

CAP. I LINII DE TRANSMISIE

1. Introducere

1.1 Clasificarea antenelor

Alegerea unui criteriu de sistematizare a materialului informativ privind antenele este o problemă interesantă. Cărțile de popularizare referitoare la antene s-au ocupat în general de prezentarea diferitelor tipuri de antene și mai puțin de clasificarea lor. Astfel constatăm adoptarea succesivă a unor criterii diferite în aceeași carte. Exemple:

- după destinație: antene de recepție și emisie
- după lungimea de undă: antene de UL, UM, US, UUS etc.
- după lucrul pe armonici: antene monoband și multiband
- după lărgimea de bandă: antene de bandă îngustă, de bandă largă și foarte largă
- după regimul undelor: antene cu unde staționare (acordate) și antene cu unde progresive (aperiodice)
- după simetrie: antene simetrice și nesimetrice
- după directivitate: antene directive și nedirective
- după poziție: orizontale, verticale, înclinate
- după formă: liniare, în V, în V întors, în L, în T, triunghi pătrat, romb, cerc, fluture, piramidă, dublu con, disc și con, în cruce, cruce de Malta, trifoi, spirală, etc.
- după numărul de elemente activi și pasivi
- după dimensiuni: normale, scurte, alungite
- după tipul liniei de alimentare: monofilară, bifilară, coaxială
- după sistemul de adaptare a liniei cu antena: în T, în Gama, în Delta, cu linie de adaptare, cu trunchi de linie, cu constante concentrate, cu transformator, etc.

După părerea noastră, criteriul de clasificare al antenelor este linia de transmisie din care provin.

Antenele se împart în două clase: bucle și dipoli.

Antenele buclă provin din linii de transmisie cu capătul în scurtcircuit. Dipolii provin din linii de transmisie cu capătul în gol.

Antenele buclă sunt de două tipuri: bucle complete și semibucle. Antenele dipol sunt de două tipuri: dipoli simetrici (compleți) și semidipoli (monopoli).

Combinând antene buclă și dipoli se obțin antene complexe cu anumiți parametri îmbunătățiți.

Deoarece antenele provin din linii de transmisie, pentru a înțelege funcționarea lor trebuie studiată funcționarea liniilor de transmisie.

1.2. LINIA DE TRANSMISIE

O linie de transmisie a energiei de radiofrecvență constă din două conductoare paralele, izolate, aflate la distanță mică comparativ cu lungimea de undă λ , cel mult $0,01\lambda$ (Fig.1)

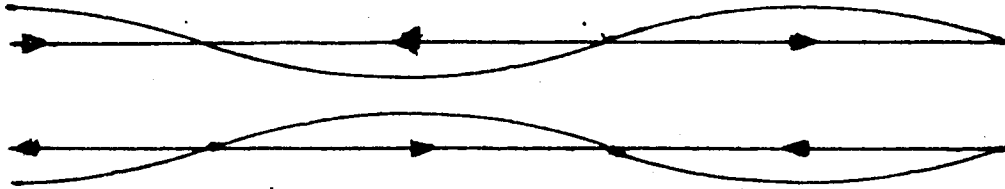


Fig.1.1

Curenții în porțiunile cu lungimi de $\lambda/2$ ale liniei, notați cu săgeți, sunt egali și de sens contrar. Câmpurile create de ei fiind de sens contrar, se anulează reciproc, astfel că linia nu radiază unde electromagnetice. Îndepărtând conductoarele liniei, câmpurile nu se mai anulează iar linia începe să radieze unde electromagnetice, deci devine o antenă.

Antena transformă energia curentului alternativ de radiofrecvență în energia undelor electromagnetice.

Linii de transmisie au lungimi fizice comparabile cu lungimea de undă. Funcționarea lor este analoagă, până la un punct, cu funcționarea circuitelor oscilante.

Un circuit oscilant are inductanța L și capacitatea C concentrate în bobină-respectiv condensator. Linia de transmisie are "constantele" L și C distribuite de-a lungul conductoarelor, fiecare porțiune de conductor are o inductanță iar între conductoare există o capacitate. La un circuit oscilant câmpul magnetic este localizat în bobină iar câmpul electric în condensator.

Pe linia de transmisie există o undă de curent și o undă de tensiune, care creează câmpuri magnetice și electrice în jurul conductoarelor.

Circuitul oscilant rezonază pe o singură frecvență, în timp ce pe o linie pot exista unde de curent și tensiune de orice frecvențe.

1.2.1. Parametrii liniilor de transmisie

Impedanța caracteristică

În fiecare porțiune a liniei de transmisie conductoarele au o mică inductanță L iar între ele există o capacitate mică C (Fig.2)

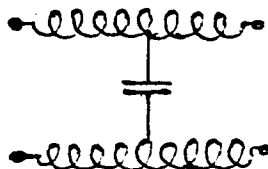


Fig.2

Energia se transmite de la intrarea spre ieșirea liniei transformându-se succesiv din energie de câmp magnetic, exprimată prin formula $L \cdot I^2/2$, în energie de câmp electric, exprimată prin $C \cdot U^2/2$. Transformarea are loc

cu pierderi neglijabile, deci energiile sunt egale: $L \cdot I^2 / 2 = C \cdot U^2 / 2$. De aici rezultă: $U/I = \sqrt{L/C}$. Se știe că raportul U/I reprezintă impedanța, în curent alternativ. Deci între oricare două puncte vecine ale liniei există o impedanță. Ea se numește "impedanță caracteristică" și are expresia $Z_c = \sqrt{L/C}$. Impedanța caracteristică a unei linii depinde numai de distanța dintre conductoare, diametrul lor și de constanta dielectrică a izolației dintre conductoare.

Impedanța caracteristică are aceeași valoare indiferent de lungimea liniei sau frecvența de lucru.

Impedanța caracteristică a liniei paralele cu aer se calculează cu formula: $Z_c = 276 \cdot \log 2D/d$, unde D este distanța dintre conductoare iar d este diametrul lor. În locul formulei se poate folosi diagrama din Fig. 3

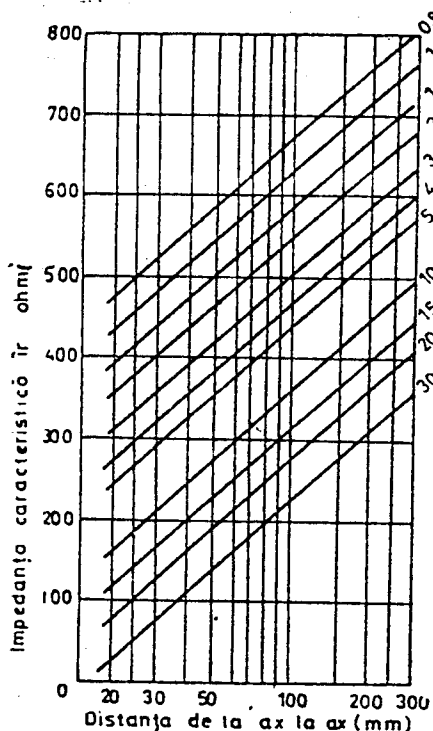


Fig. 3

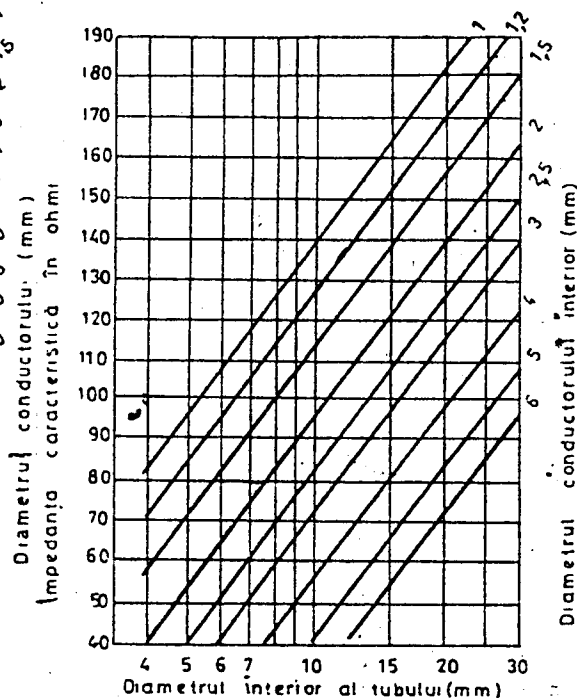


Fig. 4

Liniiile paralele cu aer, numite și "scăriță" datorită distanțierilor, au impedanțe de ordinul sutelor de ohmi.

În apropierea liniilor paralele există câmpuri magnetice și electrice, care interacționează cu obiectele vecine, mai ales cu cele conductoare. Pentru a evita influența mediului înconjurător, s-a inventat linia coaxială, la care unul dintre conductoare are formă de tub și îl înconjoară pe celălalt. Câmpurile există numai între conductorul central și tub (care este de obicei o tresă din conductoare), care funcționează ca un ecran.

Impedanța caracteristică a liniei coaxiale se determină cu formula: $Z_c = 138 \cdot \log D/d$, în cazul izolației cu aer, sau cu ajutorul diagramei din fig. 4. În timp ce liniile paralele sunt simetrice (ambele conductoare au tensiuni egale și opuse ca semn față de pământ), liniile coaxiale sunt nesimetrice, tresă fiind la pământ.

Coefficientul de scurtare

Undele electromagnetice se propagă în spațiu cu

viteza de 300.000 Km/sec. O undă electromagnetică cu lungimea de undă 80m este o sinusoidă cu lungimea fizică de 80 m. Dar unda de curent care a generat-o nu are lungimea fizică de 80 m pe linia de transmisie, ci mai puțin. Pe linie are loc o "contractie" a undei de curent care depinde de natura izolației dintre conductoare.

Pentru a calcula lungimea fizică a liniei trebuie cunoscut coeficientul ei de scurtare K. Linia paralelă cu aer (scăriță) are $K=0,975$. Linia paralelă în plastic, cu impedanța de 300 Ohmi are $K=0,68-0,85$ în funcție de materialul plastic; de obicei are $K=0,83$. Cablele coaxiale cu dielectric din polietilenă masivă au în general coeficientul de scurtare $K=0,66$, și $K=0,85$ când are dielectric aer și piese din polietilenă din loc în loc.

Se fabrică și linii paralele izolate cu polietilenă și ecranate cu o tresă, similară cablurilor coaxiale. În tabelul 1 sunt prezentate unele cabluri coaxiale mai răspândite.

Tabelul 1.A.

RG #	IMP.	db/100'@100 MHz	db/100'@400 MHz	db/100'@1 GHz	OD	Vel F	INS/KV	Di
6/U	75	2.1	5	6.9	0.27	0.78	0.6	F
7/U	95							
8/U	50	1.8	4.7	6.9	0.405	0.66	5	P
8/U	50	1.1 @50MHz				0.78	0.6	F
11/U	75	1.0 @50MHz			0.425	0.78	0.6	F
17 A/U	52	0.81	1.9	3.8	0.87	0.66		
58 A/U	50	4.9	11.5	20	0.195	0.66	1.9	F
58/U	50	3.1 @	50MHz			0.78	0.2	F
59 B/U	75	3.4	7	11.1	0.242	0.66	2.3	F
100/U	35				0.242	0.66		
212/U	50	1.6	3.6	8.8	0.336	0.66		
213/U	50	2.2	4.7	8	0.405	0.66	5	P
214/U	50	2.2	4.7	8	0.425	0.66	5	P
215/U	50	2.2	4.6	9	0.475	0.66		
8281	75			9.2	0.275		2.9	
9913	50	1.4	2.8	4.5	0.475		0.6	
LDF#	IMP.	db/100'@150 MHz	db/100'@450 MHz	db/100'@824 MHz	OD	Vel F	PWR/KW	Di
LDF4-50A	50	0.845	1.51	2.10	0.5	.88	3.63	F

SOURCE: Andrew=LDF, Belden=RG

Energia de radiofrecvență furnizată de emițător călătorește prin linia de transmisie spre consumatorul (sarcina) conectat la capătul ei, care este antena, sub forma undelor de tensiune și de curent. Dacă impedanța sarcinii este egală cu impedanța caracteristică a liniei, toată energia se consumă în sarcină iar undele de curent călătoresc pe linie într-un singur sens, progresiv, ca niște valuri, de la emițător spre antenă. În cazul când linia și antena au impedanțe diferite, o parte din energia undelor de curent este "refuzată" de antenă și se întoarce înapoi tot sub formă de unde de curent. Unda directă se însumează algebric cu unda reflectată, formând pe linie unde staționare.

1.2.2. Regimul de unde progresive

Regimul de unde progresive asigură transferul maxim de putere de la emițător la antenă, dacă impedanța antenei este pur ohmică și egală cu impedanța caracteristică Z_c a liniei. În Fig. 5 impedanța antenei este R_s .

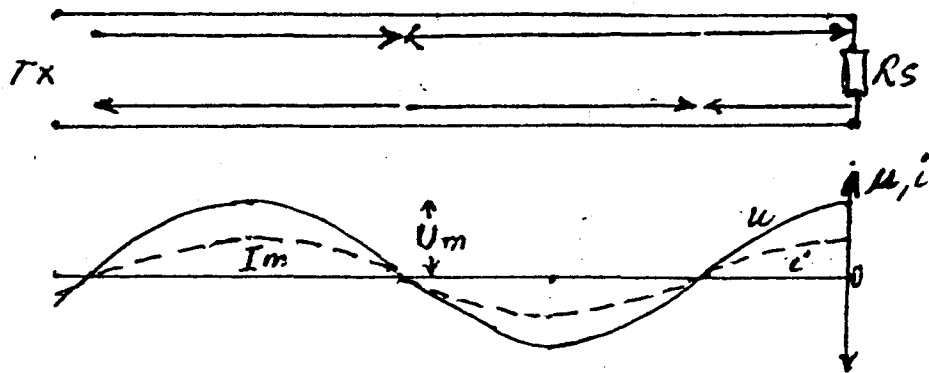


Fig. 5

În regim de undă progresivă, unda de tensiune este în fază cu unda de curent și călătorește numai de la emițător spre antenă (sarcina R_s). În orice porțiune a liniei curenții din cele două conductoare sunt egali dar au sensuri opuse. Raportul dintre tensiunea maximă U_m și curentul maxim I_m este egal cu impedanța caracteristică Z_c și este constant de-a lungul liniei. Tensiunea și curentul fiind în fază în orice punct, impedanța la intrarea liniei este pur rezistivă, fără reactanță inductivă sau capacitivă. În orice punct al liniei tensiunea și curentul variază sinusoidal în timp.

Rezistența de sarcină R_s fiind adaptată (egală) cu impedanța caracteristică a liniei, regimul este de unde progresive. Datorită pierderilor de energie în rezistența conductoarelor și în dielectricul dintre ele, energia undei se atenuează de-a lungul liniei. Linii paralele cu aer au atenuarea cea mai mică, între 0,1-1 dB pe 100 m, la frecvențe până la 200 MHz.

Regimul de unde progresive este independent de frecvență și de lungimea liniei. Linia cu undă progresivă este nerezonantă, sau "neacordată".

Dacă impedanța sarcinii nu este pur rezistivă sau nu este egală cu impedanța caracteristică a liniei, ea nu va absorbi toată energia sosită de la emițător. O parte din energie se va întoarce spre emițător. Energia reflectată este cu atât mai mare cu cât neadaptarea este mai mare și produce unde staționare pe linie.

1.2.3. Regimul de unde staționare

Energia "respinsă" (reflectată) de sarcina neadaptată călătorește înapoi spre emițător tot sub formă de unde de curent și tensiune, care interferează cu unda directă. Din compunerea undei directe cu unda reflectată rezultă o undă cu maxime și minime staționare, a căror mărime depinde de raportul dintre amplitudinile lor.

Când valoarea R_s este infinită, adică sarcina nu există -capătul liniei fiind lăsat în gol- unda de energie se întoarce în întregime la emițător, fără vreun consum.

Când valoarea R_s este zero, adică la capăt linia este pusă în scurtcircuit, unda de energie se întoarce în

întregime la emițător, fără vreun consum. Deoarece aceste două cazuri limită au o mare importanță și utilitate practică, ele vor fi studiate mai detaliat.

Linia de transmisie cu capătul în gol

La capătul unei linii, lăsat în gol, curentul nu poate circula și are valoarea zero, iar tensiunea are valoarea maximă și este defazată cu 90° față de curent, cum se vede în Fig. 6

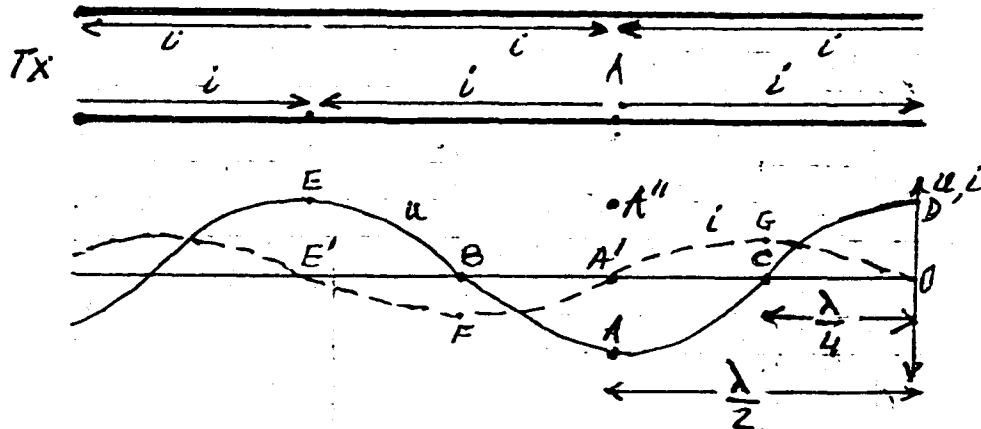


Fig. 6.

Desenarea sinusoidelor de curent (linia întreruptă) și a sinusoidelor de tensiune (linia continuă) se începe întotdeauna de la capătul liniei, lăsat în gol. Sinusoida de tensiune are maxim la capătul liniei, apoi valoarea tensiunii scade și la distanța $\lambda/4$ față de capăt are valoarea zero, în permanență. La distanțe mai mari tensiunea are valori din ce în ce mai mari, dar polaritatea este inversă față de porțiunea terminală de $\lambda/4$. La distanța $\lambda/2$ față de capăt tensiunea este maximă, dar defazată cu 180° față de tensiunea la capătul liniei.

Sinusoida de curent are valoarea zero la capătul liniei, valoarea maximă la distanța $\lambda/4$ față de capăt, valoarea zero la distanța $\lambda/2$ de capăt, apoi curentul crește iar dar sensul lui este invers.

Deoarece la distanța $\lambda/2$ față de capăt tensiunea este maximă și curentul zero, raportul lor dă o impedanță infinită - ca și la capătul în gol al liniei. Deci o linie cu lungimea $\lambda/2$ "reproduce" la intrare, sau transferă la intrare, impedanța aflată la ieșirea sa.

Pe conductoarele liniei s-a marcat cu săgeți sensul curentilor. Figura 16. surprinde undele staționare de tensiune și de curent în momentul când valorile lor sunt maxime. În momentele următoare toate valorile, în toate punctele liniei scad, sinusoidalele se "turtesc" fără să-și schimbe poziția, și după un sfert din perioadă ajung peste tot la valoarea zero. Punctele A, E și D de pe curba tensiunii și F, G de pe curba curentului, ca și toate celelalte puncte ale curbelor ajung

pe axa orizontală. În continuare valorile tensiunilor și curenților încep să crească, dar spre partea opusă a axei orizontale (ceea ce înseamnă că tensiunile au polaritate inversă iar curenții-sensuri inverse) și după un sfert de perioadă ating iar valori maxime, dar de sens contrar. În Figura 1.7. se arată descreșterea în timp a unei staționare de curent (curbele 1-2-3-4) și apoi creșterea ei (curbele 5-6-7). Undele staționare "pulsează" pe linie.

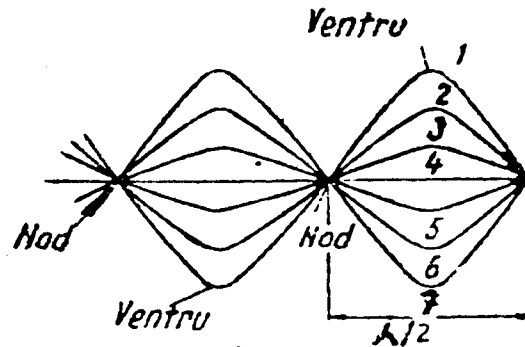


Fig. 1.7.

Pe figura 1.6. curba tensiunii "u" arată direct valoarea și polaritatea tensiunii dintre două puncte vecine ale liniei. Curba curenților "i" arată numărul sarcinilor electrice (electroni) care se deplasează în fiecare mică porțiune a liniei. De exemplu în punctele G și F ale liniei se deplasează cei mai mulți electroni iar în O, A', E' nu se deplasează niciunul. Pe lungimea de $\lambda/2$ dintre două puncte cu curent zero (noduri), de exemplu O-A' sau A'-E', tensiunile dintre punctele vecine ale liniei variază toate simultan, sau în fază, și curenții la fel - dar tensiunile sunt defazate față de curenți cu 90° . Pulsația unei staționare de curent din Fig. 1.7. este asemănătoare vibrației unei corzi de vioară în jurul poziției de mijloc. În poziția de mijloc energia mecanică a corzii are forma energiei cinetice iar energia electrică din linie are forma câmpului magnetic și electric.

Reflectarea energiei de radiofrecvență de capătul lăsat în gol al liniei este la fel de reală ca și reflectarea luminii într-o oglindă.

Unda de tensiune reflectată de capătul în gol are aceeași amplitudine și aceeași fază cu unda directă.

Ele se însumează algebric și rezultă de-a lungul liniei o undă cu amplitudine dublă, dar staționară, care nu se deplasează în lungul liniei. Unda staționară de tensiune are un maxim chiar la capătul în gol al liniei, unde se produce reflexia.

Unda staționară de curent are deasemeni amplitudinea dublă față de unda sosită de la emițător, dar maximele ei sunt decalate în spațiu (pe linie) cu $\lambda/4$ iar în timp cu un sfert de perioadă, 90° .

Deoarece în orice punct al liniei între tensiune și curent există un defazaj de 90° , formula puterii în curent alternativ arată că nu există consum de putere, puterea fiind total reactivă sau "dewatată". Linia cu capătul în gol nu consumă energie.

În punctele aflate la distanța de $\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$ etc. față de capătul unei linii în gol, tensiunea este mereu zero și curentul este maxim, ceea ce este echivalent unei impedanțe zero, adică un scurtcircuit.

În punctele aflate la distanța de $\lambda/2$, $2\lambda/2$, $3\lambda/2$ etc. față de capătul unei linii în gol, tensiunea este maximă (periodic) iar curentul este mereu zero, ceea ce înseamnă o impedanță infinită, adică o lipsă de impedanță (întrerupere).

Datorită unei staționare linia cu capătul în gol prezintă de-a lungul ei impedanțe de valori variabile periodic, de natură inductivă sau capacitivă, care la distanțele indicate mai sus trec prin valoarea zero sau infinit. Dacă linia cu capătul în gol are lungimea variabilă, impedanța ei de intrare Z_i variază conform Figurii 18b, care indică și schemele echivalente acestor lungimi. Între lungimea 0 și $\lambda/4$ linia se comportă ca o capacitate. Linia cu capătul în gol de lungime $\lambda/4$ se comportă ca un scurtcircuit-dar mai exact, ca un circuit rezonant serie.

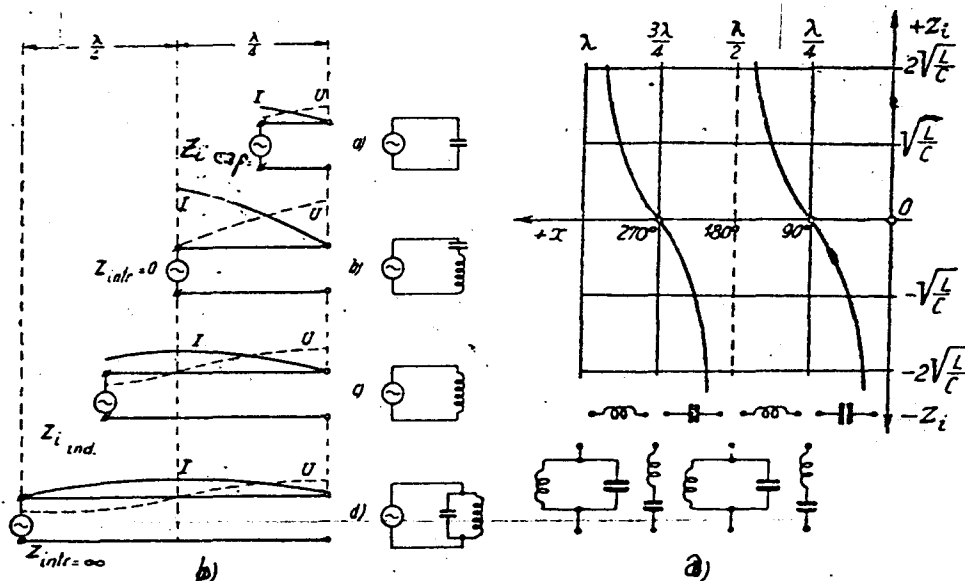


Fig. 18.

La lungimi între $\lambda/4$ și $\lambda/2$ linia în gol se comportă ca o inductanță. La lungimea $\lambda/2$ linia cu capătul în gol se comportă ca o impedanță infinită-dar mai exact, ca un circuit rezonant derivație.

În Fig. 8a se văd undele staționare care se instalează pe linia în gol de diferite lungimi și schemele echivalente acestor lungimi.

Deoarece linia în $\lambda/4$ cu capătul în gol are proprietăți interesante și utile, ea trebuie studiată mai detaliat.

Proprietățile liniei în $\lambda/4$ cu capătul în gol

În Fig. 19, se dă o linie în $\lambda/4$ cu capătul în gol corespunzătoare capătului din dreapta al liniei din Fig. 6. Energia trimisă de emițător (Tx) în linie se

reflectă total de capătul lăsat în gol. Linia nu consumă energie și nu radiază. Undele staționare care apar pe linie datorită reflexiei fac ca la intrarea în linie (spre Tx) impedanța să fie zero, deoarece tensiunea este zero: $Z_i = u/i = 0/i = 0$.

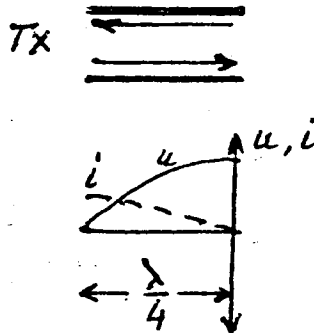


Fig. 9.

Deci linia în $\lambda/4$ cu capătul în gol prezintă la intrare un scurtcircuit pe lungimea de undă λ . Scurtcircuitul este cât se poate de real din punct de vedere al curentului alternativ.

Linia în $\lambda/4$ cu capătul în gol este din punct de vedere electric, în curent alternativ, echivalentă cu un circuit oscilant tip serie. Ea chiar se comportă ca un circuit oscilant serie cu factor de calitate foarte mare, între 1000-6000. Impedanța între punctele vecine ale liniei variază treptat între zero (la intrare) și o valoare mare (la capăt), ceea ce permite folosirea ei pentru adaptări de impedanțe diferite.

Linia cu lungimea $\lambda/4$ se folosește ca dispozitiv de transformare (transformator) a impedanței de o valoare în altă valoare. Dacă la ieșirea acestei linii se conectează o impedanță pur ohmică Z_s și linia are impedanța caracteristică Z_c , impedanța la intrarea liniei devine -datorită undei staționare- $Z_i = Z_c^2 / Z_s$.

Dacă trebuie adaptate două impedanțe cu valori cunoscute, între ele se conectează o linie în $\lambda/4$ de transformare, a cărei impedanță caracteristică se calculează cu formula derivată: $Z_c = \sqrt{Z_i \cdot Z_s}$.

De exemplu, dacă antena are 112,5 Ohmi iar linia coaxială de alimentare are 50 Ohmi, pentru adaptarea celor două impedanțe se folosește o linie în $\lambda/4$ din coaxial, cu impedanța caracteristică $Z_c = \sqrt{50 \cdot 112,5} = 75$ Ohmi.

În unele cazuri distanța dintre impedanțele care trebuie adaptate este fizic mai mare decât $\lambda/4$. În locul unei linii lungi de $\lambda/4$ se poate folosi atunci o linie cu lungimea $3\lambda/4$ sau $5\lambda/4$, care are aceleași proprietăți de transformare.

O linie în $\lambda/4$ (electric-deci aplicând un coeficient de scurtare) din coaxial se poate conecta la ieșirea unui emițător de unde scurte sau ultrascurte pentru a scurtcircuita armonica aceea care interferează un canal de televiziune cu lungimea de undă λ .

-Linia de transmisie cu capătul pus în scurtcircuit

La capătul pus în scurtcircuit al unei linii, unda de tensiune nu poate avea decât valoarea zero, iar unda de curent - valoarea maximă. Capătul pus în scurtcircuit impune un defazaj de 90 grade între tensiune și curent, puterea este total reactivă și energia este integral reflectată înapoi la sursă (Fig. 10.)

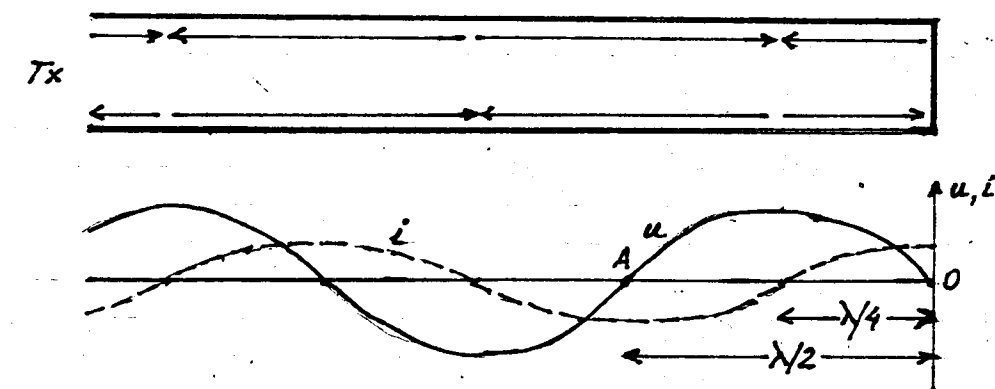


Fig. 10.

Desenarea sinusoidelor u și i se începe de la capătul pus în scurtcircuit și continuă spre Tx (spre stânga). La distanța de un sfert de undă de capătul pus în scurt, curentul i este mereu zero iar tensiunea u este maximă (periodic). La distanța de o semiundă de capătul pus în scurt tensiunea u este mereu zero iar

curentul i este maxim (periodic). Sensul curentului în diferite porțiuni ale liniei se indică cu săgeți. Figura 10 surprinde momentul când u și i au valori maxime. În decursul unei perioade aceste valori cresc și apoi scad sinusoidal, inversându-și sensul de două ori și trecând prin două maxime. Totuși poziția nodurilor (valori zero) și a ventrelor (maxime) pe linie nu se schimbă, unda fiind staționară. Undele reflectate de tensiune și curent se suprapun exact peste undele directe (sunt în fază cu ele), se însumează și rezultă unde staționare cu amplitudini de două ori mai mare. În punctele aflate la distanțe de 1, 3, 5, etc. sferturi de undă de capătul pus în scurt, curentul este mereu zero, tensiunea trece periodic prin maxime (pozitive și negative), iar impedanța între conductoarele liniei este mare (teoretic infinită).

În punctele aflate la distanțe de 1, 2, 3, etc. jumătăți de undă față de capătul pus în scurt, tensiunea este permanent zero iar curentul trece periodic prin maxime (pozitive și negative), ca și la capătul pus în scurt, ceea ce înseamnă impedanță zero în aceste puncte. Scurtcircuitul de la capătul liniei nu consumă energie ci o reflectă spre emițător, ca putere reactivă.

- Proprietățile liniei în sfert de undă cu capătul în scurtcircuit

Linia din Fig. 1.11 are lungimea de un sfert de undă și are capătul în scurtcircuit.

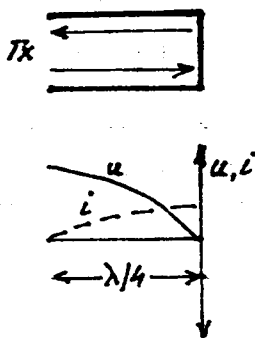


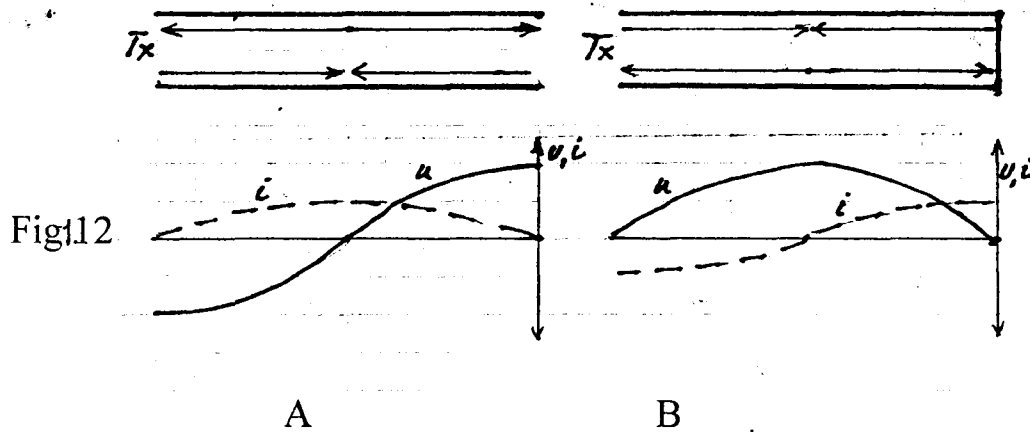
Fig. 1.11.

Scurtcircuitul reflectă toată energia înapoi, defazând cu 90 grade tensiunea față de curent. Linia nu consumă și nu radiază energie. Impedanța la intrarea liniei este infinită teoretic, deoarece aici curentul este zero. Impedanța între două puncte ale acestei linii (numită și stub) scade treptat spre capătul în scurt până la zero, ceea ce permite folosirea ei pentru adaptări de impedanțe. Linia în sfert de undă cu capătul în scurt funcționează din punct de vedere electric ca un circuit oscilant derivație cu factor de calitate foarte mare (1.000-6.000), deci are banda de trecere foarte îngustă. Astfel de linii se folosesc în locul circuitelor oscilante L-C la frecvențe între 200-800 MHz.

Aceleași proprietăți ca ale liniei în sfert de undă în scurt au și liniile cu lungimi de 3, 5, 7, etc sferturi de undă.

-Proprietățile liniei în jumătate de lungime de undă

În Fig.12 se vede distribuția undelor de tensiune u și curent i precum și sensul curentului pe o linie de o jumătate de lungime de undă cu capătul lăsat în gol (A) sau pus în scurtcircuit (B).



Pe linia A de această lungime se așterne o jumătate din sinusoïda curentului, care se desenează începând cu valoarea zero la

capătul lăsat în gol, deoarece acolo nu curge curent. Tot de acolo se începe desenarea sinusoidei de tensiune, dar începând cu maximum-deoarece la capătul lăsat în gol tensiunea e maximă. Curba tensiunii trece prin zero la mijlocul liniei, apoi crește (dar își inversează polaritatea) și are iar valoarea maximă, la intrarea liniei.

La capătul în gol al liniei impedanța ($Z=u/i$) este foarte mare iar la intrarea liniei impedanța este deasemeni foarte mare. Impedanța de la ieșire se "vede", adică se transferă la intrare. Linia în jumătate de lungime de undă nu transformă impedanța de la capătul ei, ci o transferă la intrare, dar faza tensiunii se inversează.

Orice impedanță ar fi conectată la capătul ei, va fi transferată la intrare, indiferent de impedanța caracteristică a liniei.

Linia în jumătate de undă lăsată în gol se comportă ca un circuit oscilant derivație, în jurul frecvenței de rezonanță.

Aceleași proprietăți are linia cu lungimea 2, 3, 4, 5, etc. jumătăți de lungime de undă.

În Fig. 12B avem o linie în jumătate de undă cu capătul pus în scurtcircuit. Ca întotdeauna, la capătul liniei se hotărăște distribuția sinusoidelor de curent și tensiune și se începe desenarea lor.

Aici curentul este maxim iar tensiunea-zero (datorită scurtcircuitului), deci impedanța ($Z=u/i$) este zero. La intrarea liniei curentul este iar maxim, tensiunea este zero, impedanța este zero. Impedanța de la ieșire se "vede", adică se transferă la intrare, dar faza (sensul) curentului se inversează (vezi săgețile). Linia în jumătate de undă cu capătul în scurt se comportă ca un circuit oscilant serie în jurul frecvenței de rezonanță. Aceleași proprietăți au liniile cu lungimi de 2, 3, 4, 5, etc. jumătăți de lungime de undă.

Liniile în jumătate de lungime de undă se folosesc la sinfazaarea antenelor, ținându-se cont că ele nu modifică valoarea impedanței, dar inversează faza.

-Linia de transmisie cu capătul conectat la o impedanță
diferită de impedanța sa caracteristică

Dacă linia are conectată la capăt o rezistență R_s diferită de impedanța sa caracteristică Z_c , o parte din energia undei directe se va disipa pe R_s iar o parte se va reflecta. Cu cât R_s diferă mai mult de Z_c , energia reflectată este mai mare.

Din interferența undei directe cu unda reflectată, pe linie apar unde staționare, dar în acest caz maximele nu ating valori duble iar minimele nu sunt zero.

Dacă R_s este mai mic decât Z_c , distribuția undelor staționare de tensiune și curent seamănă cu distribuția pe linia cu capătul în scurtcircuit. Dacă R_s este mai mare ca Z_c , distribuția seamănă cu cea de la linia cu capătul în gol.

Coeficientul de undă staționară σ permite determinarea precisă a regimului, prin raportul dintre valoarea tensiunii sau curentului într-un maxim și valoarea tensiunii sau curentului într-un minim: $\sigma = U_{\max} / U_{\min} = I_{\max} / I_{\min}$.

În practică se folosește și "raportul de unde staționare" RUS sau SWR, care se determină cu formula :

$RUS = (U_{dir} + U_{ref}) / (U_{dir} - U_{ref})$ unde U_{dir} este amplitudinea Undei directe iar U_{ref} amplitudinea undei Reflectate.

Dacă $RUS = 1,5$ puterea reflectată este 4% din puterea directă.

Dacă $RUS = 2$ puterea reflectată este 11% din cea directă.

Dacă $RUS = 3$ puterea reflectată este 25% din cea directă.

Dacă impedanța conectată la capătul liniei nu este pur Ohmică, ci are o componentă inductivă sau capacitivă, defazajul dintre tensiune și curent se modifică iar factorul de undă staționară crește. Dacă sarcina conectată la capătul liniei este pur inductivă sau capacitivă, pe linie vom avea un regim de unde pur staționare, deoarece sarcina reactivă nu consumă energie ci o reflectă înapoi spre emițător. În acest caz pozițiile maximelor și nodurilor depind de valoarea și natura sarcinii.

În comparație cu unda progresivă, unda staționară produce pierderi mai mari de putere în maximele de tensiune, datorită dielectricului și în maximele de curent, prin încălzirea conductoarelor liniei. De aceea puterea maximă care se poate transmite pe linie este mai mică în regim de unde staționare, mai ales pe cabluri coaxiale, datorită pericolului străpungerii izolației.

Pierderile produse de undele staționare pe liniile cu aer sunt foarte mici. De aceea ele se folosesc deseori în regim de unde staționare intenționat, ca linii "acordate", care permit adaptarea impedanțelor sau folosirea antenei pe mai multe benzi. Energia se transmite prin linii la fel de bine prin unde staționare ca și prin unde progresive.

Distribuția undelor de tensiune și de curent pe linie este hotărâtă de impedanța antenei (și reactanța ei), iar desenarea lor se începe întotdeauna de la antenă spre emițător.

În regim de unde staționare, impedanța la intrarea liniei are diverse valori complexe, în funcție de impedanța antenei, factorul de undă staționară și de lungimea liniei. Impedanța la intrarea liniei este pur rezistivă numai dacă impedanța antenei este pur rezistivă iar linia are lungimea $\lambda/4$ sau multiplu întreg de $\lambda/4$.

Dacă linia are o lungime oarecare, desenând sinusoidalele tensiunii și curentului de la antenă spre intrarea liniei, ele nu vor avea maxime sau minime la intrare ci niște valori oarecare, defazate. Deoarece defazarea între curent și tensiune este produsă de o reactanță, impedanța la intrarea liniei va avea o reactanță, deși antena nu are. Aceasta deoarece în fiecare punct al liniei sinusoidalele de tensiune și curent au alt defazaj.

Numai în punctele aflate la distanțe multiplu întreg de $\lambda/4$ defazarea între u și i este 90° și impedanța liniei este pur Ohmică, fără reactanță

1.3 Parametrii antenelor

Antenele transformă energia curenților alternativi de radiofrecvență în energia undelor electromagnetice. De aceea antenele au unii parametri numiți “primari”, legați de curenți, și parametri numiți “de radiație”, legați de undele electromagnetice.

1.3.1 Parametrii primari

Impedanța de intrare

Antena poate fi alimentată cu energie în diverse puncte. În general unda staționară care apare pe antenă nu poate fi modificată, și ea hotărăște regimul undelor pe fider. Din punctul de alimentare al antenei, unda staționară de tensiune și unda staționară de curent de pe antenă se continuă înapoi, pe fider, spre emițător.

Antena și fiderul (linia de alimentare) constituie un tot.

Distanțând conductoarele de la capătul liniei, ele încep să radieze și se obține o antenă. Unda staționară care se forma inițial la capătul liniei, se formează acum începând de la capetele antenei, și se desenează înapoi, spre emițător. Cum am arătat și în introducere, antenele provin din linii de transmisie.

Antenele dipol provin din linia de transmisie cu capătul în gol, la care s-au îndepărtat conductoarele de la capătul liniei, pe diferite lungimi. Antenele buclă provin din linia de transmisie cu capătul în scurtcircuit, la care s-au îndepărtat conductoarele de la capătul liniei, pe o anumită lungime.

Raportul dintre tensiune și curent în punctul de alimentare al antenei se numește impedanța antenei. În general există un defazaj între unda de tensiune și cea de curent la bornele de alimentare ale antenei.

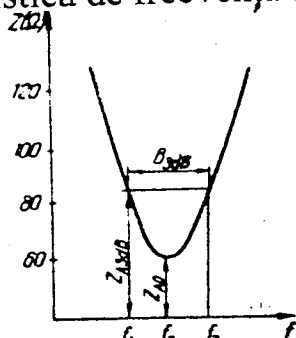
De aceea impedanța antenei are în general o parte activă (rezistivă) și o parte reactivă, de natură inductivă sau capacitivă, după cum curentul este defazat în urma sau înaintea tensiunii.

Numai când antena are o lungime "de rezonanță" și numai în anumite puncte ale antenei, impedanța este pur ohmică.

Frecvența de rezonanță

Pentru a defini acest parametru să luăm cazul unui dipol liniar în $\lambda/2$ alimentat la centru. Măsurând impedanța de intrare la diferite frecvențe putem desena așa-numita "curbă de rezonanță a antenei" sau "caracteristica de frecvență a antenei" Fig.13.

Fig.13



Frecvența de rezonanță a antenei este aceea (f_0) la care impedanța de intrare este pur rezistivă (Z_{A0}) și minimă - în cazul dipolului în $\lambda/2$, sau maximă - la dipolul în λ .

Banda de trecere

Caracteristica de frecvență din Fig.13 este asemănătoare cu curba de rezonanță a circuitului oscilant tip serie. Banda de trecere a antenei, ca și banda de trecere a circuitului oscilant, este intervalul dintre frecvențele f_1 și f_2 la care impedanța este mai mare de 1,41 ori (3 dB) decât impedanța la frecvența de rezonanță a antenei.

1.3.2 Parametrii de radiație ai antenei

Rezistența de radiație.

O parte din puterea P aplicată antenei este radiată (consumată) sub formă undelor electromagnetice, iar altă parte se pierde încălzind conductorii antenei, izolatoarele, obiectele din jur și pământul.

Această distribuire a puterii este exprimată de formula:

$$P = I^2 \cdot (R_r + R_p)$$

unde I este curentul din antenă, R_r este "rezistența de radiație" iar R_p este rezistența echivalentă a pierderilor. Rezistența de radiație R_r este echivalentă cu o rezistență ohmică pe care se disipă aceeași putere cu cea radiată sub formă de unde electromagnetice. Ea depinde de tipul antenei, de grosimea conductorului și de cuplajul cu alte conductoare, vecine.

Randamentul antenei

Randamentul antenei este raportul dintre puterea radiată și puterea aplicată antenei. Cu cât raportul dintre rezistența de radiație R_r și rezistența de pierderi R_p este mai mare, cu atât randamentul este mai mare.

Diagrama de radiație.

Antenele nu radiază energie electromagnetică egal în toate direcțiile ci o concentrează pe unele direcții.

Prin măsurători sistematice sau prin calcule se poate determina intensitatea câmpului electromagnetic în diverse puncte din jurul antenei. Reprezentarea în spațiu a suprafețelor cu aceeași intensitate a câmpului este dificilă. În practică se fac secțiuni plane ale acestui spațiu. De obicei o secțiune este în plan orizontal, care arată diagrama de radiație în funcție de azimut, și altă secțiune este în plan vertical, perpendicular pe pământ, care arată diagrama de radiație în funcție de unghiul de elevație.