

Efekt Antenowy Fidera (EAF)

... czyli o promieniowaniu linii zasilającej antenę

Prawidłowa praca układu antena – linia zasilająca (fider) określa efektywność amatorskiej stacji radiowej jako całości. Efekt, o którym za chwilę, może znacznie ją pogorszyć pojawiając się w większości amatorskich konstrukcji anten (w tym przypadku dotyczy to także anten fabrycznych). W pierwszej części omówione zostaną przyczyny powstawania efektu antenowego fidera i jego wpływu na układ antena – fider. W drugiej części pokazane zostaną praktyczne sposoby „walki” z tym zjawiskiem.

Każdemu krótkofalowcowi dobrze znana jest sytuacja kiedy w trakcie pracy nadawczej obserwujemy zakłócenia w sprzęcie elektronicznym znajdującym się w domu. Wówczas lampka neonowa przystawiona do obudowy nadajnika świeci się, a odbiór radiowy lub TV jest silnie zniekształcony. To zjawisko znane jest od dawna, stosunkowo mało zbadane, a którego istota i właściwości przedstawione są niżej.

Istota i przyczyny powstawania antenowego efektu fidera

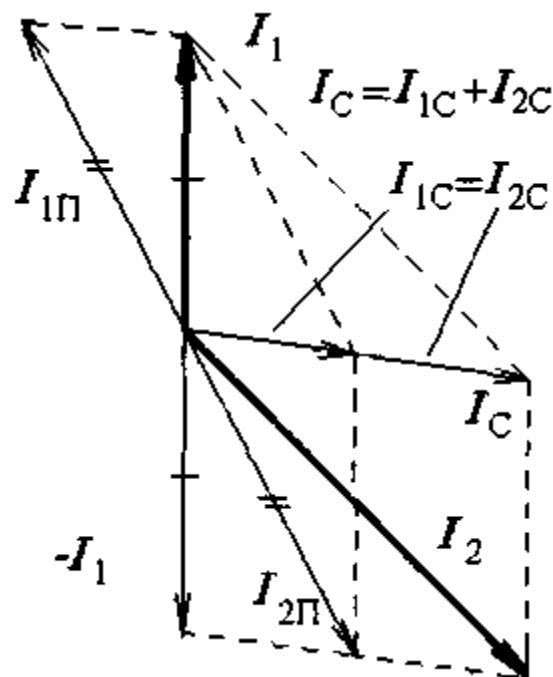
Efektom antenowym nazywamy zjawisko promieniowania lub odbioru fal radiowych przez przedmioty do tego nie przeznaczonymi (*Czyli nie będącymi antenami sensu stricto-przyp. tłum.*). Linia zasilająca powinna służyć tylko do przesyłu energii w.cz. od nadajnika do anteny lub odwrotnie. Rozważania na temat tego szkodliwego zjawiska (**Efektu Antenowego Fidera -EAF**) zacznijmy od przyjrzenia się warunkom pracy nadawczej.

Jak wiemy, pole elektromagnetyczne promieniującej anteny formowane jest przez przemienne prądy płynące po przewodnikach, z których zbudowana jest antena. Prawie zawsze antena znajduje się w przestrzeni, która nie jest przestrzenią swobodną. W bezpośredniej odległości od niej (w przedziałach długości fali λ) mogą znajdować się liczne obiekty. Są to przewody energetyczne, przewody telekomunikacyjne, maszty różnego rodzaju, odciągi, rusztowania, armatura wodna, karoserie samochodów, dachy i ściany gmachów, ciało operatora i powierzchnia ziemi. Jeżeli w tych przedmiotach powstają prądy spowodowane bezpośrednią obecnością pola anteny, to pole promieniowania spowodowane tymi prądami będzie nakładało się na pole powstałe od prądów anteny. Anteny wraz z otoczeniem nazywać będziemy systemem antenowym (**SA**). W przedstawionych warunkach charakterystyki SA mogą się silnie odróżniać od charakterystyki samej anteny. Żeby charakterystyki SA mniej zależały od otoczenia, powinniśmy antenę podnieść wyżej i dalej od przewodzących konstrukcji. Dobrze jest też wykorzystywać niemetaliczne maszty i odciągi.

Jednym z bliższych i najmniej korzystniejszych przedmiotów będących w bezpośrednim sąsiedztwie anteny jest sama linia zasilająca antenę. Prosty fider to linia dwuprzewodowa. W idealnym przypadku chwilowa wartość prądu w przewodach w dowolnym miejscu linii i czasie jest jednakowa co do wartości i przeciwna co do fazy. Suma prądów obu przewodów fidera jest równa zero. Takie prądy nazywać będziemy przeciwfazowymi. Linia dwuprzewodowa także i w tym przypadku będzie promieniowała, a jest to spowodowane odległością (**d**) pomiędzy przewodami linii. Pionowa linia promieniuje w płaszczyźnie poziomej pionowo spolaryzowane fale z maksimum w płaszczyźnie linii i poziomo spolaryzowane fale z maksimum prostopadłym do tej płaszczyzny. Pole promieniowania jest proporcjonalne do stosunku d/λ . Promieniowanie linii dwuprzewodowej jest minimalne przy dopasowanym obciążeniu i znacznie wzrasta przy niedopasowaniu, kiedy pojawiają się fale stojące prądu.

Opisane zjawisko (przy występowaniu prądów przeciwfazowych w linii zasilającej) nazywa się efektem antenowo – fiderowym 2-go rodzaju (EAF-2) [1]. Praktycznie pojawia się bardzo rzadko. Przykładowo, dla częstotliwości 145 MHz linia z kabla TV o długości $\lambda/2$ przy $d=10$ mm promieniuje na skutek tego zjawiska 50 razy słabiej niż podłączony do tej linii półfalowy wibrator pętlowy.

Jest dużo przyczyn, dla których chwilowa suma prądów wszystkich przewodów może być różna od zera. Na wykresie wektorowym (rys.1) pokazano, że przy dowolnej różnicy faz i amplitud prądów I_1 i I_2 w oddzielnych przewodach prądy te można przedstawić jako sumy przeciwfazowych $I_{1n} = -I_{2n}$ i będących w fazie $I_{1c} = I_{2c}$. Pola, które powstały wskutek prądów będących w fazie w różnych przewodach nie kompensują się (jak przeciwfazowe), a dodają. Jeżeli długość fidera równa jest długości λ , to ich suma może wytwarzać dodatkowe duże promieniowanie. To zjawisko nazywa się efektem antenowo – fiderowym pierwszego rodzaju (EAF-1) [1]. Jest znacznie ważniejsze niż EAF-2, o czym będzie mowa niżej.



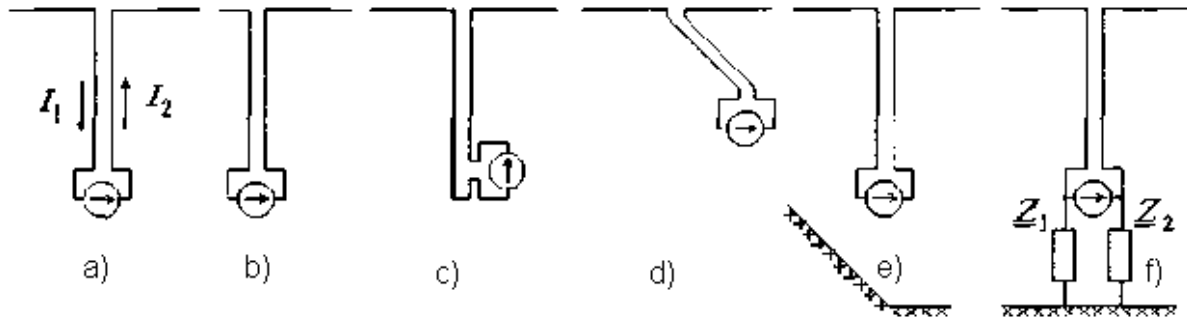
Rys.1

O ile EAF-1 związany jest z prądami fazowymi, to zadanie określenia jego powstawania można sprowadzić do znalezienia przyczyn powstania prądów fazowych linii zasilającej podczas nadawania (w trakcie odbioru takie prądy zawsze powstają pod wpływem zewnętrznego pola elektromagnetycznego).

Przyjrzyjmy się poziomemu dipolowi zasilanemu linią dwuprzewodową bez udziału „ziemi”. Założmy, że SA składa się tylko z anteny i fidera.

Pole promieniowania SA w każdym punkcie przestrzeni stanowi sumę wektorową pól elektromagnetycznych powstałych na skutek przepływu prądu przez wszystkie elementy przewodzące SA. Pole wypadkowe w każdym punkcie zależy od rozkładu prądu w przewodnikach całego systemu. Ten rozkład dla danej częstotliwości jednoznacznie określony jest kształtem, rozmiarami i rozmieszczeniem przewodów oraz sposobem wzbudzenia. Dość oczywistym jest wniosek (potwierdzony obliczeniami i praktyką), że przy geometrycznej symetrii SA i symetrycznym wzbudzeniu (pozostającym w absolutnej przeciwfazie I_1 i I_2), rozkład prądów będzie także symetryczny zarówno w ramionach anteny jak i w przewodach linii zasilającej. Przy tym suma współfazowych prądów płynących przez przewody fidera będzie równa zero.

Taka sytuacja przedstawiona jest na rys.2a. Prądy w przewodach symetrycznej linii zasilającej są jednakowe co do amplitudy i przeciwne co do fazy. Ramiona wibratora anteny zasilane są symetrycznie przy symetrycznym usytuowaniu fidera w stosunku do tych ramion oraz przy symetrycznym podłączeniu generatora na początku linii zasilającej.



Rys.2

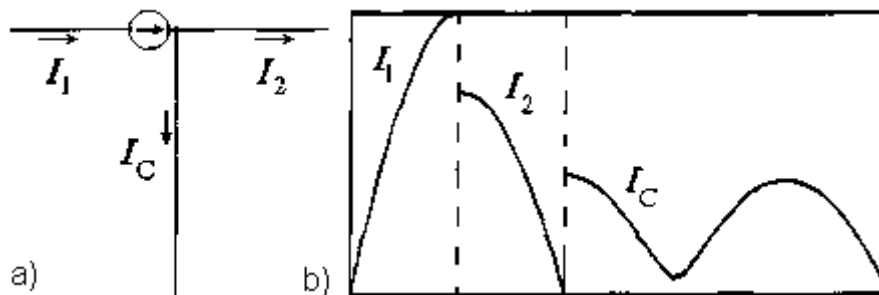
Pojawienie się prądów asymetrii może być spowodowane jedną z następujących przyczyn :

- asymetria anteny (asymetria geometryczna ramion anteny, niesymetryczne zasilanie, rys.2b);
- asymetria fidera (różne średnice przewodów, niejednakowa ich długość, rys.2c)
- asymetria całego SA (niesymetryczne wzajemne położenie anteny i fidera, rys.2d)
- przy wpływie „ziemi” dochodzi jeszcze :
 - geometryczna asymetria SA w stosunku do tej „ziemi” (rys.2d)
 - elektryczna asymetria źródła względem „ziemi” ($Z_1 \neq Z_2$, rys.2e).

Jeżeli, w przedstawionej przed chwilą sytuacji, możliwa jest pełna symetria, to przy zasilaniu symetrycznej anteny linią koncentryczną (z założenia niesymetryczną) bez stosowania specjalnych środków zaradczych, EAF-1 jest nieunikniony, chociaż taki fider jest wolny od EAF-2. Właściwość linii koncentrycznej polega na tym, że na dużych częstotliwościach można ją rozpatrywać nie jak linię dwuprzewodową, ale jak linię trójprzewodową. Prądy płynące po wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni ekranu kabla mogą różnić się ze względu na zjawisko „skin-efektu”. Analizując prądy współfazowe, jako model można przedstawić zewnętrzną powierzchnię oplotu kabla jako jeden przewód, a generator podłączony bezpośrednio do anteny.

W przypadku kiedy środkowa żyła kabla podłączona jest do jednego ramienia symetrycznej anteny, a ekran do drugiego (model – rys.3a), to przy geometrycznie symetrycznym położeniu kabla w stosunku do anteny, w SA też będzie występował EAF-1. Przyczyna – elektryczna asymetria podłączenia ekwiwalentnego źródła do geometrycznie symetrycznego SA (źródło podłączone dokładnie w środku anteny, z lewej jedno ramię, z prawej drugie ramię plus zewnętrzna powierzchnia ekranu kabla !).

Rozkład prądu silnie zależy od elektrycznej długości zewnętrznej powierzchni oplotu kabla. Dla długości rezonansowej (całkowita liczba półfal wraz z długością uziemienia dla uziemionego niższego końca lub całkowita liczba półfal plus $\lambda/4$ dla nieuziemionego końca kabla, tak jak w naszym przypadku) maksymalna amplituda współfazowego prądu I_C płynącego w kablu może osiągać 43 % wartości maksymalnej amplitudy prądu I_1 lewego ramienia anteny (rys.3b).



Rys.3

Ten przykład w uproszczony sposób pokazuje mechanizm powstawania prądów płynących po zewnętrznej powierzchni ekranu kabla. Pomoże on przedstawić fizyczne procesy prowadzące do EAF. Jedną z przyczyn prądów współfazowych jest oczywista: jest to ekwiwalent źródła wzbudzenia jednego z zacisków do którego podłączony jest zewnętrzny przewód. Jednocześnie ten przewód znajduje się w bezpośrednim polu elektromagnetycznym ramion anteny, w których są niejednakowe prądy. W rezultacie mamy do czynienia z jeszcze jedną przyczyną prądów współfazowych: niesymetryczne, będące obok siebie, nieskompensowane w miejscu umieszczenia fidera bliskie pole samej anteny. Takie przedstawienie problemu, z konieczności jest dość prymitywne, ale w praktyce podczas „walki” z EAF ta druga przyczyna nie jest, nie wiedzieć czemu, w ogóle uwzględniana.

Niesymetrycznymi antenami w stosunku do ziemi lub dachu są anteny z pionową polaryzacją, umieszczone na niewielkiej wysokości. Jeżeli nawet zachowamy symetrię anteny i fidera (pionowy dipol zasilany z boku) to EAF i tak jest nieunikniony.

W taki oto sposób, przy pracy w trakcie nadawania, prądy współfazowe mogą powstać z powodu jednej z głównych przyczyn:

- elektryczna asymetria źródła wzbudzenia SA lub ekwiwalentnego źródła wzbudzenia anteny;
- geometryczna asymetria SA jako całości - zarówno samego systemu antenowego jak i systemu względem ziemi.

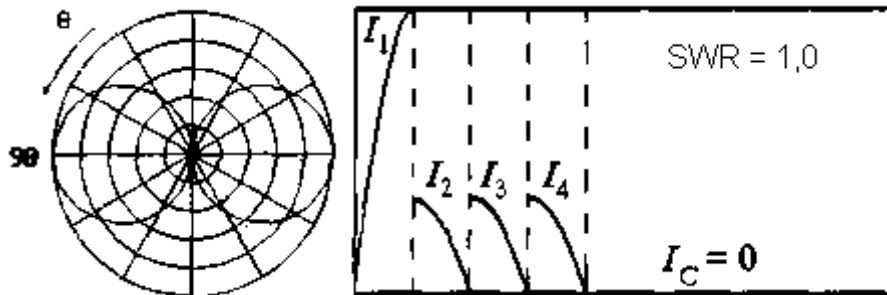
Podczas odbioru pod wpływem zewnętrznych elektromagnetycznych pól w przewodach linii zasilającej mogą powstawać zarówno przeciwfazowe jak i współfazowe prądy. Te pierwsze powstają w otwartych liniach dwuprzewodowych i bezpośrednio oddziałują na wejście odbiornika (EAF-2). Prądy współfazowe powstają w jakimkolwiek fiderze. Zgodnie z zasadą, oddziaływanie tych prądów na wejście odbiornika (EAF-1) jest tym silniejsze, czym większe jest względne natężenie współfazowych prądów fidera danego SA podczas nadawania. Na prawidłowo wykonane wejście odbiornika, bezpośredni wpływ, mogą wywierać tylko prądy przeciwfazowe linii zasilającej. Mechanizm przekształcania prądów współfazowych podczas odbioru w przeciwfazowe podobny jest do opisanego wyżej dla przewodu koncentrycznego podczas nadawania. Jeden ze sposobów - podłączenie zewnętrznej powierzchni ekranu z powierzchnią wewnętrzną w punkcie podłączenia anteny, a drugi - przez antenę, za pośrednictwem niesymetrycznego dla różnych ramion anteny bezpośredniego pola współfazowych prądów dla niesymetrycznego SA.

Charakterystyki SA z udziałem wpływu fidera i jego części odróżniają się od obliczonych charakterystyk anten bez udziału wpływu fidera. EAF to nie tylko odbiór lub nadawanie bezpośrednio przez linię zasilającą. EAF - w szerszym ujęciu - to wpływ fidera na charakterystykę systemu antenowego (SA) zarówno przy odbiorze jak i przy nadawaniu.

Dokładnie przyjrzyjmy się temu wpływowi.

Pojawianie się efektu antenowo fiderowego (EAF)

Najbardziej jaskrawe przypadki powstawania EAF były opisane wyżej. Rozpatrzmy i inne możliwe (istotne) przyczyny powodujące powstawanie EAF. Weźmy półfalowy poziomy wibrator i bardzo dobrze znaną pionową antenę GP (długość wibratora $\lambda/4$ z trzema przeciwwagami o tej samej długości i będącymi pod kątem 135° w stosunku do wibratora). Oporność wejściowa takiej anteny, w swobodnej przestrzeni bez udziału wpływu fidera, jest czysto rzeczywista i wynosi około 50Ω . Na rys.4 pokazany jest wykres kierunkowy w płaszczyźnie pionowej i rozkład prądów w elemencie promieniującym (I_1) i przeciwwagach (I_2, I_3 i I_4) dla tego przypadku. Wszystkie przedstawione charakterystyki otrzymano przy użyciu komputerowego programu do modelowania anten i bez udziału strat.

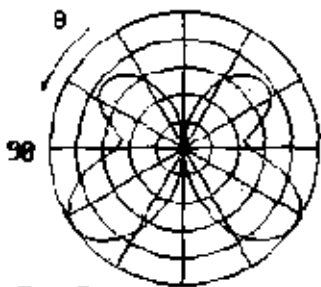


Rys.4

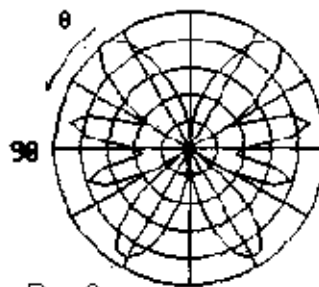
Podczas nadawania mogą być następujące EAF wywołane przez :

1. Pojawienie się promieniowania SA z inną niż podstawowa polaryzacja. Jeżeli zasadnicza polaryzacja anteny jest pionowa, a fider położony jest inaczej niż pionowo, pojawi się promieniowanie linii zasilającej ze składową poziomą pola. Jeżeli polaryzacja anteny jest pozioma a fider nie leży poziomo, to pojawi się promieniowanie fidera ze składową pionową pola. Przykładem niech będzie charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie pionowej dipola poziomego (rys.5). Składowa pionowa pola E_θ według obliczeń EAF, stanowi około 30 % użytecznej składowej poziomej E_ϕ . Jest to bardzo niepożądany efekt, na przykład w trakcie odbioru TV.

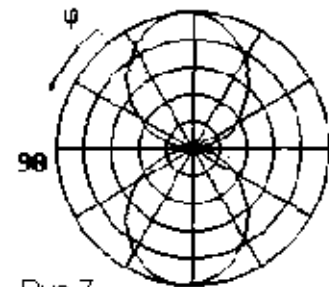
2. Zmiana charakterystyki promieniowania z podstawową polaryzacją. Promieniowanie fidera z podstawową polaryzacją może doprowadzić do znacznego zniekształcenia zasadniczej charakterystyki promieniowania (przykładowo, w antenach pionowych w płaszczyźnie pionowej). Zmieniając współczynnik kierunku promieniowania anteny 1 w głównym kierunku (może być zarówno zmniejszenie jak i zwiększenie), pojawiają się niekorzystne listki promieniowania w innych kierunkach. Przykładowo, dla anten GP przy długości nieuziemionego kabla $9*\lambda/4$ (rys.6). Jeżeli przewód z podstawową polaryzacją nie promieniuje, to charakterystyka promieniowania może się zmieniać przy naruszeniu symetrii wzbudzenia (rys.7 dla E_ϕ poziomego dipola).



Rys.5



Rys.6



Rys.7

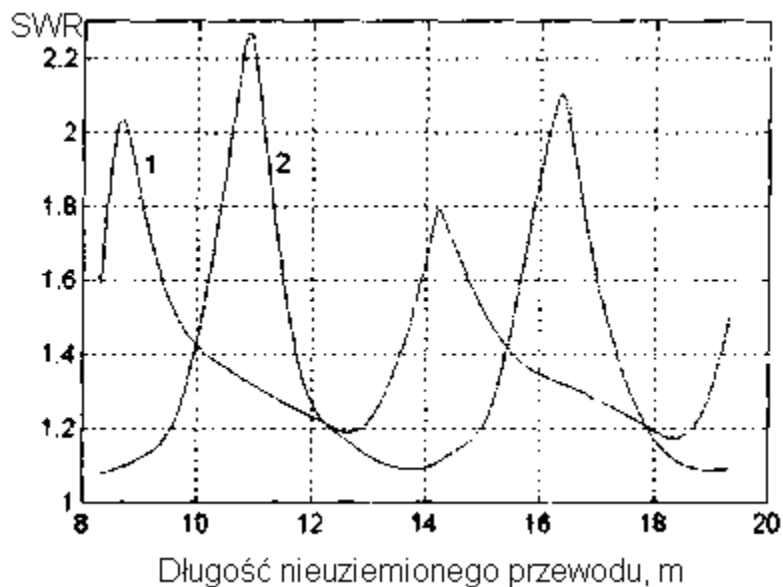
3. Zmiana impedancji wejściowej. Dla anten GP, w zależności od długości kabla koncentrycznego (fidera) składowa czynna R w punktach wzbudzenia $Z_{BX}=R+jX$ może zmieniać się w przedziałach od 42 ... 100 Ω , a składowa reaktancyjna X od -40 do +17 Ω .

4. Ze zmianą impedancji wejściowej związana jest zmiana współczynnika fali stojącej (SWR) w linii zasilającej.

Na rys.8 pokazana jest zależność SWR dla anten GP przy $\lambda=10,9$ m :

- „zwykle” podłączenie kabla do anteny;
- idealna „izolacja” zewnętrznej powierzchni kabla w miejscu podłączenia anteny.

Jak widać na wykresie, SWR w obu przypadkach zależy od długości fidera, czego przy braku prądów współfazowych (EAF) i strat w fiderze być nie powinno [2]. Zauważmy, że to właśnie prądy współfazowe prowadzą do zmian współczynnika SWR (poprzez Z_{BX}), nie na odwrót ! Zależność EAF-2 od SWR-a ma inny „mechanizm”.



Rys.8

5. Słaby SWR oznacza obecność w prądach fidera znacznej liczby fal stojących, które nie biorą udziału w przenoszeniu energii w.cz. W rzeczywistym przewodzie wzrastają przy tym straty, co powoduje osłabienie sprawności systemu antenowo – fiderowego (SA). Prądy współfazowe same z siebie także prowadzą do dodatkowych strat doprowadzanej do SA energii.

6. Pogorszenie charakterystyki promieniowania, SWR i zmniejszenie sprawności obniża energetyczny potencjał „radiolinii”. Zmniejsza się zasięg pewnego odbioru, a dla utrzymania wystarczającej (minimalnej) jakości połączenia musimy zwiększać moc. Prowadzi to do dodatkowych strat energii. Wzrastają też problemy w punktach 7 – 9.

7. Zmiana charakterystyki kierunkowej prowadzi do promieniowania w niezamierzonych kierunkach. Może to powodować wzrost zakłóceń lub natężenia pola elektromagnetycznego niezgodnego z normami.

8. Jeżeli fider położony jest w pobliżu innych linii (energetycznych lub telekomunikacyjnych) obecność sprzężenia indukcyjnego z nimi przy występowaniu EAF może prowadzić do poważnych zakłóceń w pracy samej radiostacji jak i tych urządzeń (silne wzajemne zakłócenia w trakcie nadawania i odbioru).

9. Wokół fidera urządzenia nadawczego może powstać znaczne pole elektromagnetyczne, równe polu czynnych elementów SA.

Wszystko, co wpływa na ogólną charakterystykę nadawczych SA, w równej mierze odnosi się do odbiorczych SA (charakterystyka promieniowania, impedancja wejściowa, SWR, sprawność). Wewnętrzne źródła zakłóceń z inną niż podstawowa polaryzacja lub w obszarze dodatkowych listków charakterystyki promieniowania, albo w pobliżu fidera powodują przy występowaniu EAF dodatkowe zakłócenia w trakcie odbioru (dodatkowe dźwięki).

Zwróćmy uwagę na wspólne cechy powstawania EAF :

1. EAF silnie pojawia się przy długości fidera zbliżonej do częstotliwości rezonansowej i słabiej przy długościach odbiegających od tej częstotliwości.
2. Charakter zmian charakterystyki kierunkowej przy występowaniu EAF zależy od długości fidera. Im jest dłuższy pionowy fider, tym bardziej „poszatkowana” jest charakterystyka kierunkowa w płaszczyźnie pionowej.
3. Wzmocnienie SA w głównym kierunku przy istnieniu EAF może być większe albo mniejsze, niż bez udziału EAF.
4. EAF pojawia się tym silniej w im silniejszym polu elektromagnetycznym anteny znajduje się jej linia zasilająca (fider). Antena GP, w takim wypadku, należy do najslabiej zabezpieczonych.
5. W dipolach typu „otwartego” EAF pojawia się znacznie silniej niż w antenach ramowych (pętlowych).
6. W antenach o pionowej polaryzacji EAF pojawia się znacznie częściej i silniej, niż w antenach z polaryzacją poziomą.
7. Wpływ fidera na charakterystykę SA jest tym silniejszy, im mniejsze ma rozmiary antena i niższa jest jej sprawność. W związku z tym EAF jest bardzo groźny dla elektrycznie małych anten.
8. EAF jest szczególnie groźny dla wąsko kierunkowych (o skupionej wiązce) anten. Zwłaszcza anten pelengacyjnych.
9. Pojawianie się EAF w odbiorczych SA, w których pojawił się najpierw, jest znacznie groźniejsze niż w nadawczych SA.

Metody zapobiegające i osłabiające EAF

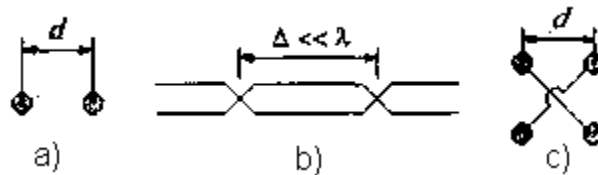
Sposoby osłabienia EAF w większości polegają na określeniu przyczyn, które je wywołują. Są omówione w pierwszej części tego artykułu. Zauważyć należy, że całkowicie wyeliminować je można, tylko teoretycznie. Dlatego używanie terminów „zapobieganie” czy „stłumienie” należy pojmować jako różne drogi zmierzające do osłabienia wrednego wpływu EAF na etapach przed i po ustawieniu anteny. W takim też porządku należy wyszczególnić i stosować różne metody „osłabiania” w ogólnym przypadku, jaki i dla konkretnych rozwiązań : projektowanie – ustawienie – eksploatacja.

Dla symetrycznych, dwuprzewodowych linii zasilających SA z symetrycznym podłączeniem (przy obecności prądów współfazowych) EAF-2 można znacznie osłabić różnymi sposobami i ich kombinacjami :

- dążyć do małego współczynnika SWR w linii,
- zmniejszyć rozstaw pomiędzy przewodami, rys.9a,

- okresowo, z krokiem $\lambda \ll \lambda$, skrzyżować przewody, rys.9.b,
- wykorzystywać skręcane przewody (linkę)

Znacznie mniej od linii dwuprzewodowej promieniuje linia czteroprzewodowa, rys.9c. Pole promieniowania linii czteroprzewodowej z krzyżowym podłączeniem przewodów jest proporcjonalne do $(d/\lambda)^2$, a nie d/λ , jak dla linii dwuprzewodowej. Praktycznie nie pojawiają się EAF-2 w dwuprzewodowych ekranowanych liniach zasilających.



Rys.9

Dla dowolnych fiderów znacznie ważniejsza jest „walka” z EAF-1, szczególnie niebezpiecznymi i związanymi z istnieniem w fiderze prądów współfazowych.

Na samym początku krótki przegląd technicznych sposobów, wykorzystywanych do usunięcia EAF-1. W istocie, mamy „walkę” albo z prądami współfazowymi w trakcie nadawania, albo na ich zamianie na prądy przeciwfazowe w trakcie odbioru.

Urządzenia symetryzujące lub urządzenia łączące systemy symetryczne z niesymetrycznymi -krótco : BALUN.

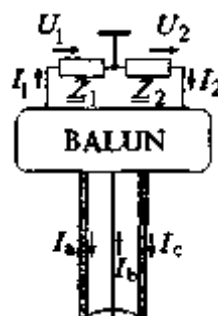
W trakcie nadawania warunki elektrycznej symetrii [3] opisane są równościami (rys.10) :

$$Z_1=Z_2; (1)$$

$$U_1=U_2; (2)$$

$$I_1=I_2; (3) \quad I_a=I_b; (4)$$

$$I_c=0; (5)$$



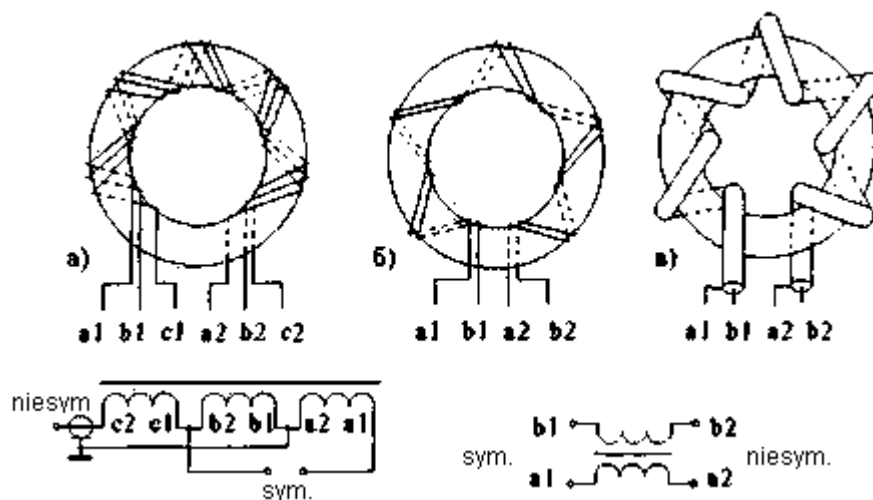
Rys.10

Istnieje więcej niż 100 różnych rozwiązań konstrukcyjnych BALUN-ów, wiele ich klasyfikacji, pośród których dla naszych celów, najbardziej interesująca jest ta najprostsza. Większość tych urządzeń można podzielić na dwie grupy [4] :

- pierwsza – zapewniająca równość napięć $U_1= U_2$ (voltage BALUN, V-BALUN);
- druga - zapewniająca równość prądów $I_1= I_2$ (current BALUN, C-BALUN).

Do pierwszej grupy odnoszą się, przykładowo, małogabarytowe transformatory wykonane z użyciem rdzeni ferrytowych, rys.11a. Do drugiej grupy - urządzenia zamykające

(blokujące) prądy współfazowe. Występują jako rezonansowe (ćwierćfalowa „szklanka”) oraz aperiodyczne (jako dławiki). Te ostatnie czasami są wykonywane także na ferrytowych pierścieniach (rys.11b, patrz [6]). Ściśle mówiąc, pierwsze powodują zrównanie siły elektromotorycznej w cewkach z Z_1 i Z_2 , dlatego warunek (2) jest spełniony jeżeli jednocześnie jest spełniony warunek (1). Dla symetrycznych systemów warunek (1) jest spełniony. Drugi przedstawia duży opór dla prądu I_C i tylko dla niego. Dlatego możemy powiedzieć, że prąd I_C w punkcie podłączenia kabla do anteny jest bliski zeru, a co za tym idzie, $I_1 \sim I_2$. Określiliśmy tylko jedną przyczynę powstawania prądów współfazowych. W niesymetrycznym SA (przy geometrycznej asymetrii lub niesymetrycznym wzbudzeniu) na zewnętrznej powierzchni ekranu występuje jeszcze w bezpośrednim otoczeniu nieskompensowane pole elektromagnetyczne anteny.



Rys.11

Urządzenia izolujące (Line Isolator, LI) w celu elektrycznego oddzielenia wykorzystują zewnętrzną otulinę fidera na nierezonansowych częściach, żeby osłabić prądy współfazowe spowodowane obecnością bezpośredniego pola elektromagnetycznego niesymetrycznego SA. Dlatego na drodze prądów współfazowych należy umieszczać, w kilku miejscach, duże oporności z odstępem $\lambda/4$ jedna od drugiej. Jako LI można wykorzystywać zarówno rezonansowe jak i aperiodyczne dławikowe urządzenia typu C-BALUN 1:1 (rys.11b i 11c) Faktycznie, C-BALUN 1:1 – jest to liniowy izolator, wykorzystywany do symetryzacji. Ustalono, że dla dobrej efektywności aperiodycznych LI całkowita oporność cewki dławika powinna mieć nie mniej niż 2...3 k Ω . Jeżeli nie mamy możliwości wykonania kompaktowego dławika na ferrytowym pierścieniu z grubego kabla możemy zrobić cewkę z samego kabla-bez ferrytu. Można też przerwać kabel i wstawić nieduży dławik jak na rys.11b nawinięty dwuprzewodową linią, mającą oporność falową równą oporności falowej kabla i zdolnym przenieść odpowiednią moc nadajnika. Takie rozwiązanie nie wprowadza dużych strat, tak samo jak niewielki jest przy dużej oporności prąd współfazowy. Ferryt w tym przypadku silnie się magnesuje, co zresztą, jest właściwością wszystkich LI oraz urządzeń symetryzujących tego typu.

Absorbcję współfazowych powierzchniowych fal prądu na linii zasilającej wykonanej z kabla koncentrycznego realizuje się poprzez nasunięcie na ten kabel materiałów ferromagnetycznych lub materiałów izolacyjnych ze stratami. Przykładowo – nawleczenie na kabel koncentryczny ferrytowych pierścieni lub rurek. Dla skutecznej absorpcji na KF-ie potrzeba 50-70 pierścieni ferrytowych o przenikalności magnetycznej $\mu=400...1000$, (rys.12). Odstęp pomiędzy opłotem kabla a pierścieniem powinien być jak najmniejszy. Tego typu absorbcję można rozpatrywać jako rozdzielający liniowy izolator ze stratami.



Rys.12

Znaczne osłabienie prądów współfazowych zachodzi także i w tym przypadku, kiedy wokoło kabla jest dielektryk taki jak woda, beton czy gleba, tzn. wprowadzający straty. Przekonać się o tym można obejmując palcami kabel w miejscu występowania brzuśca napięcia. W tym znaczeniu odpowiednie przeprowadzenie kabla polega na umieszczeniu go nie w swobodnej przestrzeni, a w kanale wentylacyjnym (po ścianie, w ziemi, itp.), nie mówiąc o specjalnych powłokach kabla z domieszką grafitu.

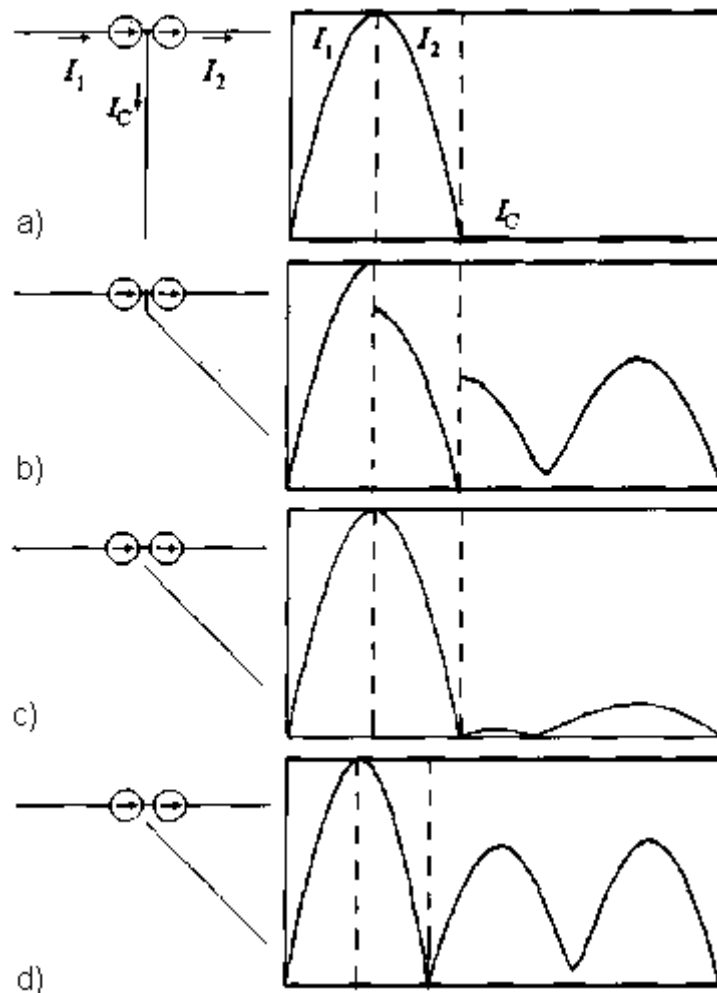
Rozważmy różne możliwe sposoby „walki” z EAF-1 w różnych sytuacjach.

1. *Symetryczna antena i symetryczny fider :*

- zapewnić geometryczną symetrię SA w stosunku do ziemi;
- zapewnić elektryczną symetrię podłączenia SA (fidera) do radiostacji (w szczególności BALUN pomiędzy fiderem a radiostacją, jeżeli podłączenia symetrycznego kabla do stacji nie przewidziano).

2. *Symetryczna antena i niesymetryczny fider (kabel koncentryczny):*

- urządzenia symetryzujące: V-BALUN przy zachowaniu geometrycznej symetrii SA (rys.13b), jednakże przy jej braku, to za mało. Potrzebny będzie C-BALUN;



Rys.13

- izolacja w.cz zewnętrznej powierzchni oplotu fidera w miejscu podłączenia anteny – to praktycznie rzecz biorąc C-BALUN (rys.13b dla nierezonansowej długości kabla; rys.13g – dla rezonansowej);
- dzielenie zewnętrznej powierzchni ekranu względem w.cz. (seria liniowych izolatorów LI w.cz., co najmniej dwa w odległości jeden od drugiego $\lambda/4$, zaczynając od anteny);
- absorbowanie współfazowej fali (pierścienie ferrytowe);
- symetryzacja geometryczna SA (przy istnieniu urządzenia symetryzującego);
- wybór nierezonansowej długości fidera (rys.13b.).

3. Niesymetryczna antena i symetryczny fider (rzadki przypadek, ale występuje):

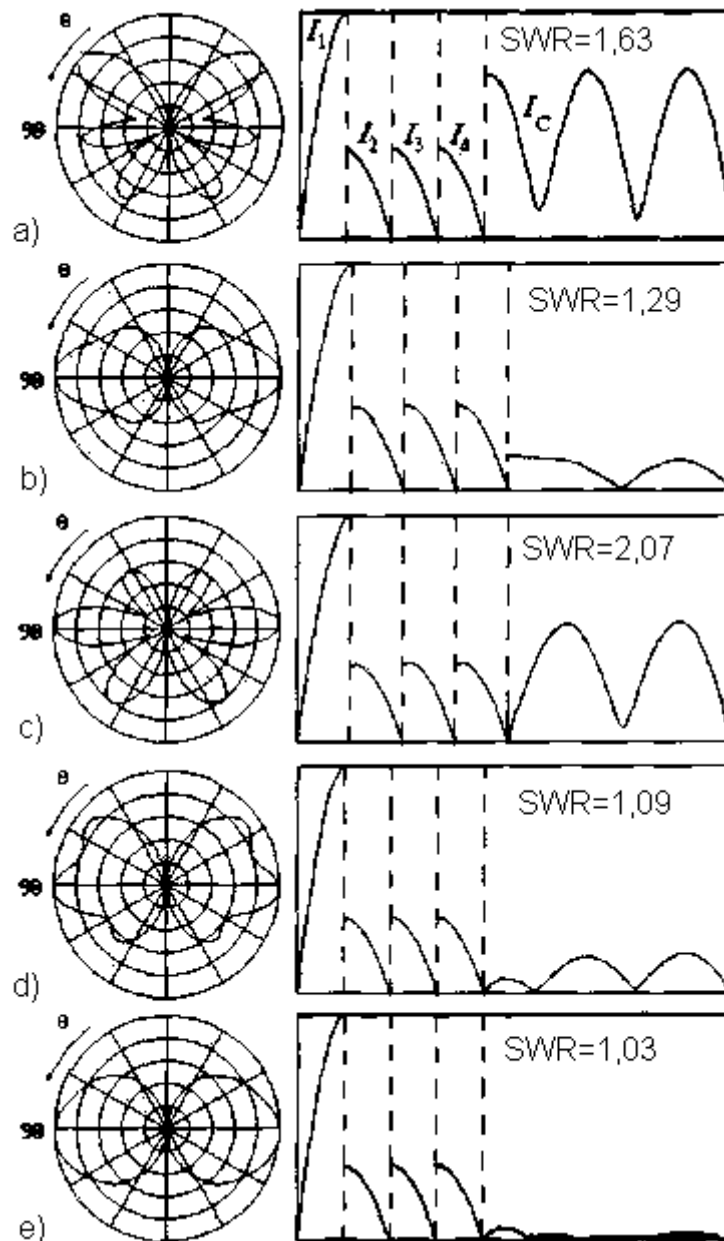
- zapewnienie geometrycznej symetrii SA;
- zapewnienie symetrycznego podłączenia fidera z dwóch stron.

4. Niesymetryczna antena i niesymetryczny fider (jedna z najczęściej występujących kombinacji i najczęściej niezabezpieczonych – tutaj nie uratują nas urządzenia symetryzujące typu V-BALUN):

- C-BALUN jako liniowy izolator w punkcie podłączenia fidera do anteny (zapewniają $I_C = 0$ w tym punkcie – sposób nieodzowny, ale często niewystarczający);
- ćwierćfalowe przeciwwagi, ferrytowe tuleje na kablu, dławiki, pętle i buchty wykonane z kabla;

- dzielenie zewnętrznej powierzchni ekranu względem w.cz. (seria liniowych izolatorów LI w.cz., w miarę możliwości umieszczonych w brzuścu prądu co $\lambda/4$);
- absorbowanie współfazowej fali prądu (pierścienie ferrytowe);
- wybór nierezonansowej długości fidera.

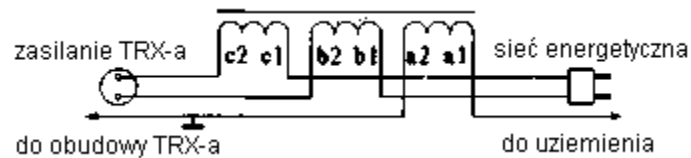
Kilka charakterystyk anteny GP pokazano na rys.14:



Rys.14

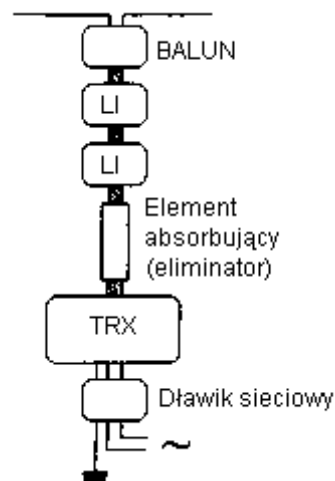
- a – bez tłumienia EAF, długość rezonansowa;
- b – efekt po doborze nierezonansowej linii kabla;
- c - C-BALUN przy rezonansowej długości;
- d - C-BALUN plus LI;
- e - C-BALUN plus dwa LI (porównać z rys.4 bez EAF)

Uziemienie można znacznie osłabić EAF, jednak nie zawsze, a tylko przy przejściu w nierezonansową długość linii: fider + przewód uziemiający. Jeżeli przy braku uziemienia kabel ma nierezonansową długość (co samo w sobie nie chroni przed EAF), to przy istnieniu uziemienia efektywna długość linii fidera i uziemienia może być bliższa rezonansowej. Co więcej, w tych przypadkach, kiedy do ziemi jest daleko lub przewód uziemiający innego urządzenia jest uszkodzony dla sygnałów w.cz., i stanowi tylko ochronę podstawową, np. chroni tylko przed elektrycznością statyczną. Prostszy środek zabezpieczający sieć zasilającą i uziemienie od sygnałów w.cz. jest użycie filtra-dławika z ferrytowych pierścieni równolegle nasuniętych na przewody sieci i uziemienia (rys.15).



Rys.15

Na rys.16 pokazany jest ogólny schemat tłumienia EAF zrealizowany przez wyżej omówione sposoby.



Rys.16

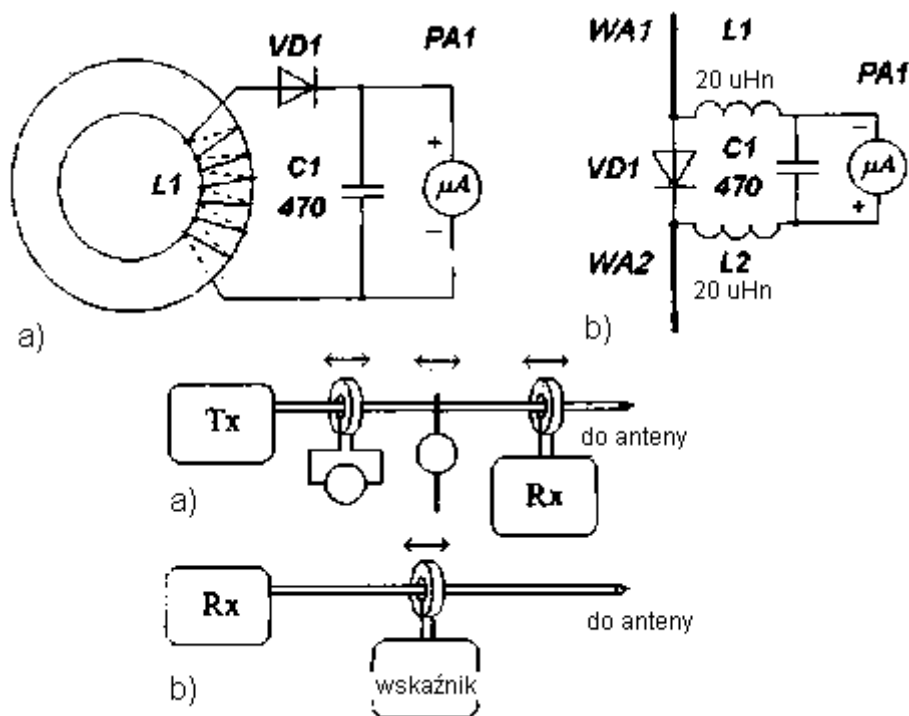
Ogólne sposoby „walki” z EAF :

- przewidzieć i usuwać możliwość powstania EAF na etapie planowania;
- przewidzieć maksymalną ilość sposobów jego pojawienia się i zapobieżenia;
- efektywne tłumienie EAF uzyskuje się poprzez kombinację z wykorzystaniem kilku przedstawionych powyżej sposobów;
- po ustawieniu SA należy kontrolować obecność EAF, a po jego stwierdzeniu koniecznie stłumić za pomocą dostępnych środków;
- przeprowadzać stałą lub okresową kontrolę EAF w trakcie pracy;
- koniecznie obniżać EAF przy mocy nadajnika większej od 100 W

Sposoby kontroli EAF-1

Do badań, monitoringu i prowadzenia prac związanych z obniżeniem EAF potrzebne są urządzenia do jego kontroli. W trakcie nadawania kontrolę można przeprowadzać przy użyciu prostych wskaźników. Najprostszy z nich to neonowa lampka. Wychyłowy wskaźnik prądów współfazowych można wykonać przy użyciu transformatora prądowego. Jako rdzeń można użyć pierścieni z ferrytu M55HH-1 o rozmiarze K65x40x6 (rys.17a). Uzwojenie pierwotne to kabel przechodzący przez środek pierścienia. Uzwojenie wtórne

L_1 ma 10 zwoi nawiniętych przewodem w emalii o średnicy 0,15 mm. Ferrytowy pierścień przemieszczamy wzdłuż kabla w taki sposób, żeby przewód był zawsze w środku pierścienia (rys.18a).



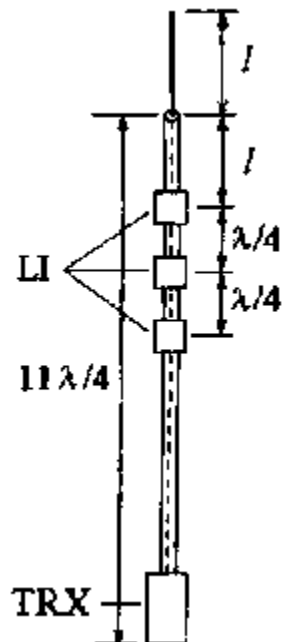
Rys.17

Wskaźnik wychyłowy pola elektrycznego też można wykonać w bardzo prosty sposób (rys.17b). Długość ramion WA_1 , WA_2 anteny nie jest dłuższa niż 20 cm. Przesuwając koniec jednego z ramion wzdłuż kabla należy uważać żeby rozstaw pomiędzy tym końcem a kablem się nie zmieniał (rys.18a).

Oczywiście istnieją i inne rozwiązania wskaźników : z dzielonym pierścieniem ferrytowym, z ekranem elektrostatycznym, rezonansowe lub szerokopasmowe, ze wzmacniaczem z sygnalizacją świetlną lub dźwiękową, etc.

Przesuwając wskaźnik wzdłuż fidera w trakcie nadawania śledzimy jego reakcję. Przy obecności EAF można określić jego położenie i ocenić poziom maksymalnych wartości (brzuśców) prądu lub napięcia.

Kontrolę EAF w trakcie nadawania można przeprowadzić wykorzystując generator i odbiornik (rys.18a). Wynik pomiarów może odbiegać od rzeczywistego EAF, jeżeli generator sygnałowy nie jest położony i uziemiony tak jak nadajnik. Znacznie wygodniej jest przeprowadzać kontrolę EAF podczas odbioru (rys.18b). Po podłączeniu anteny do odbiornika, należy upewnić się, że jest sprzężenie pomiędzy kablem a generatorem. W przeciwnym przypadku sygnał nie przedostanie się przez antenę do odbiornika.



Rys.18

Wykorzystanie EAF

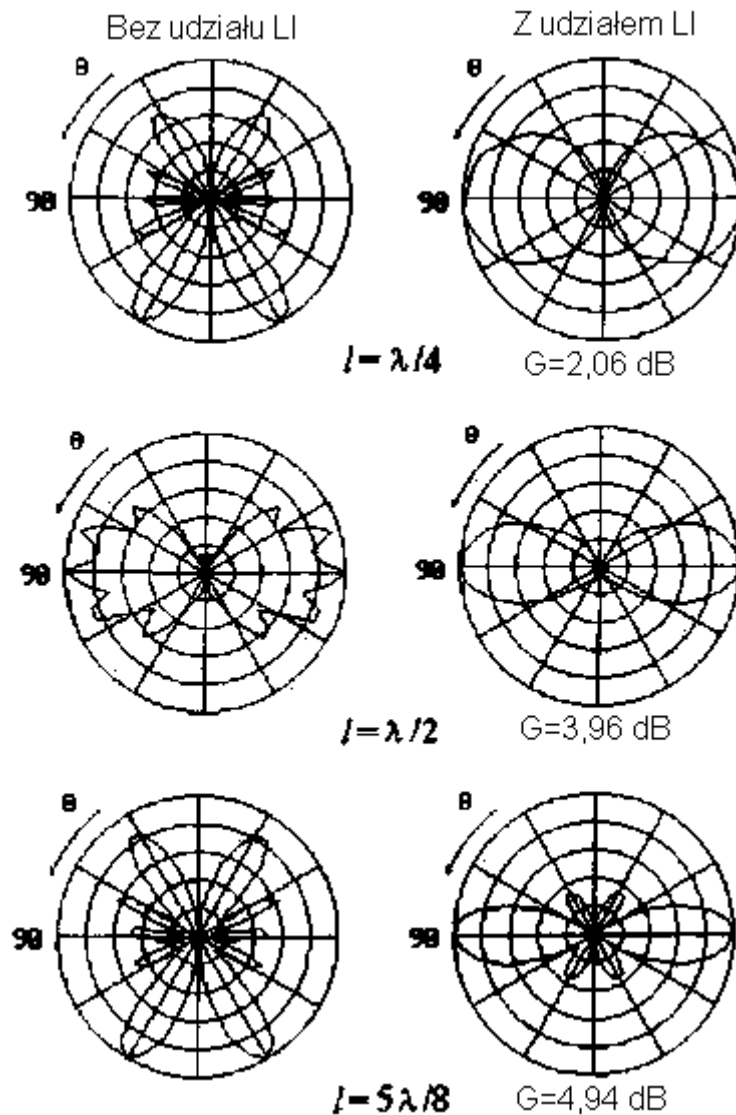
EAF jest zjawiskiem zawsze i dla wszystkich niepożądanym – to wiemy. Czasami jednak poprzez sztuczne wytworzenie innego rozkładu prądów współfazowych fidera można polepszyć niektóre charakterystyki SA (niestety, kosztem innych).

Wykorzystanie EAF w celu polepszenia SWR-a doborem długości kabla.

Wysoki SWR może doprowadzić do rozstrojenia (lub uszkodzenia) nadajnika, zwłaszcza jeżeli nie posiada on zabezpieczenia. Krótkofalowcy już dawno zauważyli, że czasami udaje się polepszyć SWR przez zmianę długości kabla. Jednak nie wszyscy prawidłowo rozumieją (i przedstawiają) naturę tego zjawiska. Można to wyjaśnić zależnością wejściowej impedancji SA, a co za tym idzie i SWR-a, od długości fidera przy istnieniu EAF (rys.8b). W szczególności, obniżenie SWR-a może mieć miejsce przy przejściu od rezonansowej do nieresonansowej długości linii kabla, co łatwo można sprawdzić przy użyciu wskaźnika. Lepszym jednak wyjściem jest likwidacja przyczyn EAF znacznie efektywniejszymi sposobami, które wcześniej opisano.

Wykorzystanie EAF w celu polepszenia charakterystyki kierunkowej.

Analizując zależność współczynnika wzmocnienia anten pionowych od długości fidera, można zauważyć, że EAF nie zawsze prowadzi do pogorszenia. Jeżeli pole, w wymaganym kierunku i z wymaganą polaryzacją, powstałe od prądów fidera jest zgodne w fazie z polem powstałym od prądów anteny to można otrzymać dodatkowe wzmocnienie. Najbardziej jaskrawe i pożyteczne przykłady tego wzmocnienia – wykonanie, z części fidera symetrycznej przeciwwagi, pionowej anteny o długości $2 \times \lambda/4$, $2 \times \lambda/2$ i $2 \times 5\lambda/8$. W prostszym przypadku można wykorzystać zaporowy dławik, którego oporność indukcyjna nie powinna być mniejsza niż $2 \text{ k}\Omega$. Żeby efektywnie stłumić (osłabić) prądy w fiderze, w jego „niewykorzystanej” części, celowym jest wstawienie jeszcze jednego albo dwóch takich dławików poniżej podstawowego w odstępach $\lambda/4$. W rezultacie można otrzymać bliskie ideałowi wykresy w płaszczyźnie pionowej (rys.19). Dla anten pionowych jest to najprostszy sposób polepszenia charakterystyk SA przy zasilaniu ich od dołu. Trzeba tylko uważać, żeby nie było pasożytniczych rezonansów masztu i odciągów.



Rys.19

Brak zauważalnego EAF – pierwsze i podstawowe wymaganie w stosunku do dowolnych SA [8]. Antena powinna być jedynym źródłem promieniowania fal radiowych i ich odbioru.

Problemy związane z EAF są na tyle poważne, że należy je wziąć pod uwagę już na etapie projektowania systemów antenowo – fiderowych (SA).

Przy obliczaniu anten należy uwzględnić urządzenia obniżające EAF. Ustawienie anten powinno uwzględniać miejsce i przebieg fidera. Użytkownicy powinni znać przyczyny powstawania EAF, umieć je przewidzieć, kontrolować i walczyć z nimi. Możliwość pojawienia się silnych pól w pobliżu fidera należy uwzględnić przy określaniu obszaru bezpieczeństwa elektromagnetycznego.

Literatura

1. Пистолькорс А. А. Приемные антенны. - М.: Связьтехиздат, 1937.
2. Степанов Б. Так не бывает! - Радио, 1999, №6, с. 65.
3. Hu Shudao. The balun family. - Microwave Journal, 1987, September, p.227-229.
4. Belrose J., VE2CV. Transforming the balun.-QST, 1991, June, p. 30-33.
5. Бекетов В., Харченко К. Измерения и испытания при конструировании и регулировке радиолюбительских антенн.- М.: Связь, 1971.

6. Захаров В. Согласующие устройства на ферритовых магнитопроводах. - Радио, 1987, № 6, с. 26-29.
7. Maxwell W., W2DU. Some aspects of the balun problem. - QST, 1983, March , p. 38-40.
8. Пистолькорс А. А. Антенны. - М.: Связьиздат, 1947.

Радио 12/2000, с.56-58., 1/2001, с.64-66., 3/2001, с.67.

<http://rf.atnn.ru/s3/an-c00.html>

Tłumaczenie : SP1VDV

sp1vdv@wp.pl

¹ **Współczynnik kierunku promieniowania anteny** – mówi, jak stosunek gęstości mocy promieniowania wytworzony przez antenę w danym kierunku w danej odległości ma się do gęstości mocy promieniowania w tym samym kierunku i w tej samej odległości pewnej wzorcowej anteny, przy założeniu, że promieniowana moc pomiędzy tymi antenami jest jednakowa [4]. Jako antenę wzorcową wykorzystywany jest promiennik izotropowy, czasami idealny dipol półfalowy albo idealny ćwierćfalowy pręt.

Sila elektromotoryczna(sem.) – w szerokim znaczeniu jako siłę elektromotoryczną rozumiemy dowolne napięcie, powstające w niektórych miejscach (punktach) na skutek naturalnych lub sztucznych (celowych, rozmyślnych) oddziaływań.

Sprawność anteny (układu antena – fider) – określa stosunek mocy wypromieniowanej do mocy doprowadzonej. W warunkach amatorskich bardzo trudna do określenia. Amatorzy w takich sytuacjach korzystają z teoretycznych modeli anten.