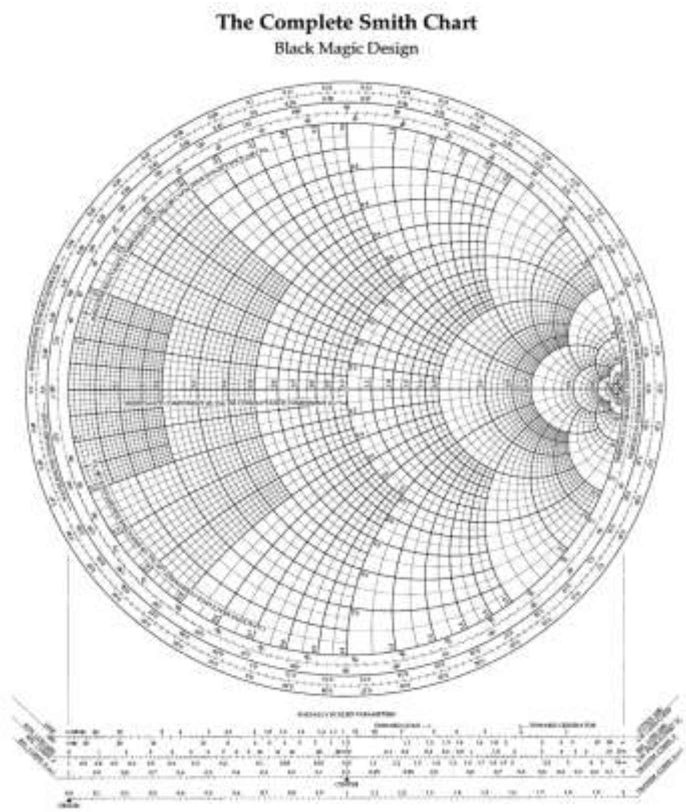
Réunion du 17 février 2023

Impédances complexes
Abaque de Smith

Présentation par F5OAU

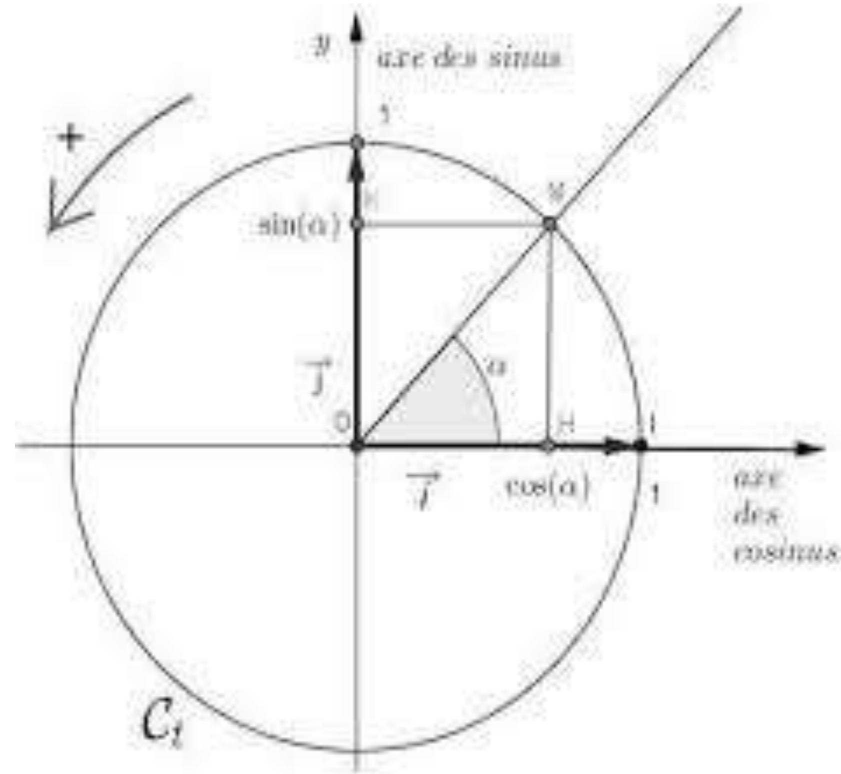
sommaire

- courant alternatif
- impédances en courant alternatif
- lignes de transmission
- abaque de Smith
- exemple utilisation abaque Smith



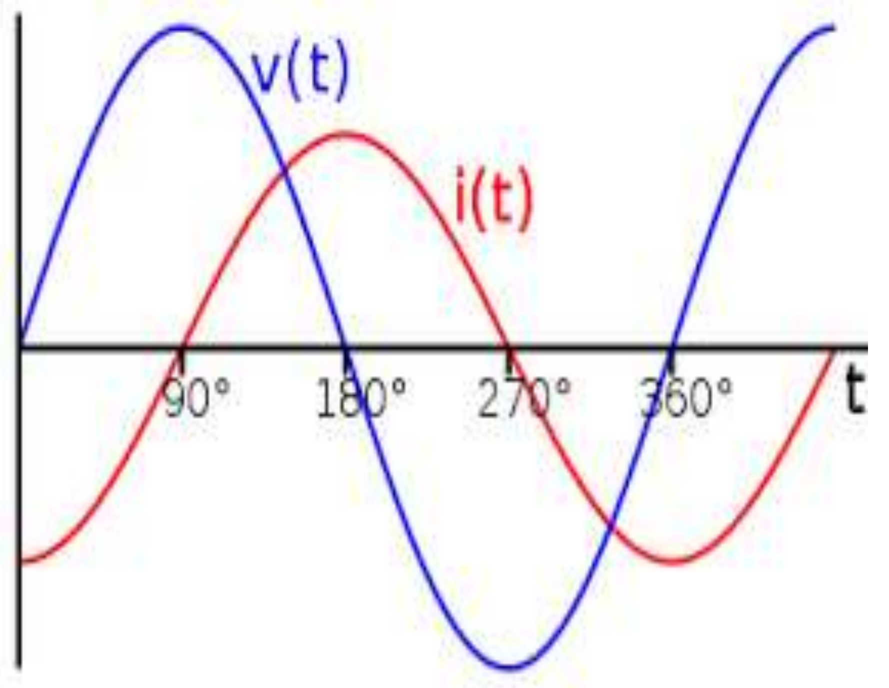
Cercle trigonométrique

- Repère xOy
- cercle rayon unité
 centre O
- Point M tourne sur cercle
à vitesse constante
- position M déterminée par α
- H projection de M sur Ox
- OH = cos(α)
- OH varie alternativement de
  1 à -1 en passant par 0



Courant alternatif sinusoïdal

- tension et courant sont des fonctions sinusoïdales du temps
- $v = Vm.\cos(\omega t+\varphi)$
- $i = Im.\cos(\omega t+\Psi)$
- ω pulsation = vitesse angulaire = 2π f
- φ et ψ phases



Loi d'Ohm en courant alternatif

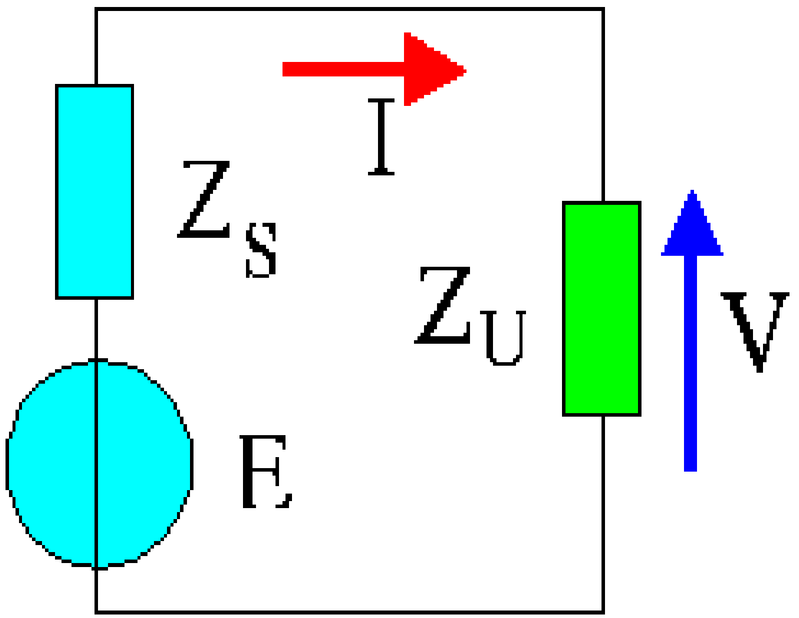
- loi d'Ohm s'applique en courant alternatif aux valeurs instantanées mais tension et courant pas forcément en phase

v = Vm . cos(2.π.f)

i = Im . cos(2.π.f+φ)

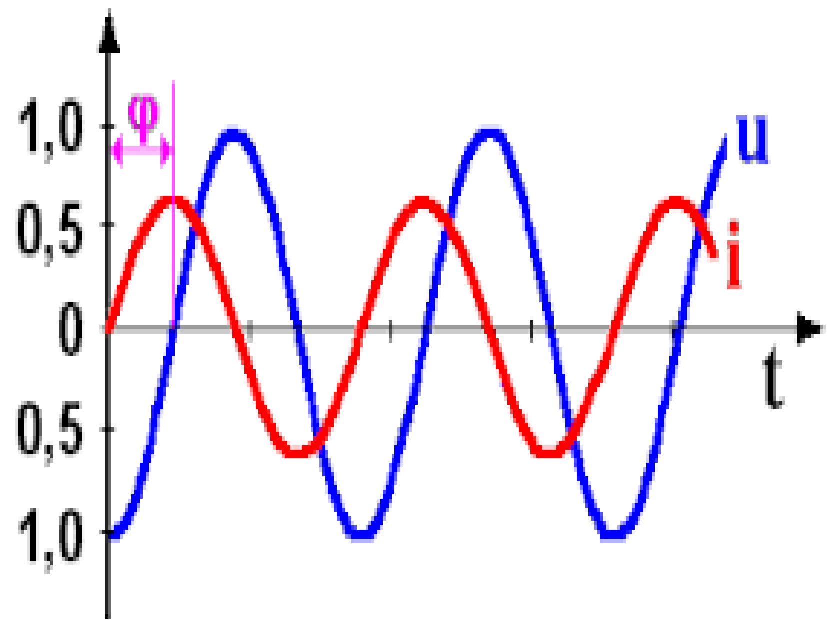
Z : Impédance (résistance au courant alternatif)

z = v / i = Z cos(2.π.f+ψ)



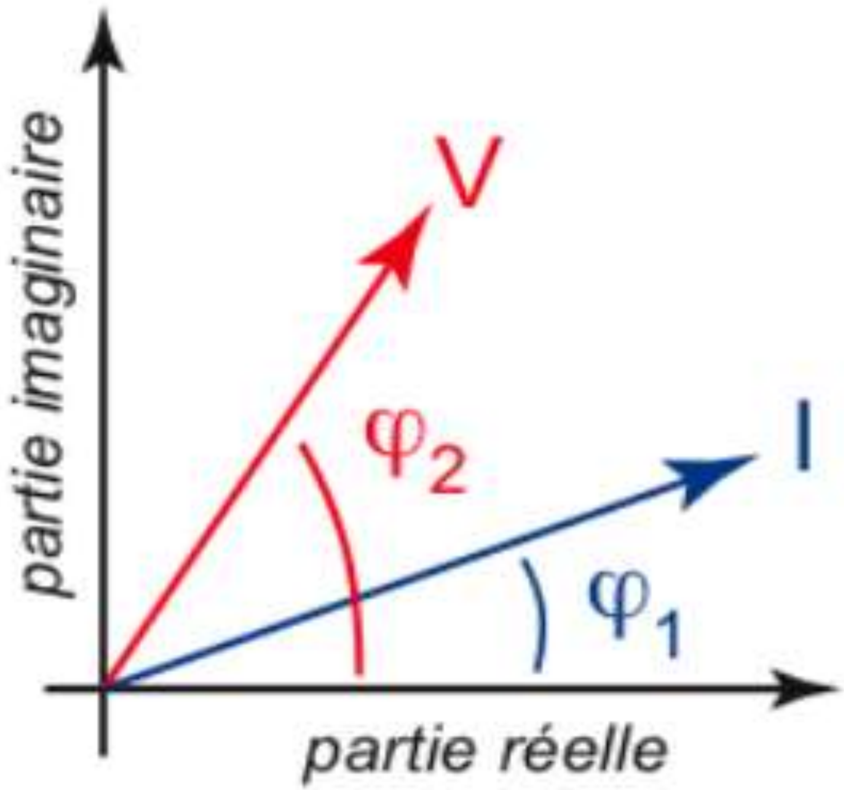
Modélisation mathématique du courant alternatif

- Pour une <u>fréquence déterminée</u> courant, tension, impédance alternatifs sinusoïdaux définis par :
- amplitude
- phase



Modélisation vectorielle

- $i = Im \cos(2\pi f + \varphi_1)$
- $v = Vm \cos(2\pi f + \varphi_2)$
- amplitudes Im, Vm modules vecteurs
- phases φ_1, φ_2 angle vecteur par rapport axe Ox



Modélisation par nombre complexes

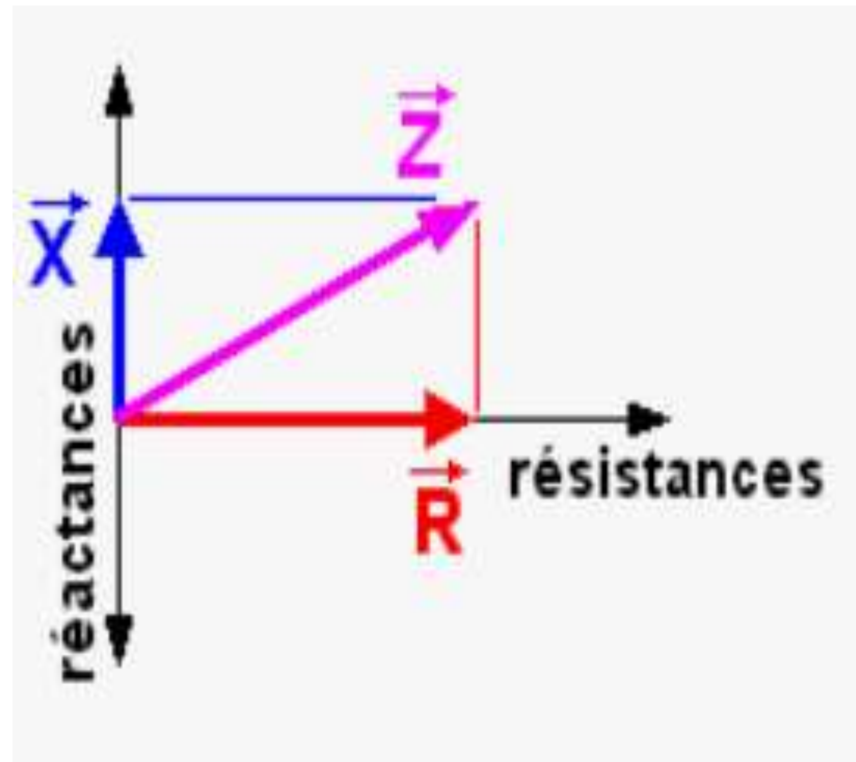
- même modélisation que vectorielle
- vecteur défini par abscisse R et ordonnée X
- écriture coordonnées sous forme : $Z = R + j . X$

Avec $j^2 = -1$

- référence phase : phase courant

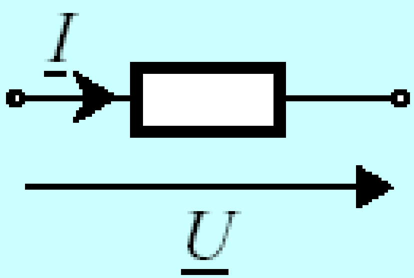
R résistance pure

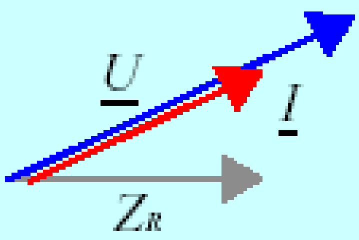
X impédance réactive



impédance résistance

IMPEDANCE DE LA RESISTANCE





$$u(t) = R \cdot i(t)$$

$$\underline{U} = R \cdot \underline{I}$$

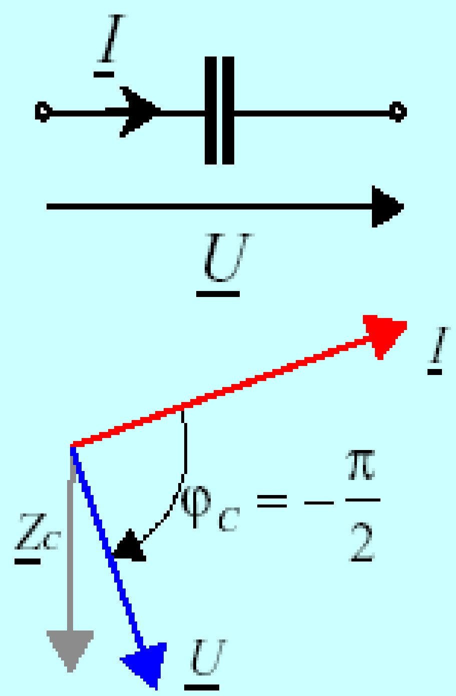
$$\boxed{\underline{Z} = R}$$ **résistance**

$$\underline{Y} = \frac{1}{R}$$ **conductance**

dans une résistance, la phase de l'impédance est nulle

impédance capacité

IMPEDANCE DE LA CAPACITE



$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

$$\underline{I} = j \cdot \omega \cdot C \cdot \underline{U}$$

$$\boxed{\underline{Z} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} = j \cdot X_C$$ **réactance**

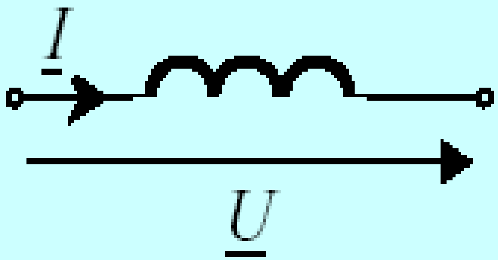
$X_C < 0$!

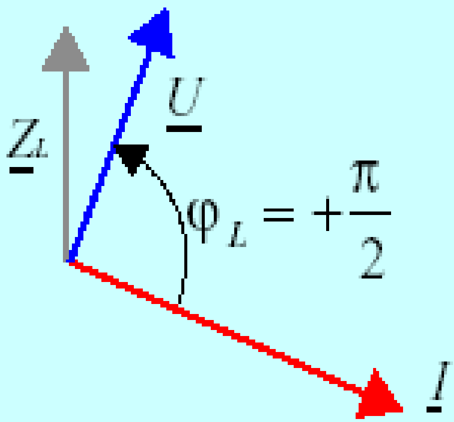
$$\underline{Y} = j \cdot \omega \cdot C = j \cdot B_C$$ **susceptance**

dans une capacité idéale, la phase de l'impédance est de - π/2.

Impédance inductance

IMPEDANCE DE L'INDUCTANCE





$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$\underline{U} = j \cdot \omega \cdot L \cdot \underline{I}$$

$$\boxed{\underline{Z} = j \cdot \omega \cdot L} = j \cdot X_L$$ **réactance**

$$\underline{Y} = -j \cdot \frac{1}{\omega \cdot L} = j \cdot B_L$$ **susceptance**

$B_L < 0$!

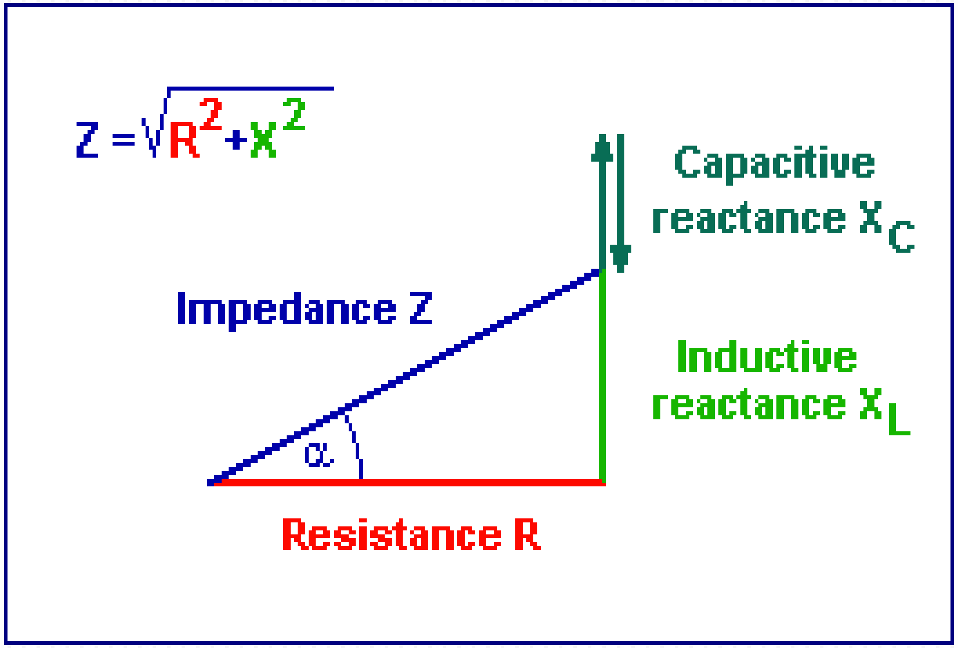
dans une inductance idéale, la phase de l'impédance est de + π/2.

Impédance réactive

- opposition au passage du courant alternatif sans production chaleur

- stockage énergie puis restitution ==> pas de consommation d'énergie

- courant déphasé de 90°par rapport à la tension



Impédance en courant alternatif

- Impédance Z = opposition au passage du courant alternatif

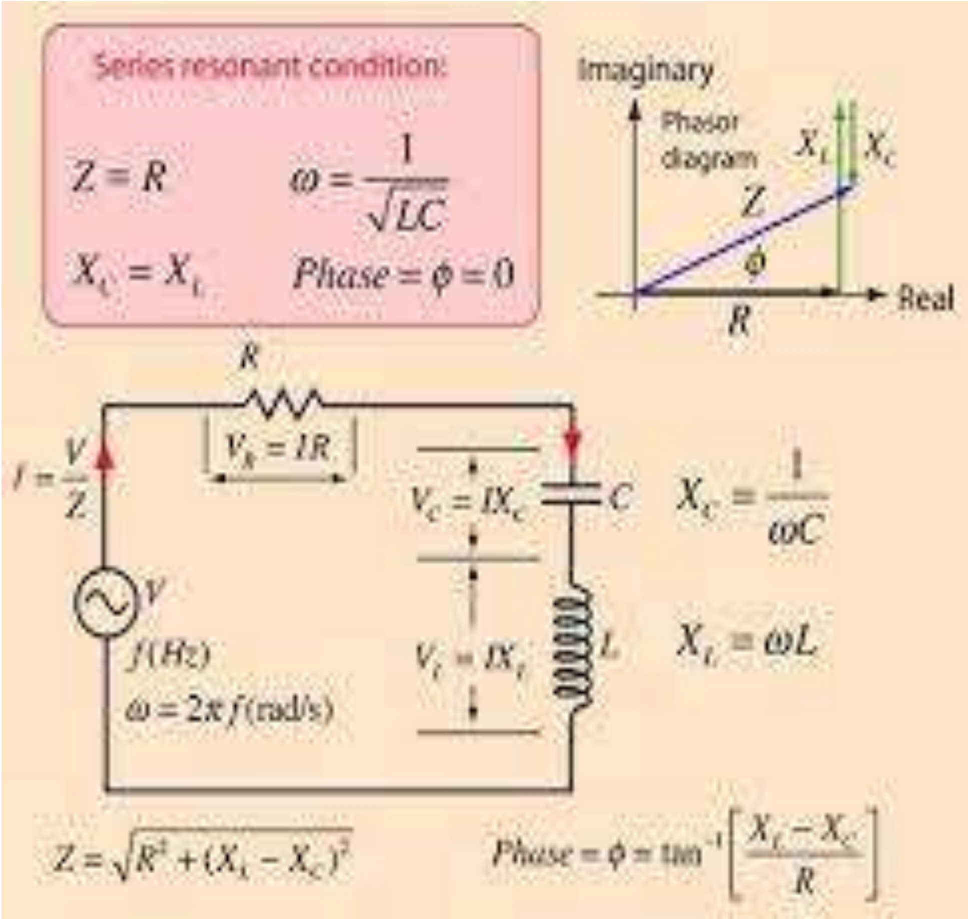
- Impédance réelle R : dégagement de chaleur

(résistance)

- Impédance imaginaire X : pas de dégagement de chaleur

(self – condensateur)

Z = R + j X



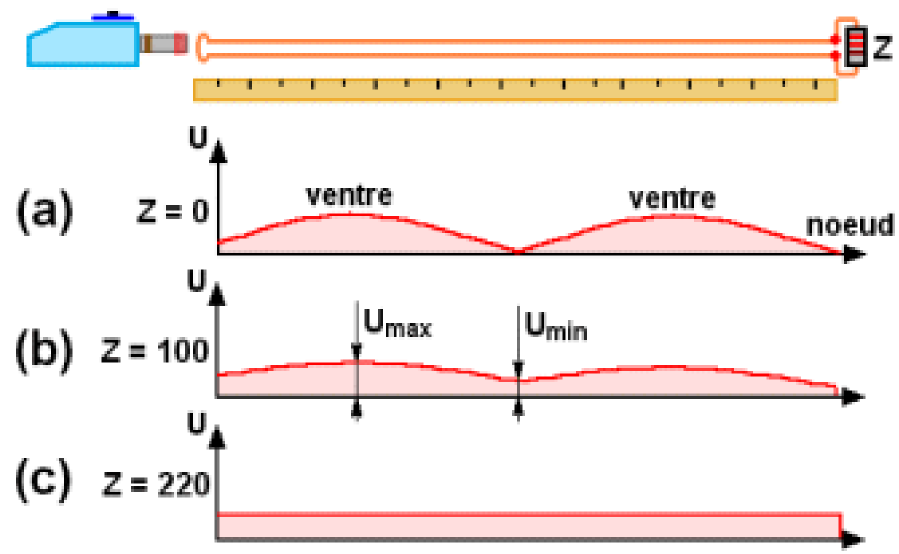
Ligne de transmission

- propagation du courant alternatif sur une ligne ==> onde directe

- si énergie pas absorbée en bout de ligne ==>réflexion ==> onde réfléchie

- coefficient réflexion = réfléchi / direct

- superposition directe - réfléchi ==> ventres-noeuds de tension

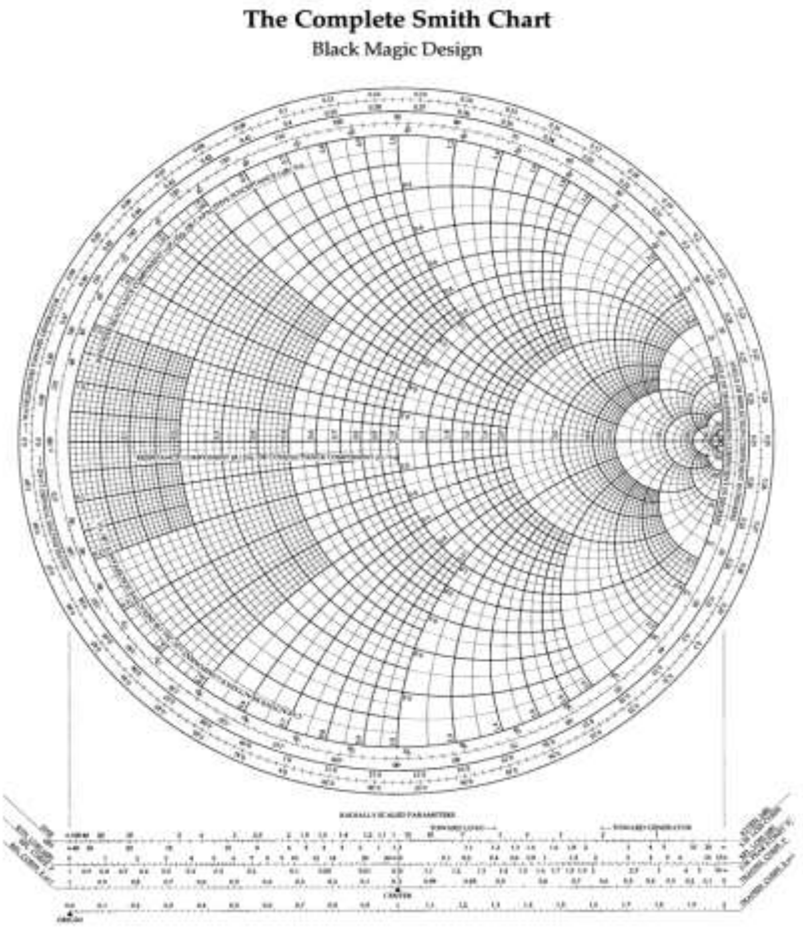


$$\rho = \frac{Ur}{Ud} = \frac{Ir}{Id}$$

$$ROS = \frac{1+\rho}{1-\rho}$$

Abaque de Smith

- Représentation graphique ROS et impédances complexes
- Permet des calculs simplifiés
- De transformation d'impédance par ligne
- De circuits adaptation d'impédances
- De filtres
- ….



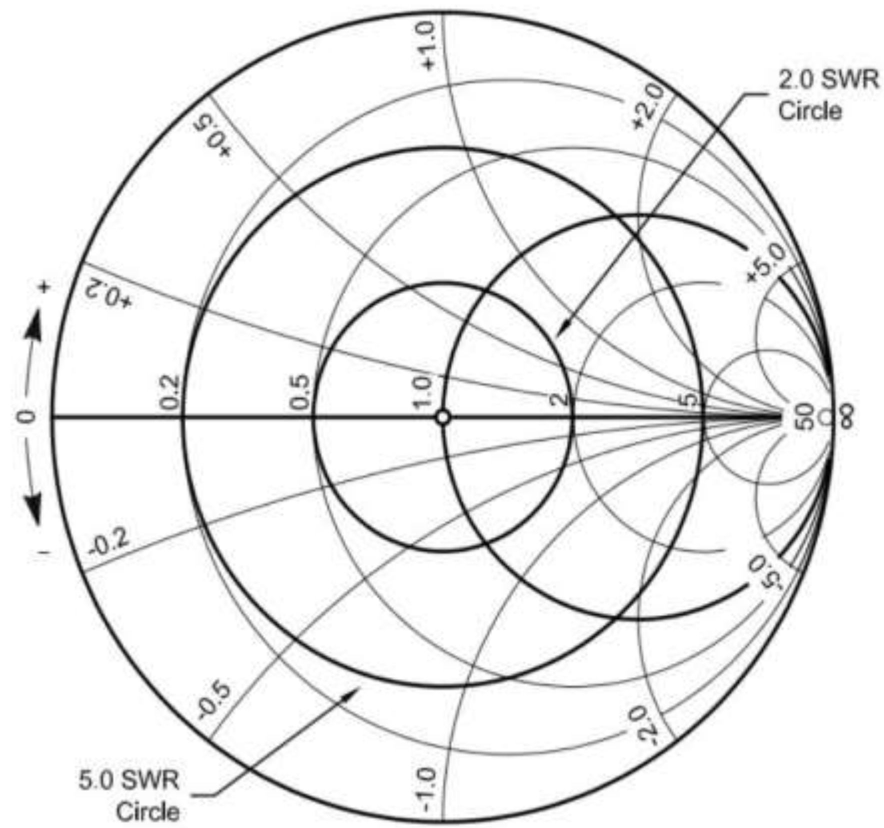
Impédances normalisées

- Tous calculs réalisés par rapport une impédance caractéristique de ligne égale à 1

===> on divise toutes les impédances par Zc. Au final on remultiplie le résultat par Zc

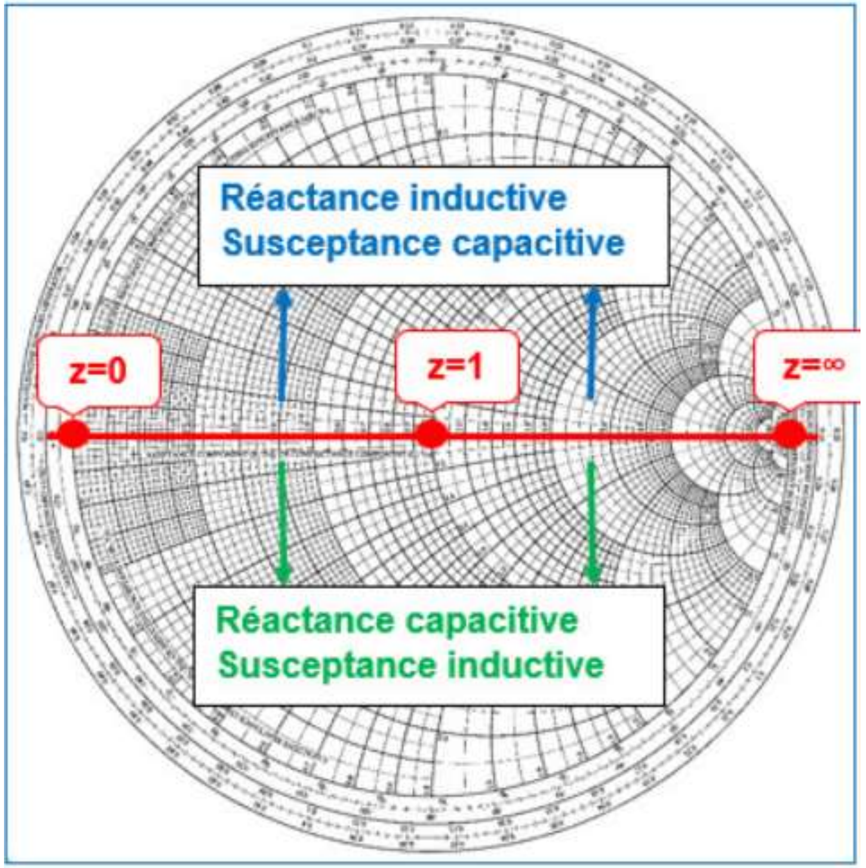
===> pour susceptances on multiplie par Zc et au final on divise par Zc

- Z = 1 Ω : centre abaque



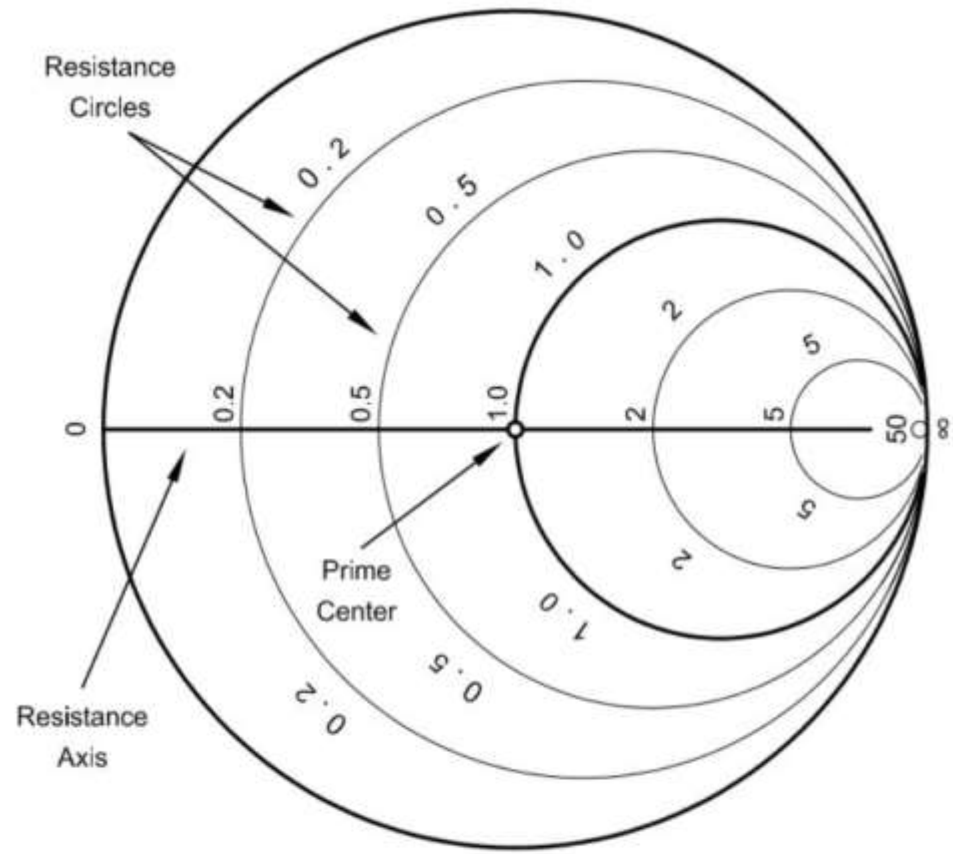
Impédances sur abaque

- axe horizontal :
  résistances pures
- demi-disque supérieur :
  réactance inductive ou
  susceptance capacitive
- demi-disque inférieur :
  réactance capacitive ou
  susceptance inductive



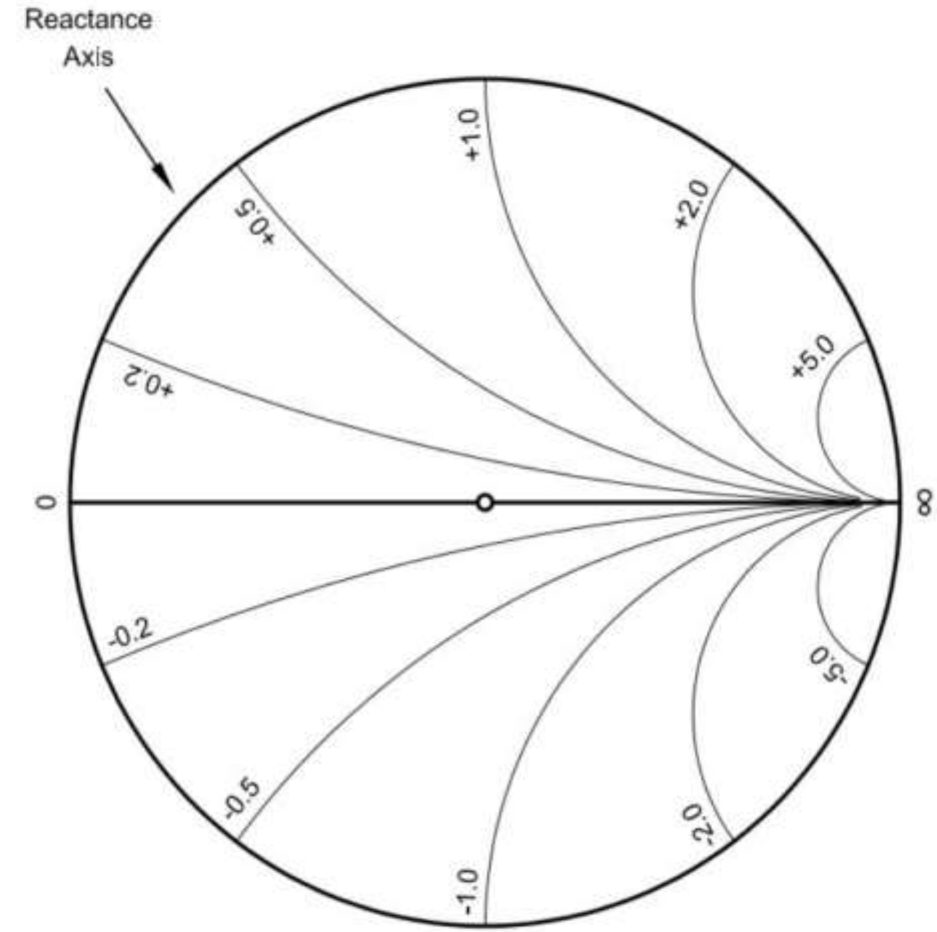
Cercles des résistances

- réseau de cercles centrés sur axe horizontal et tangents au point R = infini
- centre abaque R = 1



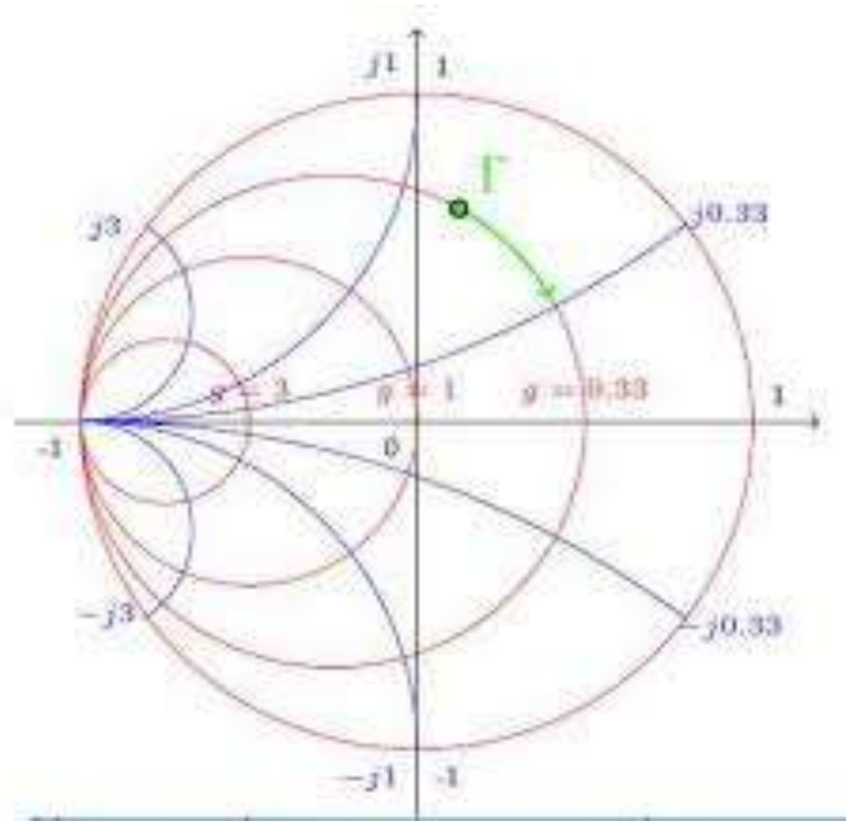
Arcs de cercles des réactances

- portions de cercles tangents à l'axe horizontal et passant par le point Z = infini
- partie supérieure Z positif : inductances
- partie inférieure Z négatif :capacitances



Arcs de cercles des susceptances

- portions de cercles tangents à l'axe horizontal et passant par le point Z = 0
- partie supérieure Z positif : capacitances
- partie inférieure Z négatif :inductances



Positionnement Impédance sur abaque

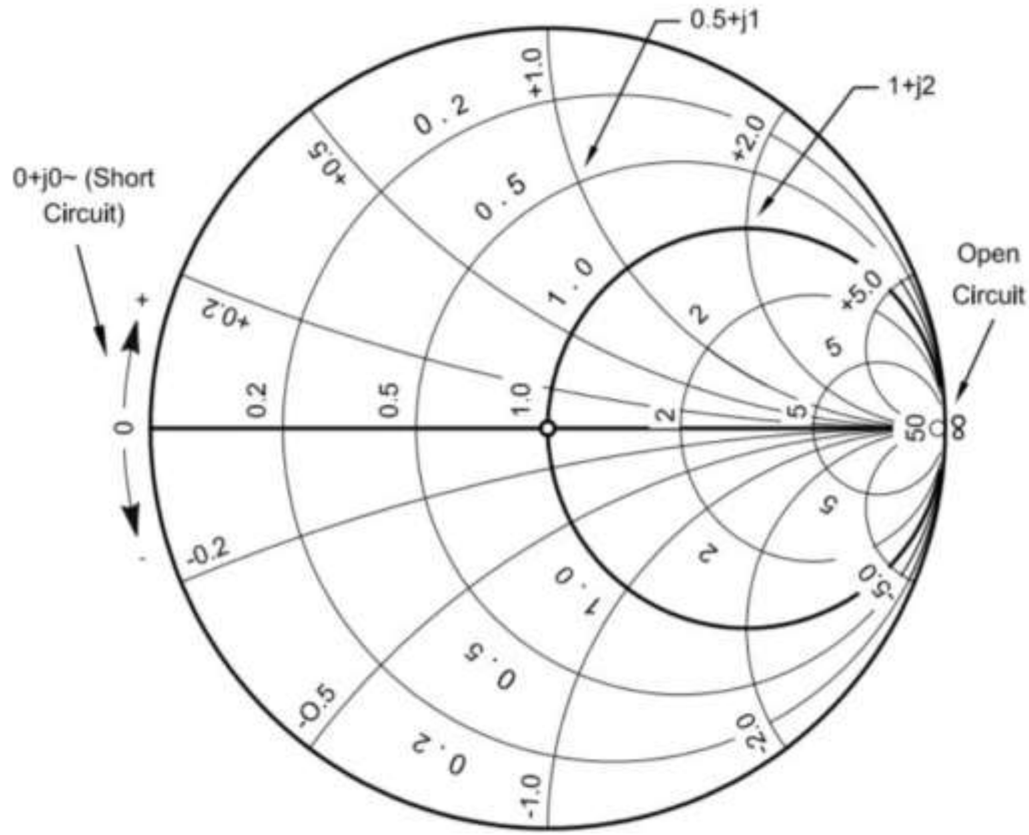
- Impédance normalisée

  Z = R + j X

- R résistance pure
- X réactance

==> Z sur abaque à l'intersection cercle résistance R et arc réactance X

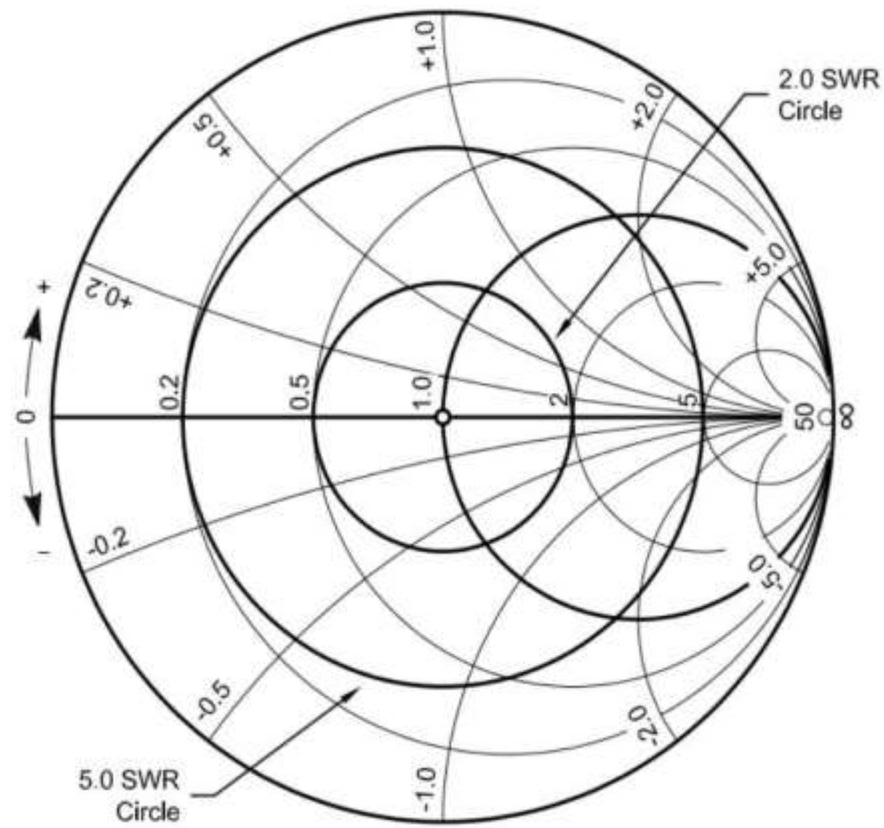
<u>**Attention au signe de X**</u>



Cercles des ROS

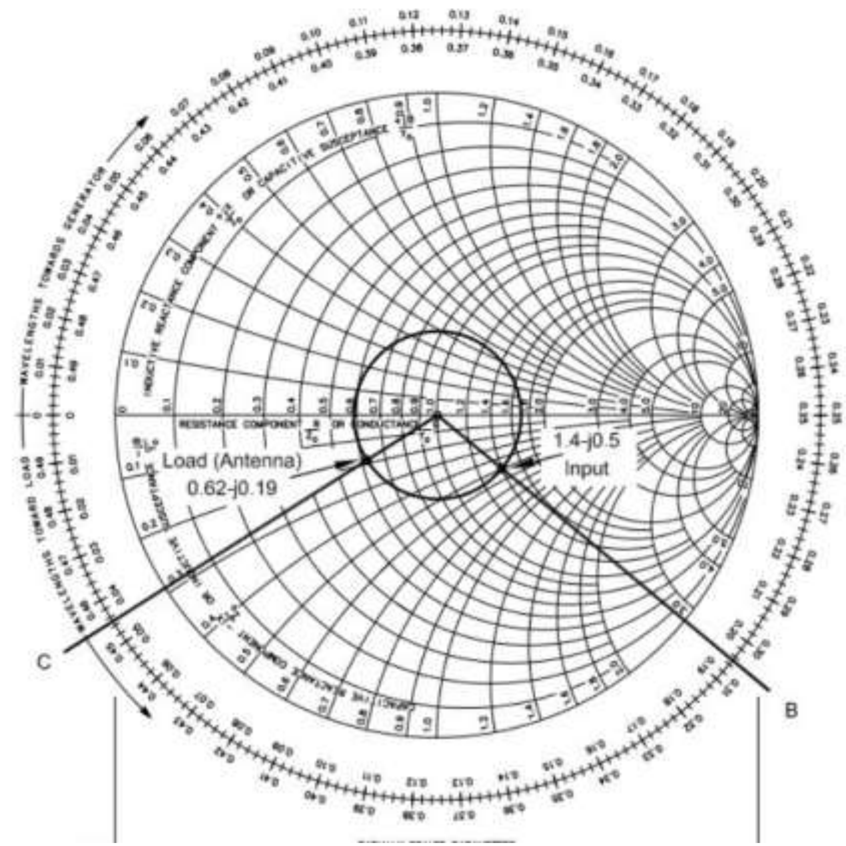
- cercle concentriques de centre Z = 1 (centre abaque)
- lecture du ROS à l'intersection de l'axe horizontal (résistances pures)

==> module ROS constant sur tout le cercle



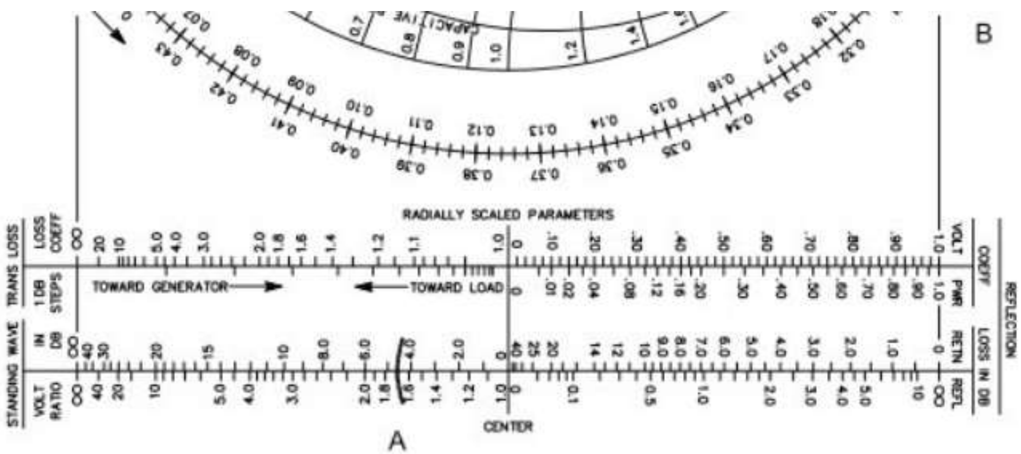
Échelles des longueurs de ligne

- cercles gradués en périphérie de l'abaque
- en longueurs d'onde : 0 à 0,5 λ pour un tour
- en degrés 0 à 180° pour un tour
- <u>attention au sens de rotation :</u> de l'émetteur à l'antenne ou inversement



Échelles annexes

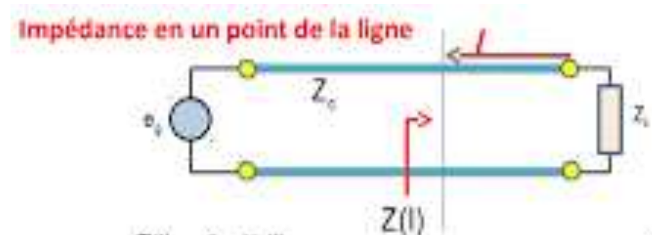
- en dessous abaque circulaires règles graduées
- conversion ROS en dB
- calculs pertes...



Antenne alimentée en ondes stationnaires

- Ligne transforme l'impédance complexe de l'antenne en une autre impédance complexe
- Calcul par :

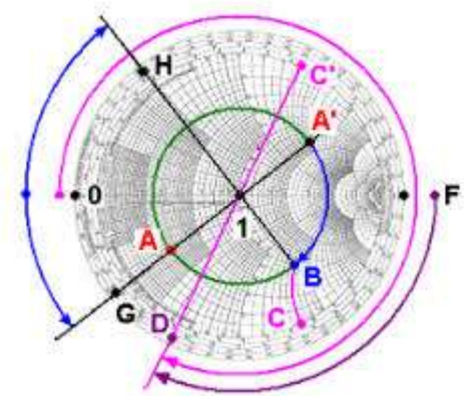
- formule,
- abaque de Smith,
- mesure en bout de ligne avec analyseur d'antenne



$$z(l) = \frac{Z(l)}{Z_c} = \frac{1+\Gamma_r(l)}{1-\Gamma_r(l)} \qquad \Gamma_r(l) = \frac{z(l)-1}{z(l)+1}$$

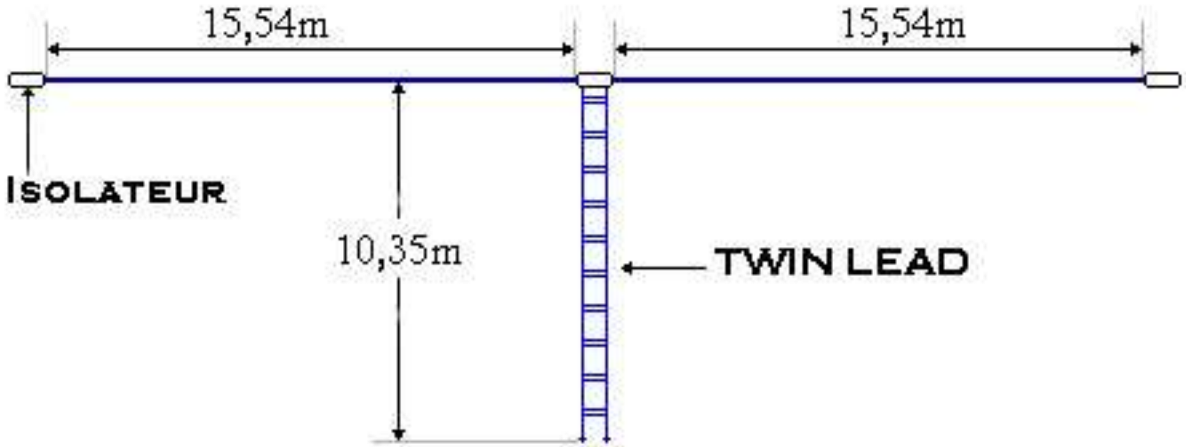
$$z(l) = \frac{1+\Gamma_L e^{-2\gamma l}}{1-\Gamma_L e^{-2\gamma l}} \qquad \Gamma_L = \frac{z_L-1}{z_L+1}$$

$$z(l) = \frac{1+\dfrac{z_L-1}{z_L+1}e^{-2\gamma l}}{1-\dfrac{z_L-1}{z_L+1}e^{-2\gamma l}}$$



Antenne G5RV

- dipôle alimenté par ligne symétrique puis câble coaxial 50 Ω
- dipôle 2 x 15,54m
- hauteur 12m/sol
- ligne bifilaire 450 Ω 10,35 m - coeff vélocité 0,91
- connexion à coax 50 Ω en bout de ligne symétrique



Antenne G5RV

- calcul impédance en extrémité de ligne symétrique
- impédance antenne calculées avec MMANA

F (MHz)	R (Ohm)	jX (Ohm)	ROS 50
1.825	1.211	-1533	38861
3.65	21.23	-361.5	125
7.15	710.9	1311	62.7
10.12	1394	-2196	97.1
14.15	111.8	1.554	2.24
18.12	4102	1256	89.8
21.2	218.4	-812.5	65.0
24.94	253.2	487.1	24.0
28.5	1971	-1595	65.3

MMANA

Antenne G5RV sur 40m

- calcul impédance en extrémité de ligne symétrique sur bande 40 m (7,150 Mhz)

- impédance antenne calculées avec MNANA

Z = 710,9 Ω + j 1311 Ω

- impédance normalisée ligne 450 Ω

Zc = 1,6 + j 2,9

- Longueur électrique ligne 10,35/0,91 = 11,37m

soit 11,37 /300x7,150 = 0,271 λ

soit 360x0,271 = 97,6°

Antenne G5RV

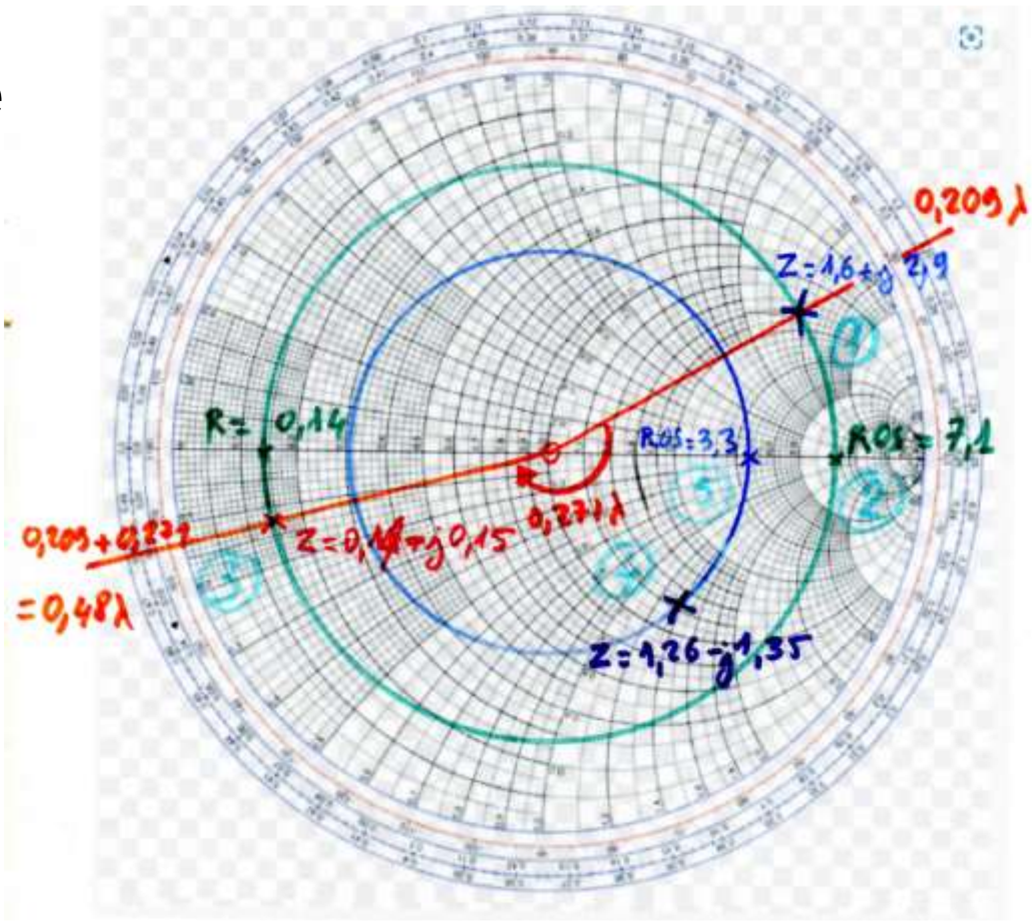
- positionner sur l'abaque l'impédance normalisée de l'antenne :

Zc = 1,6 + j 2,9

- tracer le cercle de centre Z=1 et qui passe par Zc

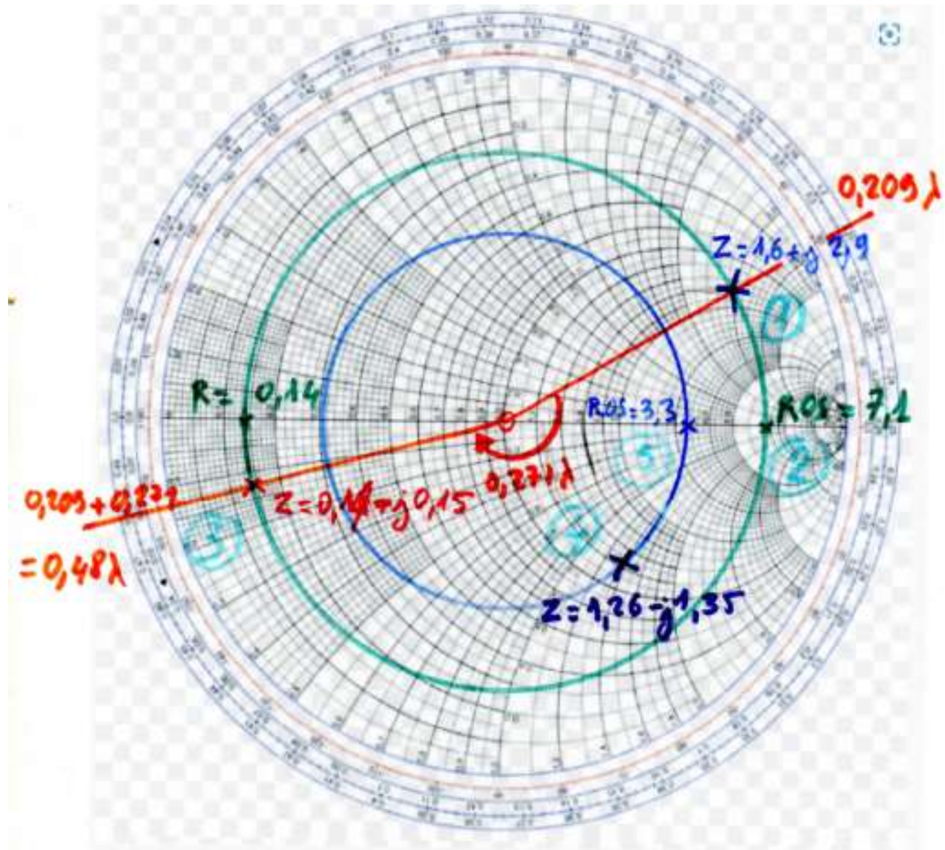
- lire valeur du ROS dans ligne 450 Ω sur axe des résistances

ROS = 7,1 (1/ 0,14)



Antenne G5RV

- sur le cercle du ROS = 7,1 déplacer Zc dans le sens des aiguilles d'une montre de 0,271 λ ou 47,8°
- lire la nouvelle valeur de Z : 0,14 – j 0,15
- dénormaliser Z (x450)



Impédance en bout ligne 450 Ω

Z = 63 Ω – j 67,5 Ω

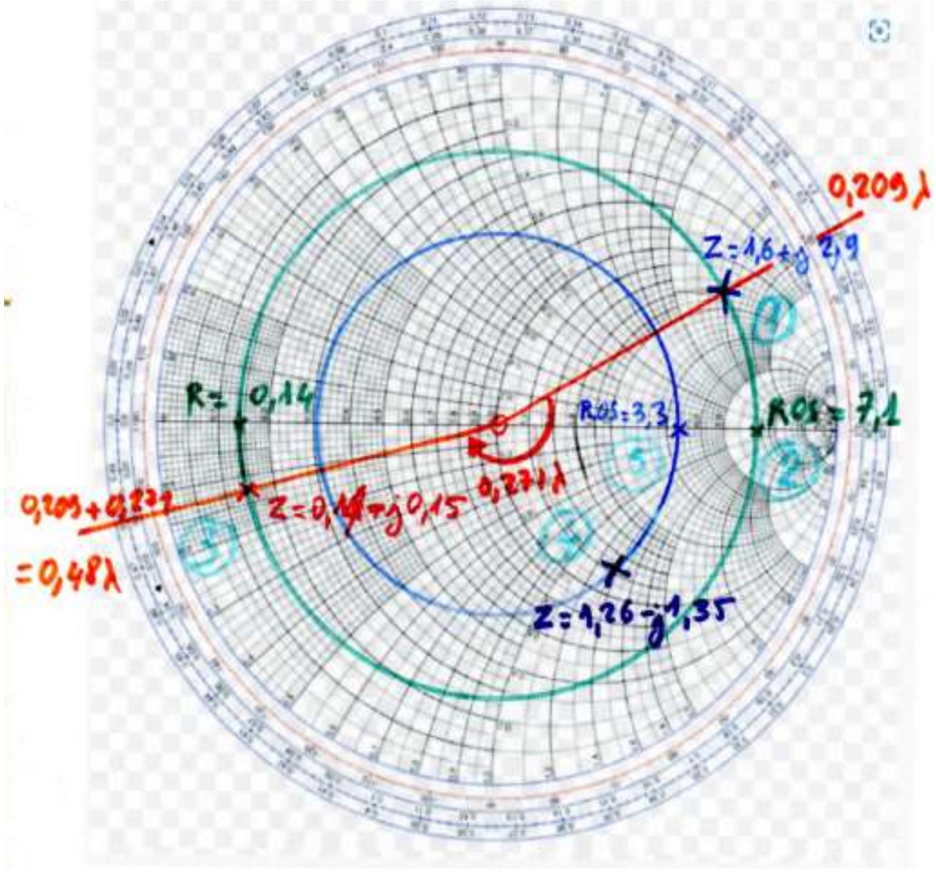
Antenne G5RV

- normaliser Z en bout de ligne 450 Ω par impédance coaxial 50Ω

Z' : 1,26 - j 1,35

- positionner Z' sur abaque et tracer cercle ROS (centre Z=1)

- lire ROS coax sur axe résistances ROS= 3,3

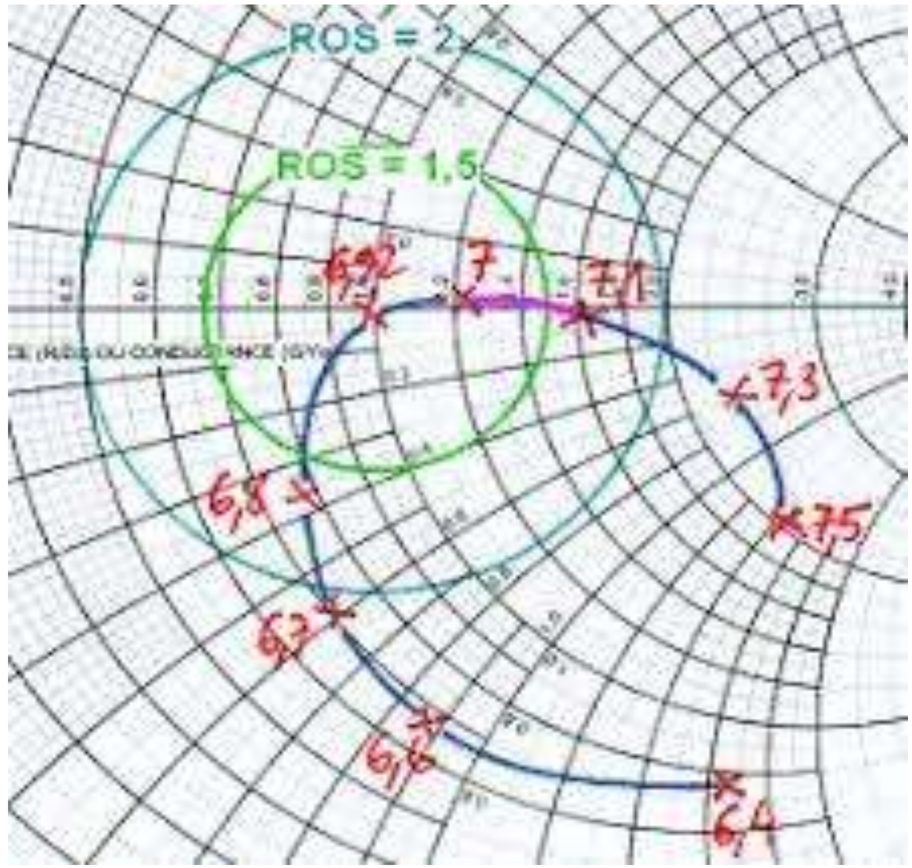


Autres applications abaque Smith

très nombreuses :

- circuits adaptation d'impédances
- filtres
- impédance antenne
- pertes dans ligne
- bande passante antenne

…...cf F5ZV



sources

https://on5vl.org/abaque-de-smith-

https://f5zv.pagesperso-orange.fr/

Merci pour votre attention

Et bon trafic en déca