1143	0.1692	0.2381	0.2747
0.3500	0.0529	0.0765	0.0887	0.1111	0.1655	0.2339	0.2702
0.3600	0.0503	0.0737	0.0858	0.1081	0.1621	0.2299	0.2659
0.3700	0.0478	0.0710	0.0831	0.1052	0.1587	0.2260	0.2616
0.3800	0.0454	0.0685	0.0805	0.1024	0.1555	0.2222	0.2575
0.3900	0.0432	0.0661	0.0780	0.0998	0.1525	0.2185	0.2535
0.4000	0.0412	0.0639	0.0757	0.0973	0.1495	0.2149	0.2496
0.4100	0.0392	0.0618	0.0734	0.0949	0.1467	0.2115	0.2458
0.4200	0.0373	0.0597	0.0713	0.0926	0.1439	0.2081	0.2420
0.4300	0.0356	0.0578	0.0693	0.0904	0.1413	0.2048	0.2384
0.4400	0.0340	0.0560	0.0674	0.0883	0.1387	0.2016	0.2349
0.4500	0.0324	0.0543	0.06	0.0863	0.1363	0.1985	0.2314
0.4600	0.0310	0.0527	0.06	0.0844	0.1339	0.1955	0.2280
0.4700	0.0296	0.0511	0.0623	0.0826	0.1316	0.1926	0.2247
0.4800	0.0283	0.0497	0.0607	0.0809	0.1294	0.1897	0.2214
0.4900	0.0271	0.0483	0.0592	0.0792	0.1273	0.1869	0.2182
0.5000	0.0260	0.0470	0.0578	0.0777	0.1252	0.1842	0.2151
0.5100	0.0250	0.0458	0.0565	0.0762	0.1233	0.1815	0.2120
0.5200	0.0240	0.0446	0.0553	0.0747	0.1213	0.1789	0.2090
0.5300	0.0230	0.0435	0.0541	0.0733	0.1195	0.1763	0.2060
0.5400	0.0222	0.0425	0.0529	0.0720	0.1177	0.1738	0.2031
0.5500	0.0213	0.0415	0.0519	0.0708	0.1159	0.1713	0.2002
0.5600	0.0206	0.0405	0.0508	0.0696	0.1142	0.1689	0.1974
0.5700	0.0199	0.0397	0.0499	0.0684	0.1126	0.1666	0.1946
0.5800	0.0192	0.0388	0.0489	0.0673	0.1110	0.1643	0.1918
0.5900	0.0186	0.0381	0.0481	0.0662	0.1094	0.1620	0.1891
0.6000	0.0180	0.0373	0.0472	0.0652	0.1079	0.1597	0.1864
0.6100	0.0175	0.0366	0.0464	0.0643	0.1065	0.1575	0.1838
0.6200	0.0170	0.0359	0.0457	0.0633	0.1050	0.1553	0.1812
0.6300	0.0165	0.0353	0.0450	0.0624	0.1036	0.1532	0.1786
0.6400	0.0161	0.0347	0.0443	0.0616	0.1023	0.1511	0.1760
0.6500	0.0156	0.0342	0.0436	0.0607	0.1009	0.1490	0.1735
0.6600	0.0153	0.0336	0.0430	0.0600	0.0996	0.1469	0.1710
0.6700	0.0149	0.0331	0.0424	0.0592	0.0984	0.1449	0.1684
0.6800	0.0146	0.0327	0.0419	0.0585	0.0971	0.1429	0.1659
0.6900	0.0143	0.0322	0.0413	0.0577	0.0959	0.1409	0.1635
0.7000	0.0140	0.0318	0.0408	0.0571	0.0947	0.1389	0.1610
0.7100	0.0138	0.0314	0.0403	0.0564	0.0935	0.1369	0.1586
0.7200	0.0135	0.0310	0.0399	0.0557	0.0923	0.1349	0.1561
0.7300	0.0133	0.0307	0.0394	0.0551	0.0912	0.1330	0.1537
0.7400	0.0131	0.0303	0.0390	0.0545	0.0901	0.1310	0.1513
0.7500	0.0129	0.0300	0.0386	0.0539	0.0889	0.1291	0.1488
0.7600	0.0128	0.0297	0.0382	0.0533	0.0878	0.1271	0.1464
0.7700	0.0126	0.0294	0.0378	0.0528	0.0867	0.1252	0.1439
0.7800	0.0125	0.0291	0.0374	0.0522	0.0856	0.1232	0.1415
0.7900	0.0123	0.0288	0.0371	0.0517	0.0845	0.1212	0.1390
0.8000	0.0122	0.0286	0.0367	0.0511	0.0834	0.1193	0.1365
0.8100	0.0121	0.0283	0.0364	0.0506	0.0823	0.1173	0.1340
0.8200	0.0120	0.0281	0.0361	0.0501	0.0812	0.1153	0.1315
0.8300	0.0119	0.0278	0.0357	0.0496	0.0801	0.1132	0.1289
0.8400	0.0118	0.0276	0.0354	0.0490	0.0789	0.1112	0.1263
0.8500	0.0117	0.0274	0.0351	0.0485	0.0778	0.1091	0.1237
0.8600	0.0117	0.0272	0.0348	0.0480	0.0766	0.1069	0.1210
0.8700	0.0116	0.0269	0.0344	0.0474	0.0754	0.1047	0.1182
0.8800	0.0115	0.0267	0.0341	0.0469	0.0741	0.1024	0.1154
0.8900	0.0114	0.0265	0.0338	0.0463	0.0728	0.1001	0.1125
0.9000	0.0114	0.0263	0.0334	0.0457	0.0715	0.0977	0.1094
0.9100	0.0113	0.0260	0.0331	0.0451	0.0701	0.0951	0.1063
0.9200	0.0113	0.0258	0.0327	0.0444	0.0686	0.0924	0.1030
0.9300	0.0112	0.0255	0.0323	0.0437	0.0669	0.0896	0.0994
0.9400	0.0111	0.0252	0.0319	0.0429	0.0652	0.0865	0.0957
0.9500	0.0110	0.0249	0.0314	0.0421	0.0632	0.0831	0.0916
0.9600	0.0110	0.0246	0.0308	0.0411	0.0610	0.0794	0.0871
0.9700	0.0109	0.0241	0.0301	0.0398	0.0584	0.0750	0.0818
0.9800	0.0107	0.0235	0.0292	0.0382	0.0551	0.0696	0.0755
0.9900	0.0105	0.0226	0.0277	0.0358	0.0502	0.0620	0.0666
1.0000	0.0080	0.0133	0.0150	0.0171	0.0198	0.0214	0.0219

### Illustrative Example for BBC GTEM-1500

With reference to figure 14, showing the vertically offset TEM cell, the experimental parameters for the GTEM-1500 are

$$w/a = 0.6333$$

$$b/a = 0.667$$

$$h/b = 0.5$$

$$h/a = 0.333$$

From figure 19 and the accompanying Table 5, the value of  $(Z_c/n) = 0.136$  for the above set of parameters. Consequently, the characteristic impedance of air-filled GTEM - 1500 is

$$Z_c \approx 377 \times 0.136 = 51.27 \Omega$$

and the capacitance per unit length is

$$C' = \epsilon_0 / (Z_c/n) = 65 \text{ pF/m}$$

Considering the approximations involved in applying the readily available expressions from [3, 5] to the case of GTEM-1500, the above results are seen to be in good agreement with the experimental values.

#### IV. Summary

The objective of this note was to review the impedance of two conductor transmission lines including TEM cells with the inner septum placed symmetrically and with some vertical offset. The required computer programs were developed and implemented on the computer system at the BBC Research Center. Some example results are presented here in figures and tabular form as well, for future reference.

## References

1. S. Ramo, J.R. Whinnery and T. Van Duzer, Fields and Waves in Communication Electronics, John Wiley and Sons, Second Edition, 1984
2. C.E. Baum, D.V. Giri and R.D. Gonzalez, "Electromagnetic Field Distribution of the TEM Mode in a Symmetrical Two-Parallel-Plate Transmission Line", Sensor and Simulation Note 219, 1 April 1976
3. J.C. Tippet, "Modal Characteristics of Rectangular Coaxial Transmission Line", Ph.D. dissertation, University of Colorado, Boulder, 1978
4. M.L. Crawford, "Generation of Standard EM Fields Using TEM Transmission Cells", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-16, pp 189-195, November 1974
5. J.C. Tippet and D.C. Chang, "Characteristic Impedance of a Rectangular Coaxial Line with Offset Inner Conductor", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, pp 876-883, November 1978
6. Reference Data for Radio Engineers, Published by Howard W. Sams & Co., Inc., New York, 6th Edition, Chapter 24, 1975
7. EMP Handbook, Principles, Techniques & Reference Data, Edited by K.S.H. Lee, AFWL-TR-80-402, December 1980, also published by the Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of New Mexico, July 1983
8. Handbook of Mathematical Functions, Edited by M. Abramowitz and I.A. Stegun, Dover Publications, New York, 1965