

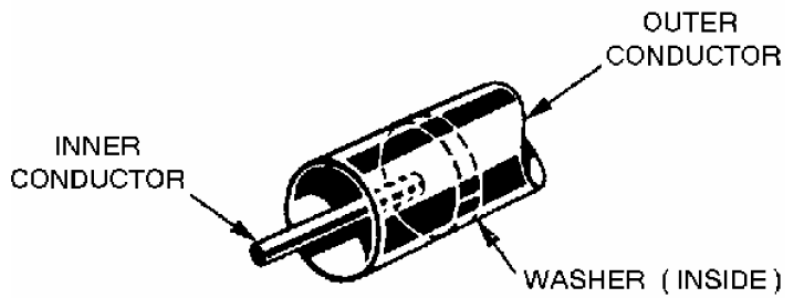
Ασύρματα Ηλεκτρονικά  
Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

Αρχές Ασύρματης  
Επικοινωνίας Δεδομένων

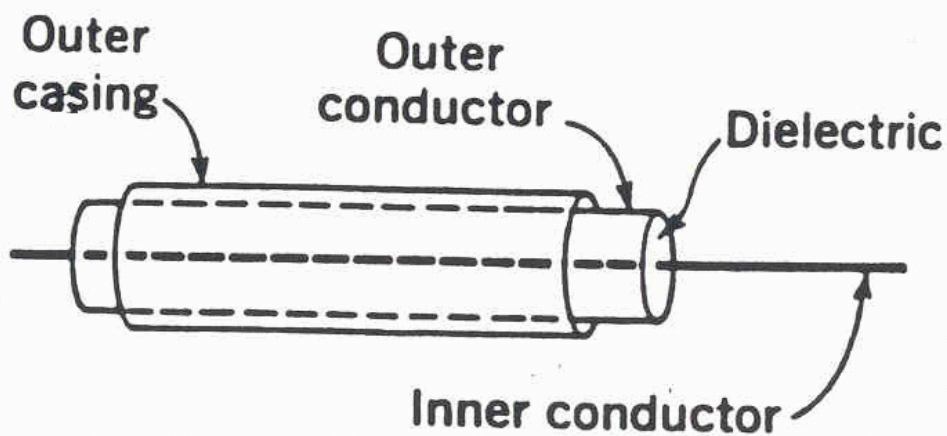
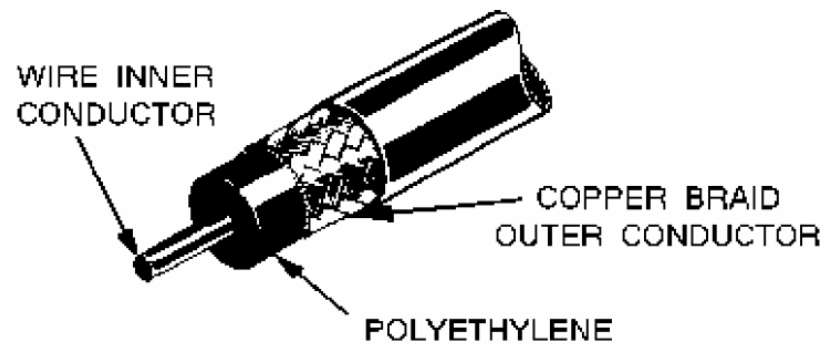
**Transmission lines**

Γραμμές Μεταφοράς

# Unbalanced (coaxial) line

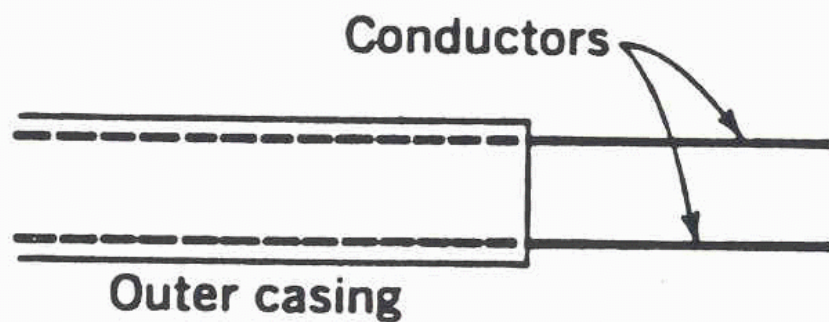
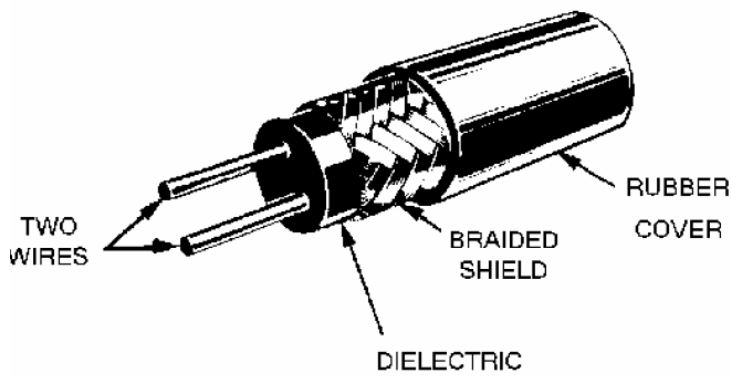
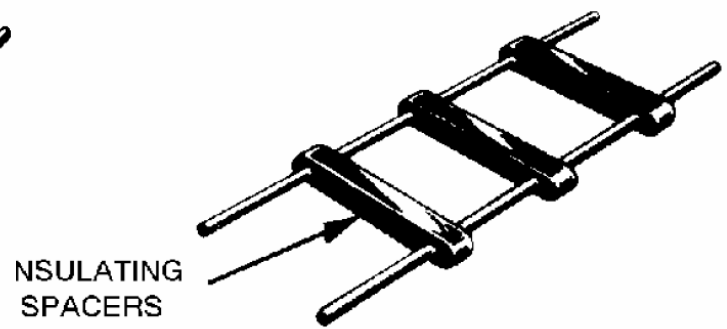
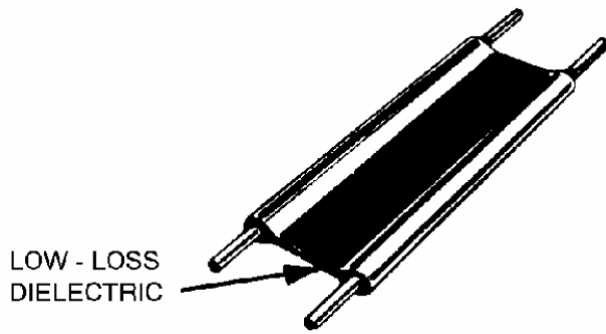


CABLE WITH WASHER INSULATOR



(a) Coaxial (unbalanced) line

# Balanced lines

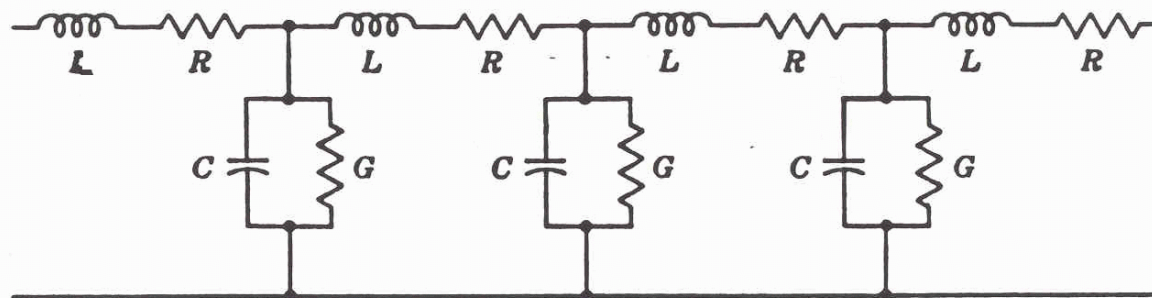


**(b) Parallel-wire (balanced) line**

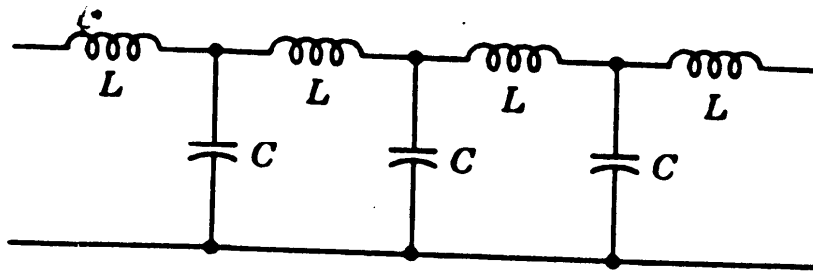
# Cable Table

**TABLE 7-1 Selected Transmission Lines (Coaxial Unless Otherwise Stated)**

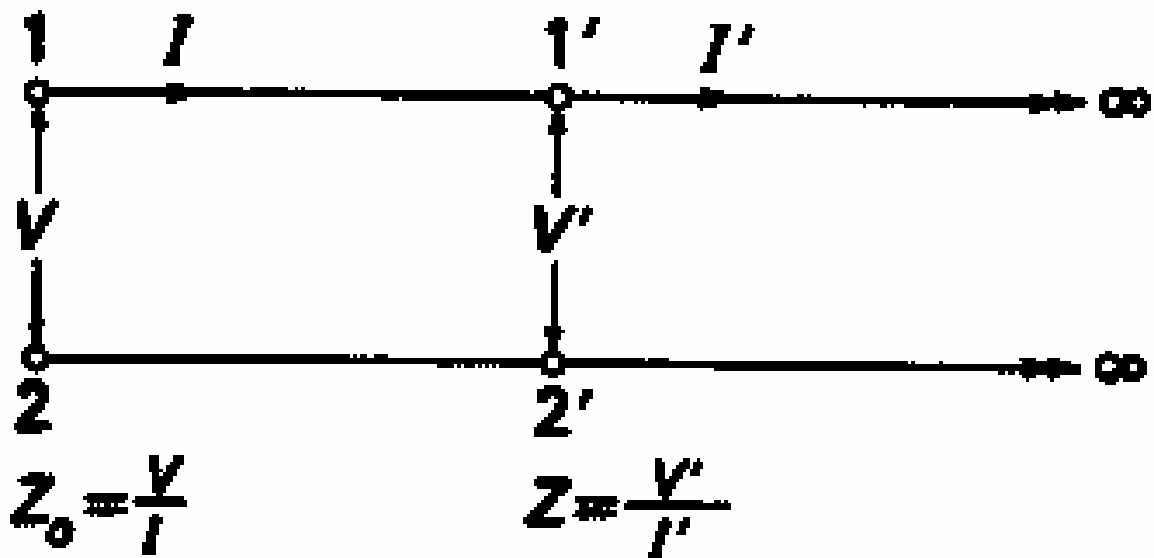
JAN TYPE, NO.	OUTSIDE DIAMETER, mm	$Z_0$ , ohms	DIELECTRIC MATERIAL	VELOCITY FACTOR	ATTENUATION PER METER, dB		AVERAGE POWER RATING, kW		NOTES
					@ 100 MHz	@ 1 GHz	@ 100 MHz	@ 1 GHz	
RG-58C/U	5.0	53.5	PE <sup>a</sup>	0.66	0.18	0.72	0.18	0.05	Small flexible
RG-213/U	10.3	52.0	PE <sup>a</sup>	0.66	0.08	0.28	0.68	0.19	Medium flexible (previously RG-8/U)
RG-218/U	22.1	52.0	PE <sup>a</sup>	0.66	0.03	0.14	2.0	0.50	Large LA <sup>b</sup> , HP <sup>c</sup> (previously RG-17A/U)
RG-11A/U	10.5	75.0	PE <sup>a</sup>	0.66	0.08	0.28	0.68	0.19	Medium flexible, video
RG-85A/U	39.8	75.0	PE <sup>a</sup>	0.66	0.03	0.14	2.0	0.50	Large LA <sup>b</sup> , HP <sup>c</sup> , armored
RG-55B/U	8.4	53.5	PE <sup>a</sup>	0.66	0.15	0.56	0.18	0.05	Small, microwave (previously RG-5B/U)
RG-211A/U	18.5	50.0	PTFE <sup>d</sup>	0.70	0.10	0.39	22.0	5.5	High temperature, semiflexible
( $\frac{1}{8}$ in)	22.2	50.0	PTFE <sup>d</sup> pins	0.81	0.01	0.04	4.8	1.6	Rigid } Essentially air dielectric,
( $\frac{3}{4}$ in)	79.4	50.0	PTFE <sup>d</sup> pins	0.81	0.003	0.01	52	17	Rigid } with PTFE <sup>d</sup> separating pins
( $\frac{6}{8}$ in)	155.6	75.0	PTFE <sup>d</sup> pins	0.81	0.001	0.005 <sup>e</sup>	150	46 <sup>e</sup>	Rigid } at regular intervals
(SLA12-50J)	12.7	50.0	PTFE <sup>d</sup> spiral	0.81	0.03	0.09	24	7	Air dielectric, flexible
RG-57A/U	15.9	95.0	PE <sup>a</sup>	0.66					Twin conductor, flexible
		300.0	Foam PE <sup>a</sup>	0.82	0.04 <sup>f</sup>	— <sup>g</sup>			Twin lead, flexible



**General equivalent circuit of transmission line.**



**Transmission-line RF equivalent circuit.**

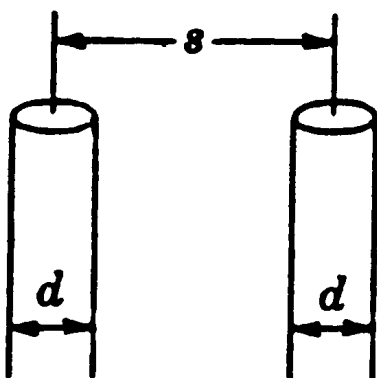


**Γραμμή απείρου μήκους**

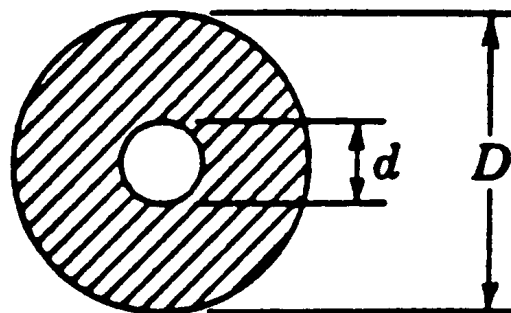
$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



(a) Parallel-wire



(b) Coaxial

**FIGURE 7-5** Transmission-line geometry.

$$Z_0 = 276 \log \frac{2s}{d}$$

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{k}} \log \frac{D}{d}$$

## Παράδειγμα

- Ένα τμήμα RG-59B/U ομοαξονικού καλωδίου έχει 75-Ω χαρακτηριστική αντίσταση και ονομαστική χωρητικότητα 69pF/m. Ποια είναι η επαγωγή του ανά μέτρο ; Αν η διάμετρος του εσωτερικού αγωγού είναι 0.584 mm και η διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού υλικού είναι 2.23 , ποια είναι η διάμετρος του εξωτερικού αγωγού ;

## ΛΥΣΗ

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$L = Z_0^2 C = 75^2 \times 69 \times 10^{-12} = 3.88 \times 10^{-7} = 0.388 \mu\text{H} / \text{m}$$

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{k}} \log \frac{D}{d}$$

$$\log \frac{D}{d} = \frac{Z_0}{138 / \sqrt{k}} = \frac{75}{138 / \sqrt{2.23}} = 0.81$$

$$D = D_{\text{anti}} \log 0.81 = 0.584 \times 6.457 = 3.77 \text{ mm}$$

## Παράδειγμα

Ποια είναι η ελάχιστη τιμή που θα μπορούσε να έχει η χαρακτηριστική αντίσταση παράλληλης γραμμής με διηλεκτρικό τον αέρα;



## ΛΥΣΗ

- Η ελάχιστη χαρακτηριστική αντίσταση υπάρχει όταν το  $2s/d$  είναι επίσης ελάχιστο και αυτό επιτυγχάνεται όταν τα δυο καλώδια του σχήματος 7-5a έρθουν σχεδόν σε επαφή. Τότε  $s = d$  και έχουμε :

$$Z_{0,\min} = 276 \log 2x1 = 276x0.3010 = 83\Omega$$

## Παράδειγμα

- Ένα ομοαξονικό καλώδιο , με εσωτερική διάμετρο 0.025mm και με μονωτικό υλικό που έχει διηλεκτρική σταθερά 2.56 , έχει χαρακτηριστική αντίσταση 2000Ω. Ποια πρέπει να είναι η εξωτερική διάμετρος του αγωγού ;

# ΛΥΣΗ

$$\log \frac{D}{d} = \frac{Z_0}{138/\sqrt{k}} = \frac{2,000}{138/\sqrt{2.56}} = 2,000 \times \frac{1.6}{138} = 23.1884$$

$$D = dxanti \log 23.1884 = 0.025 \times 10^{23} \times 1.543 = 3.86 \times 10^{21} \text{ mm}$$

$$= 3.86 \times 10^{15} \text{ km} = \frac{3.86 \times 10^{15}}{9.44 \times 10^{12}} = 409 \text{ έτη φωτός}$$

# ΑΠΩΛΕΙΕΣ

- **Ακτινοβολία**

Υπάρχουν απώλειες λόγω ακτινοβολίας καθώς η γραμμή μεταφοράς μπορεί να συμπεριφέρεται σαν μια κεραία

- **Θέρμανση Αγωγού**

Η θέρμανση αγωγού ή απώλεια  $I^2R$ , είναι ανάλογη του ρεύματος και επομένως αντιστρόφως ανάλογη με την χαρακτηριστική αντίσταση

- **Θέρμανση διηλεκτρικού**

Η θέρμανση διηλεκτρικού είναι ανάλογη της τάσης που υπάρχει στο διηλεκτρικό

## Παράγοντας ταχύτητας

- Η ταχύτητα του φωτός και όλων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων εξαρτάται από το μέσο που μεταδίδονται

$$v = \frac{v_c}{\sqrt{k}}$$

όπου  $v$  = ταχύτητα στο μέσο  
 $v_c$  = ταχύτητα του φωτός στο  
κενό  
 $k$  = διηλεκτρική σταθερά του  
μέσου (1 για το κενό και κοντά στο  
1 για τον αέρα)

Ο παράγοντας ταχύτητας για ένα διηλεκτρικό, και επομένως για ένα καλώδιο, είναι ο λόγος μείωσης της ταχύτητας και έτσι δίνεται ως :

$$v_f = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

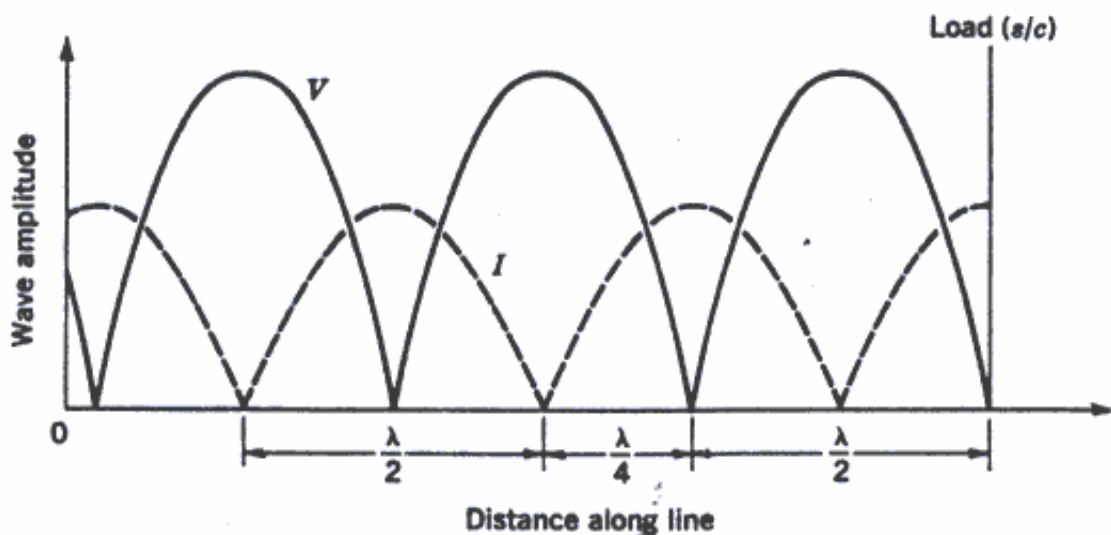
Οι διηλεκτρικές σταθερές των υλικών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις γραμμές μεταφοράς ποικίλουν από 1.2 έως 2.8, για παράγοντες ταχύτητας από 0.9 έως 0.6.

Επειδή  $v = f\lambda$  και  $f$  είναι σταθερά, το μήκος κύματος  $\lambda$  μειώνεται και αυτό με έναν λόγο που ισούται με τον παράγοντα ταχύτητας

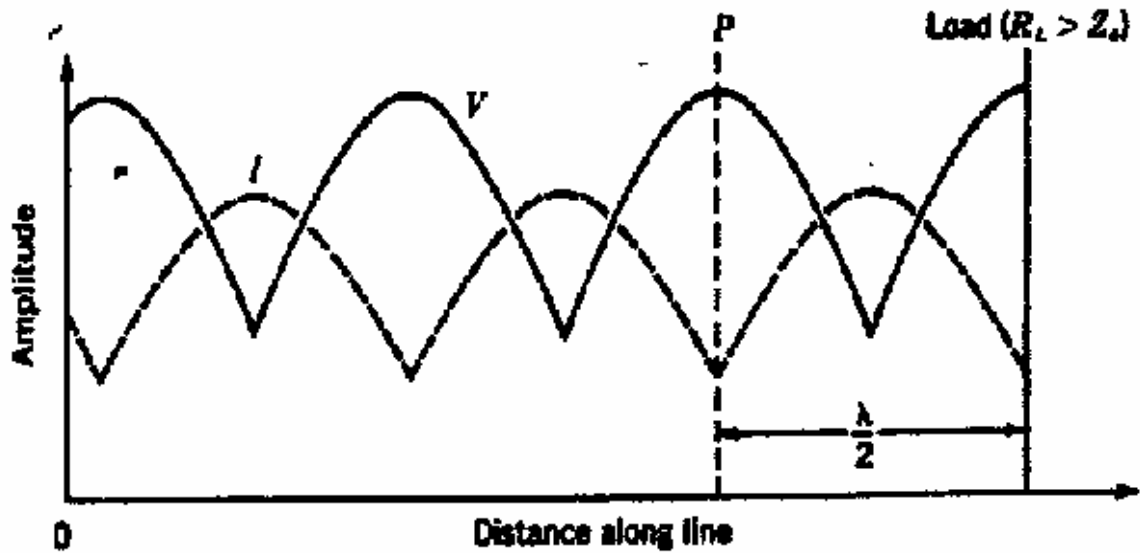
## Στάσιμα Κύματα

Αν μια γραμμή μεταφοράς δεν έχει απώλειες και είναι άπειρου μήκους ή τερματίζεται στην χαρακτηριστική της αντίσταση, όλη η ισχύς που εφαρμόζεται στην γραμμή από μια γεννήτρια στην μια άκρη απορροφάται από το φορτίο στην άλλη άκρη.

Αντίθετα, αν μια πεπερασμένη σε μήκος γραμμή τερματίζεται σε αντίσταση που δεν ισούται με την χαρακτηριστική αντίσταση, μπορεί να εκτιμηθεί ότι τμήμα της ισχύος που εφαρμόζεται θα απορροφηθεί από το σημείο τερματισμού. Η υπόλοιπη ισχύς θα ανακλαστεί



Γραμμή χωρίς απώλειες που τερματίζεται σε βραχυκύκλωμα



Γραμμή χωρίς απώλειες που τερματίζεται με αντίσταση μεγαλύτερη από  $Z_0$

## Λόγος στάσιμων κυμάτων

*Ο λόγος ο λόγος της μέγιστης ισχύος προς την ισχύ που μεταφέρεται στο φορτίο λέγεται λόγος στάσιμου κύματος*

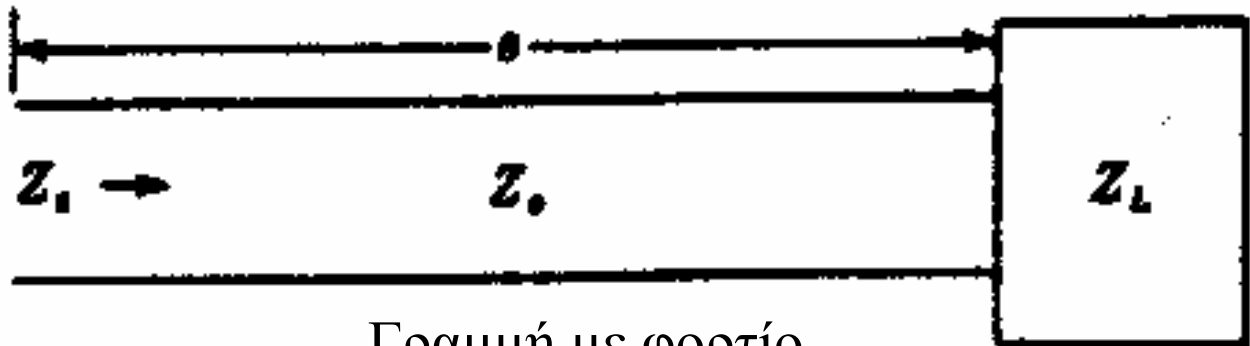
τελικά :

$$SWR = \frac{Z_0}{R_L} \quad \text{ή} \quad SWR = \frac{R_L}{Z_0} \quad (\text{ανάλογα πιο είναι μεγαλύτερο})$$

# Γραμμές τετάρτου και μισού μήκους κύματος

Αντιστροφή εμπέδησης από γραμμές ενός τέταρτου μήκους κύματος ( $s=\lambda/4$ )

$$Z_s = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$



Γραμμή με φορτίο  
Στάσιμα Κύματα

