

90 lat anteny Josefa Fuchsa OE1JF

Doświadczenia z anteną Fuchsa

Od chwili opatentowania w 1928 r. przez Josefa OE1JF nowej anteny, zwanej anteną Fuchsa od nazwiska wynalazcy, konstrukcja ta ze względu na swoją prostotę, łatwość wykonania i niską cenę cieszy się wciąż dużym zainteresowaniem wielu krótkofalowców na całym świecie. Choć nie jest przeznaczona dla „wyczynowców”, jeśli stworzymy jej warunki do właściwego zamknięcia obwodu w.cz., może nas pozytywnie zaskoczyć swoją skutecznością.

Zasada działania anteny Fuchsa jest pokazana na rysunku 1.

Zastosowany obwód rezonansowy jest indukcyjnie sprzężony z równoległym obwodem wyjściowym wzmacniacza mocy nadajnika (rys. 5.12.6 z książki *Amatorskie anteny KF, UKF*, której współautorem jest kolega ś.p. Zdzisław SP6LB [1]). Dolny koniec obwodu jest silnie sprzężony pojemnościami montażowymi rozproszonymi z „zimnym” końcem obwodu PA i „masą” – obudową wzmacniacza, zamykając w ten sposób obwód w.cz. anteny.

Jest to antena harmoniczna, czyli może powstawać w niej (n) półfal, przy czym (n) jest rzędem harmonicznej.

Jeśli antenę wyliczymy dokładnie na rezonans równoległy w paśmie 3,5 MHz, to okaże się, że dla pozostałych pasm będzie za krótka, i nie będzie w rezonansie.

Sprawdzimy wg podanego na rysunku 1 wzoru – patrz tabela 1.

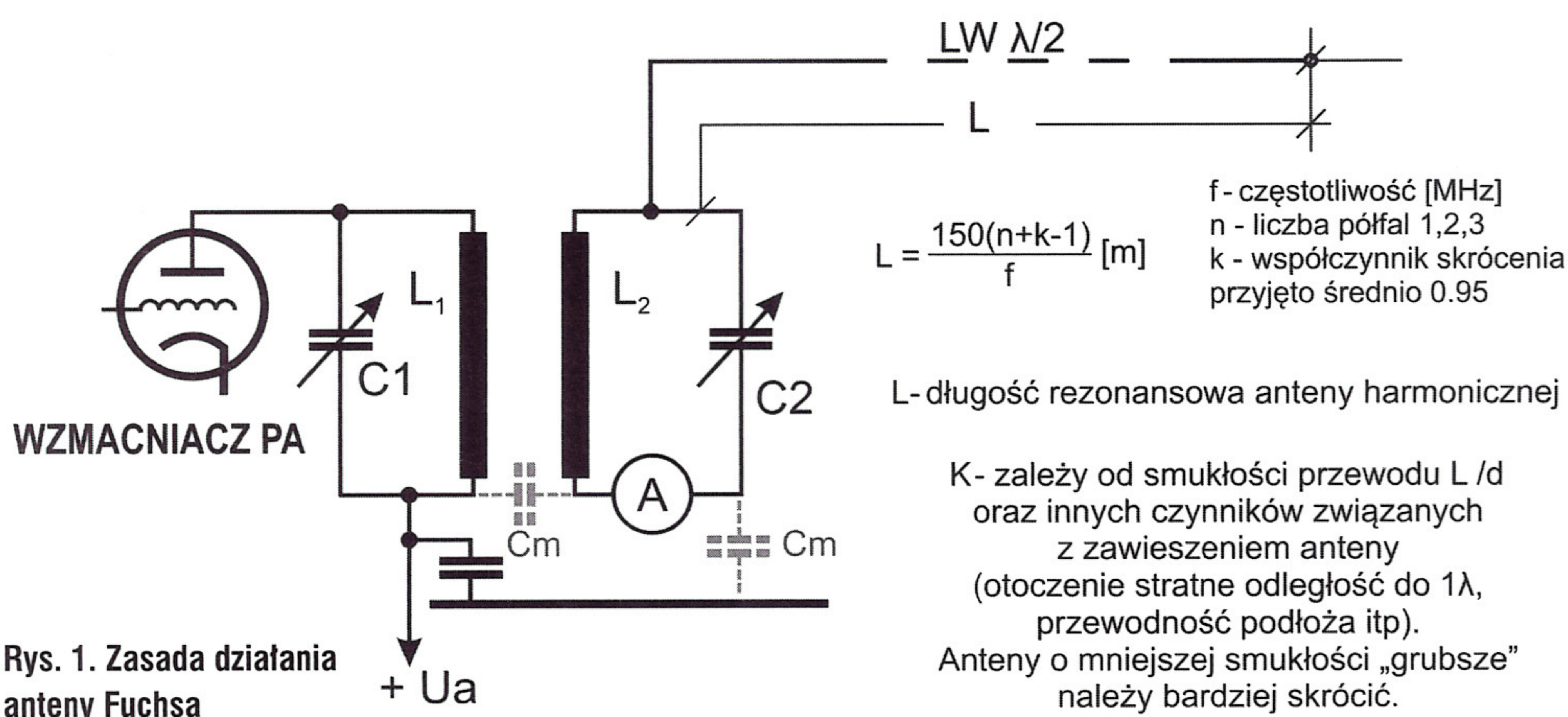
Istotnie tak jest, jeżeli dla pasma 3,5 MHz antena jest w rezonansie przy długości 40,71 m, to dla pasma 28 MHz jest ona za krótka, bo musiałaby mieć 42,60 m, aby być w rezonansie. Jest to wynik efektu końcowego anteny.

Wykonałem mój pierwszy układ Fuchsa według rysunku 2.

Uruchomienia dokonałem w dwóch etapach:

- etap I (uruchomienie po stronie odbiorczej)
- etap II (uruchomienie po stronie nadawczej)

Po zmontowaniu na izolacyjnej płytce kondensatora i cewki (zachować odległości cewki od kondensatora minimum pół średnicy cewki, i innych przedmiotów metalowych aby nie obniżyć dobroci cewki). Można użyć laminatu, ale należy zdjąć powłokę miedzianą pod cew-



Rys. 1. Zasada działania anteny Fuchsa

Tab. 1.

Początek pasm	Środek pasm
3,5 MHz – 0,5λ, l=40,71 m	3,7 MHz – 0,5λ, l=38,51 m
7,0 MHz – 1λ, l=41,78 m	7,1 MHz – 1λ, l=41,61 m
14,0 MHz – 2λ, l=42,32 m	14,2 MHz – 2λ, l=41,72 m
21,0MHz – 3λ, l=42,50 m	21,2 MHz – 3λ, l=42,10 m
28,0MHz – 4λ, l=42,60 m	28,5 MHz – 4λ, l=41,84 m

ką w promieniu 0,5 średnicy cewki od jej zewnętrznych gabarytów.

Połączyłem elementy wg schematu z rysunku 2.

Jeśli mamy do dyspozycji GDO lub inny przyrząd, możemy sprawdzić zakres przestrajania obwodu i upewnić się co do możliwości pracy na określonym paśmie częstotliwości.

Wstępnie przyłączyłem żyłę środkową kabla koncentrycznego do 4. zwoju od strony masy (zimnego końca). Dlaczego do tego zwoju? Na to pytanie odpowiem w dalszej części artykułu.

Z [1] str. 262 dowiadujemy się, że cytuję: „Rezystancja wejściowa Ra anten LW zmienia się w granicach od 1000–2000 Ω przy rezonansie równoległym $L = n \lambda/2$ do 37 Ω przy rezonansie szeregowym $L = (2n-1) \lambda/4$ ” (czyli nieparzystych wielokrotnościach – przyp. autora), natomiast reaktancja zmienia się w granicach od +1000 do -1000 Ω (czyli od maks. +XL do maks. -XC – przyp. autora)”.

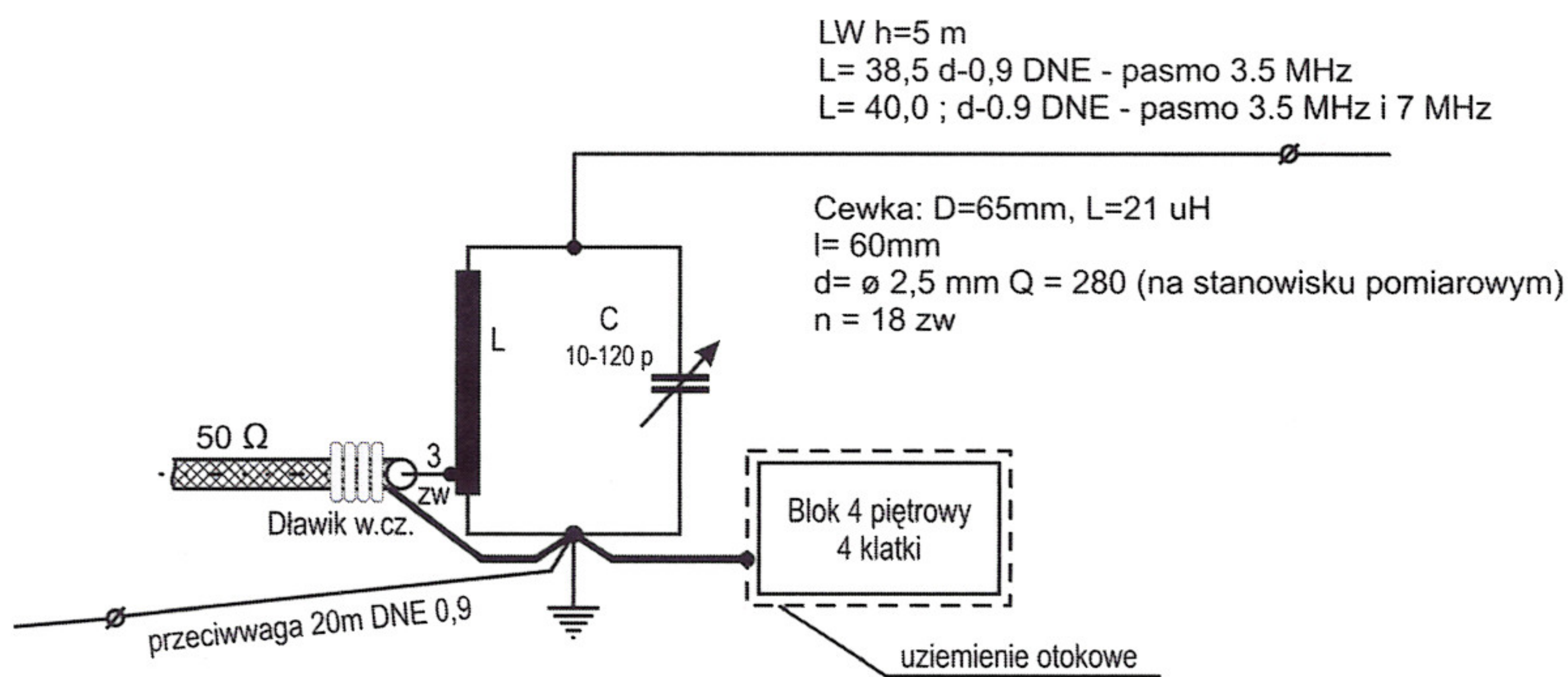
Ja wykonałem równoległy obwód rezonansowy w takiej konfiguracji, aby można było zasilić go (pobudzić do drgań) energią w.cz. z nadajnika kablem koncentrycznym 50 lub 70 Ω, zapewniając optymalne dopasowanie. Wybrałem sprzężenie za pomocą odpowiedniego odczepu od strony dolnego „zimnego” końca cewki (autotransformator).

Takie sprzężenie umożliwia maksymalne przekazanie energii do obwodu (warunek – pełne dopasowanie).

W przypadku sprzężenia za pomocą cewki sprzęgającej (transformator) rodzą się pytania: z której strony nawinać cewkę, w jakiej odległości od cewki rezonansowej, w którym kierunku nawinać...

Pytania te [9 pozycja wykazu literatury na końcu artykułu] generalnie dotyczą współczynnika sprzężenia magnetycznego, od którego zależy stopień przekazania energii.

Jeśli użyjemy sprzężenia autotransformatorowego, czyli z odczepem, te „dylematy” pomijamy, chyba że względy elektryczne (konstrukcyjne) wymagają galwanicznego oddzielenia obwodów.



Rys. 2. Układ Fuchsa testowany przez autora

Pierwszy układ wyżej wymieniony wykonałem na pasmo 3,5 MHz.

Odpowiadam na pytanie – dlaczego żyła środkowa kabla koncentrycznego 50 Ω została na początku dołączona do czwartego zwoju od zimnego końca? Jest to wynik założenia, że oporność anteny będzie w dolnej granicy, czyli 1000 Ω, a zatem przekładnia rezystancyjna autotransformatora powinna być 20, aby ją przetransformować na 50 Ω i odwrotnie.

Przekładnia rezystancyjna p_r , to przekładnia zwojowa podniesiona do kwadratu. A zatem: $p_r = p_z^2$ – przekładnia zwojowa, $p_z = n_2/n_1$, n_2 – całkowita liczba zwojów cewki, n_1 – liczba zwojów od dolnego końca do odczepu.

Przyjęliśmy $p = 20$. Wyliczamy p_z , $p_z = \sqrt{p_r} = \sqrt{20} = 4,5$.

Sprawdźmy naszą przekładnię zwojową $p_z = n_2/n_1 = 18/4 = 4,5$ – zgadza się.

Etap I uruchomienia części odbiorczej. Podłączamy antenę do TRX-a poprzez reflektometr (reflektometr „zapięty” bezpośrednio przy obwodzie). Włączamy odbiornik i znajdujemy słabą stację, która jednak wychyla S-metr. Zestrajamy obwód rezonansowy i powinniśmy stwierdzić przyrost sygnału – im większa dobroć cewki, tym większy przyrost. Ja uzyskałem przyrost ponad S2 (przy dobroci cewki 280, mierzone Q-metrem laboratoryjnym – pomiar Q na częstotliwości 3,700 kHz).

Etap II uruchomienia części nadawczej. Ustawiamy moc 10 W w trybie CW, włączamy nadajnik. Obserwujemy wskazania SWR. Przestrzegając precyzyjne obwody, zmniejszamy SWR do minimum. Następnie „zmieniając odczepy”, znajdujemy taki, który dokładnie przetransformuje oporność anteny – czyli SWR 1.0 (za każdą „zmianą odczepu” należy zestrajać obwód do rezonansu).

W moim przypadku na 4. zwoju uzyskałem SWR 2,5, a kiedy ze-

stroilem precyzyjnie obwód SWR – spadł do 1,7. Obniżyłem odczep” o 1/2 zwoju. Uzyskałem SWR 1,35, skorygowałem zestrojanie i uzyskałem SWR 1,2.

Ponownie „obniżyłem odczep” około 1/8 zwoju – SWR 1,1. Skorygowałem zestrojanie SWR 1,0. Był to 3. zwoj od strony masy, czyli $n_1 = 3$.

Zobaczmy jaka była rzeczywista rezystancja mojej anteny? Faktyczna końcowa przekładnia zwojowa $p_z = 18/3 = 6$, $p_r = 6^2 = 36$.

$R_a = 50 \times p_r = 50 \times 36 = 1800 \Omega$. Założyłem rezystancję anteny $R_a = 1000 \Omega$, czyli $SWR = 1800 \Omega / 1000 \Omega = 1,8$. Faktyczny zmierzony na początku – 1,7, czyli wszystko się zgadza, uwzględniając „klasę pomiarową” SWR-metra.

Antena działała rewelacyjnie. Porównywałem ją z klasycznym dipolem pętlowym wykonanym na pasmo 3,5 MHz (odstęp między przewodami dipola 30 cm, zasilany linią „pseudosymetryczną” 2×75 koncentryk dł. $\lambda/2 \times k$), dopasowany rezonansowym układem symetryzującym znajdującym się w pomieszczeniu radiostacji, przy tej długości elektrycznej linii zasilającej – teoretycznie na zaciskach anteny.

Dipol zawieszony był na wysokości 15 m – odsunięty od szczytu bloku około 40 m w kierunku niezabudowanej przestrzeni, optymalnie dopasowany.

Antena Fuchsa to drut nawojowy o średnicy 0,9 DNE i długości $l = 38,5$ m. Jedna przeciwwaga długości 20 m o średnicy 0,9 DNE plus uziemienie otokowe bloku czteroklatkowego. Przeciwwaga zawieszona od parapetu okna na 1 piętrze (5,5 m) do drzew w kierunku sąsiedniego bloku umocowana drugim końcem na wysokości około 5 m.

Obie anteny były ustawione prostopadle jedna do drugiej, odległe o 50 m i oddzielone „masą bloku”, przez co minimalnie wpływały na siebie.

Przy tej samej mocy, pracując na LW, uzyskiwałem raporty lepsze o 1–2 S. Przewaga dipola to zdecydowanie niższe tło zakłóceń, Przy LW S=8–9, przy dipolu S=3–4.

Po kilku miesiącach wykonałem układ dopasowujący dla 8 pasm w oparciu o cewkę nawiniętą na trzech rdzeniach prętowych od odbiorników radiofonicznych (złożonych w wiązkę, ściśnięte opaskami zaciskowymi do przewodów). Uzwojenie DNE o średnicy 1,5, $n=18$ zwojów.

Układ był zainstalowany na zewnętrznie, zdalnie sterowany, miał 8 przekładników i silnik do napędu kondensatora.

Antenę LW również instalowaliśmy z kolegami Bogdanem SP7GHD i Józkiem SP9GO oraz SP9GAK dla Stefana SP9WZN, na Jurze Krakowsko-Częstochowskiej w miejscowości Czatachowa. Pracując mocą 1 W (było to mierzone w obecności ww. kolegów), Stefan uzyskiwał raporty, jakby miał co najmniej 50 W. Antena LW Stefana stanowiła przewód ze skrętki z linki antenowej L_a 4 mm² o długości 40 m zawieszony 10–20 m nad gruntem skalistym, 5 przeciwwag. Wielu kolegów nie dowierzało Stefanowi, że pracuje tak małą mocą.

Taki sam układ, lecz na 8 pasm (cewka powietrzna opisana na rys 2), był zainstalowany później na parapecie 1. piętra mojego bloku w szczycie budynku przy rynnie (bardzo krótkie doprowadzenie do uziemienia otokowego bloku stanowiącego uziemienie robocze anteny). Pod względem elektrycznym układ identyczny, 8 przekładników i jeden silnik do napędu kondensatora. LW do tego układu to 2 skrętki linki antenowej L_a 4 (konstrukcji 7×7), długości 40 m. Konfiguracja LW to odwrócone L – pion 13 m, pozostała część skośnie do wysokości 8 m (kierunek północno-wschodni + 4 przeciw-

Klasse 21a.

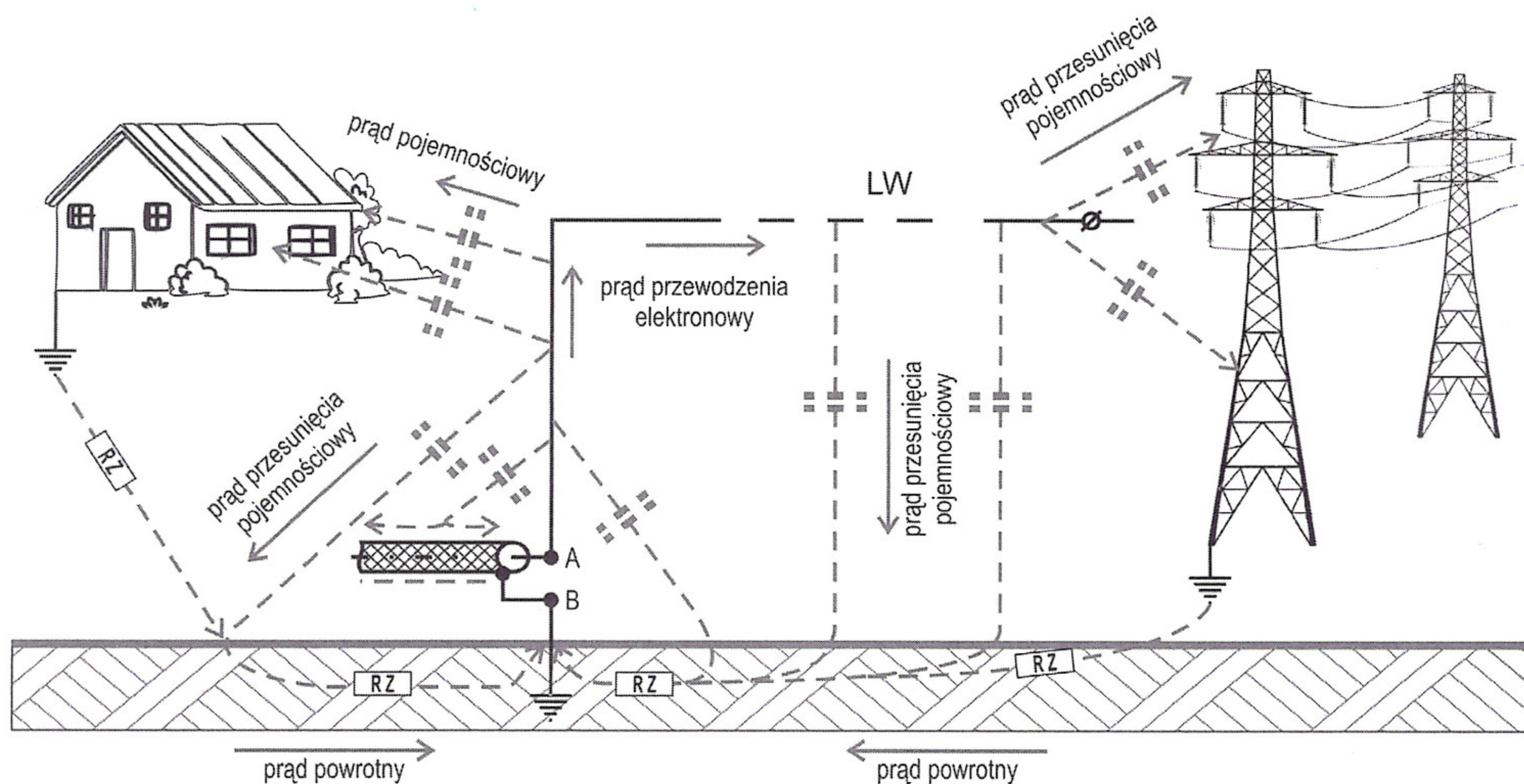
Ausgegeben am 10. August 1928.



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT.
PATENT'SCHRIFT N^o 110357.

JOSEF FUCHS IN WIEN.
Sendeanordnung für drahtlose Telegraphie.
Angemeldet am 14. Juni 1927. — Beginn der Patentdauer: 15. März 1928.

Patent Josefa Fuchsa z 1928 roku



Rys. 3. Obwód anteny niesymetrycznej LW, w którym wyróżniamy prądy przewodzenia i przesunięcia

wagi). Na tej antenie prowadziłem łączności mocą 5 W z kolegą Frankiem UN8CU z Kazachstanu. Kolega Michał SP5AXV z Warszawy, stosując układ Fuchsa (LW 40) zawieszony z 6. piętra ukośnie w dół w kierunku wschodnim, miał łączność z Frankiem mocą 50 mW na KX-2.

Antenę Fuchsa mają m.in. kol. Adam SP5GIH, Tomek SP5TKG, Edward SP5EID i inni, z bardzo dobrymi rezultatami.

Tak dużą skuteczność anteny Fuchsa można uzyskać, stosując przeciwwagi i dobre uziemienie robocze z doprowadzeniem o małej indukcyjności (krótkie o dużym przekroju), aby „nie zbierać” zakłóceń lokalnych.

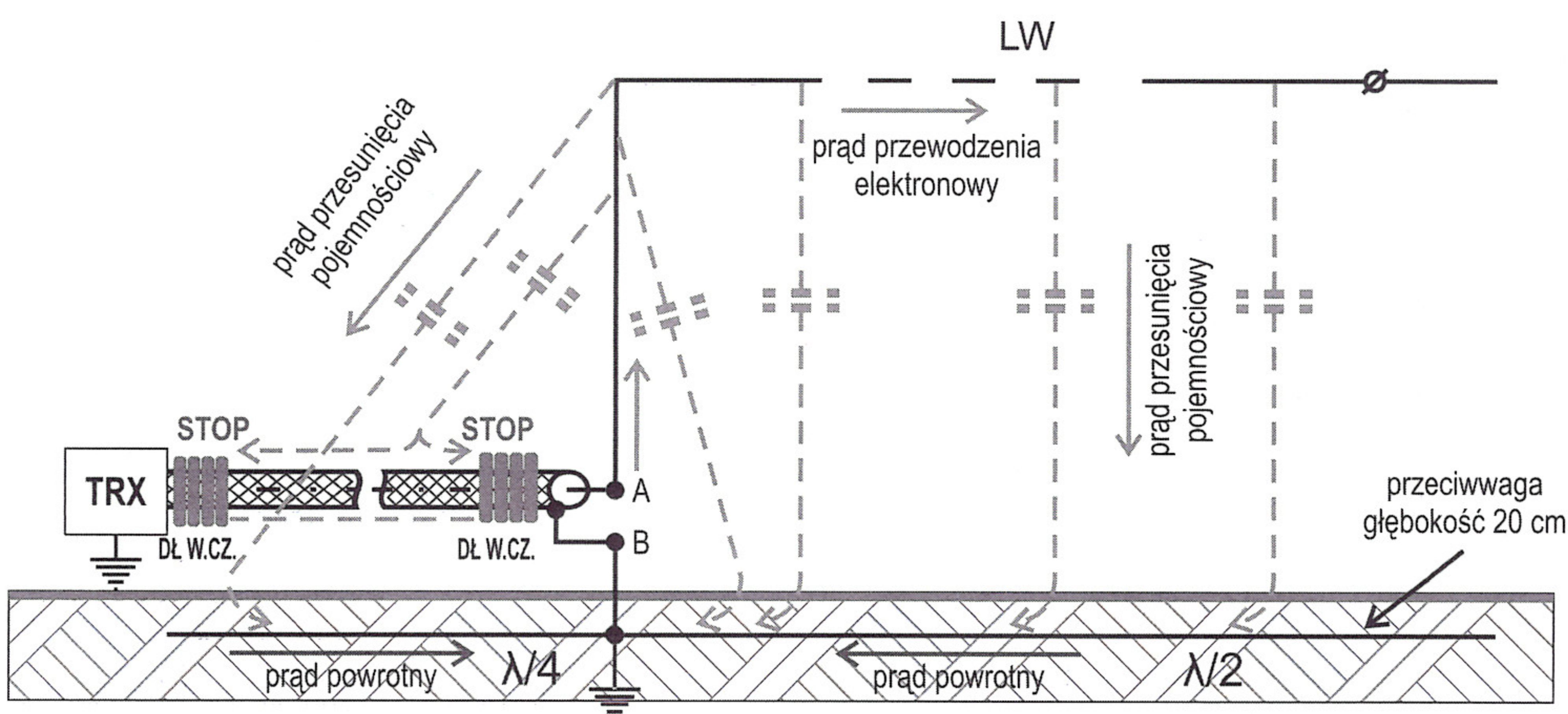
Często koledzy pytają na paśmie: czy trzeba stosować przeciwwagi, czy wystarczy dobre uziemienie, czy mogą przeciwwagi zastąpić balustradą balkonów, rurami c.o., wodociągowymi, itp. elementami? Aby na to odpowiedzieć, trzeba sobie uświadomić, co to jest antena i jak działa?

Antena jest obwodem elektrycznym RLC o stałych rozłożonych. Tak jak w każdym obwodzie elektrycznym prąd popłynie, jeśli

obwód będzie zamknięty. Podstawowym wymogiem jest, aby rezystancja przewodów łączących elementy obwodu była jak najmniejsza (małe straty). W przypadku obwodów w.cz. (a takim jest antena) dodatkowy wymóg jest taki, aby przewody miały jak najmniejszą indukcyjność (reaktancję XL – oporność bierną) i upływność tych przewodów. W obwodach o stałych skupionych (połączonych galwanicznie) płyną tylko prądy przewodzenia (strumień elektronów). Natomiast w obwodzie antenowym mamy do czynienia z prądami przewodzenia i prądami przesunięcia. Z pojęciem prądu przesunięcia spotykamy się na początkowym etapie formułowania teorii promieniowania fal radiowych.

Maxwell [3] jako pierwszy w oparciu o prace Faradaya założył, że przy tworzeniu pola magnetycznego obok prądów przewodzenia występują prądy przesunięcia równoważne prądom przewodzenia.

Przykładem [3] układu elektrycznego, w którym dominują prądy przesunięcia, może być kondensator w obwodzie prądu



Rys. 4. Rozpływ prądów anteny niesymetrycznej anteny LW z przeciwwagami ułożonymi w ziemi

zmiennego: „Prąd [3] zmienny przepływa, mimo że okładziny są rozdzielone idealnym dielektrykiem lub próżnią” (izolatorem – przyp. autora).

Maxwell opisał te zjawiska równaniami matematycznymi. Pierwsze równanie Maxwella (dotyczące teorii promieniowania) w wyrazie werbalnym brzmi: „Prąd [3] przesunięcia proporcjonalny jest do iloczynu – prędkość zmian natężenia pola elektrycznego razy przenikalność dielektryczna środowiska”.

Na rysunku 3 widzimy, że prąd przewodzenia przepływa od zacisku A po galwanicznej części obwodu niemal bez strat. Prądy przesunięcia pojemnościowe, tworzą prąd powrotny, zamykają się w części do ziemi pod anteną i bliskiego otoczenia (budynki z instalacjami wewnętrznymi TV, elektrycznymi, telefonicznymi, itp., rurami c.o., wodociągowymi, gazowymi, a także inne stratne otoczenie odległe do jednej długości fali). Powoduje to duże straty energii, zakłócenia odbioru TV, telefonu, radiofonii, jak również duże tło zakłóceń lokalnych. Obwód dla prądów przesunięcia (dalej zwanych pojemnościowymi) zamyka się do ekranu (zacisk B), przez sumaryczną rezystancję ziemi (Rz), powodując stratę mocy: $P_{sr} = I_p^2 R_z$. Moc tracona nagrzewa ziemię i otaczające elementy stratne. Obniża to znacznie sprawność i skuteczność anteny niesymetrycznej. Prądy pojemnościowe zamykają się również do powłoki kabla (ekranu), na całej długości oddziaływania pola w.cz., są to prądy pasożytnicze.

Aby poprawić sprawność i skuteczność anteny niesymetrycznej (GP, LW), niezbędne jest dodanie do jej instalacji elementu, który będzie zbierał (sumował) rozproszone prądy pojemnościowe i doprowadzał je do ekranu kabla, zamykając obwód w.cz.

Funkcję tę pełni przewód lub przewody dołączone do ekranu kabla – zacisk B.

Przewód ten może być ułożony na powierzchni gruntu, zakopany w ziemi ok. 20 cm lub podwieszony nad ziemią, na odpowiedniej wysokości.

Na rysunku 4 można zauważyć, że prądy pojemnościowe zostały „skanalizowane”, czyli są zebrane i zsumowane przez przewody przeciwwag i dopływają do zacisku B źródła zasilania, zamykając obwód w.cz. anteny.

Straty w tym obwodzie są pomijalnie małe w porównaniu

z wersją bez przeciwwag (rys. 3) i nie ma strat na „grzanie” ziemi oraz strat w otoczeniu.

Sprawność i skuteczność tej instalacji antenowej jest nieporównywalnie większa.

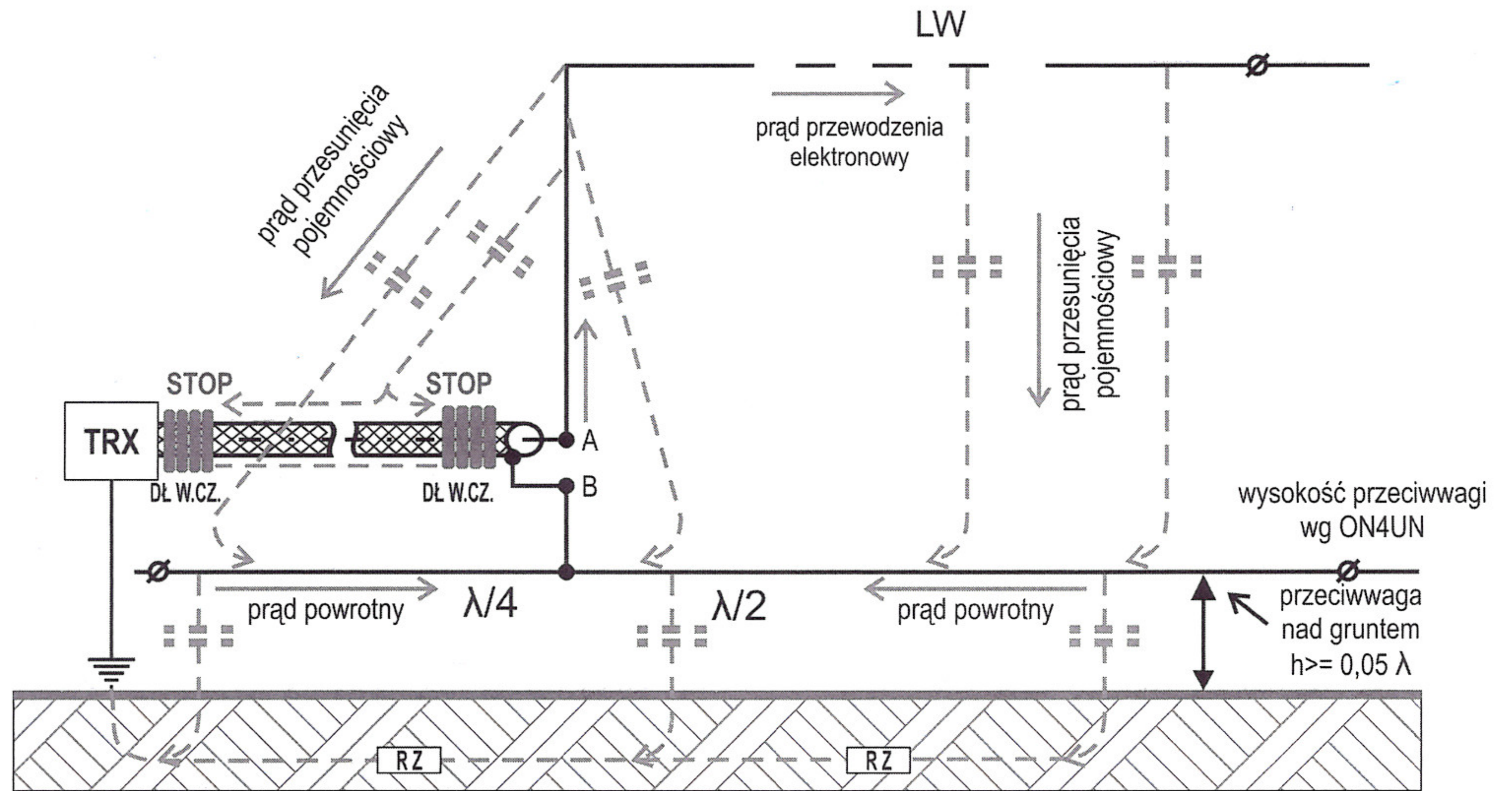
Na tym rysunku widzimy dławik w.cz. (nóż w.cz.), odcinający pasożytnicze prądy płynące po oplocie kabla. Dławik w.cz. to zaporę w postaci indukcyjności, którą może stanowić kilka zwojów (5–10) średnicy około 15 cm nawiniętych bezpośrednio z kabla zasilającego antenę. W dobie powszechnie panujących rdzeni ferrytowych wykonuje się je poprzez przewleczenie kilku zwojów kabla przez środek rdzenia toroidalnego lub nałożenie perełek ferrytowych w postaci tulejek dopasowanych do średnicy kabla antenowego, na obu jego końcach. Należy użyć ferrytów o parametrach odpowiadających zakresowi robocznemu anteny (m.in. przenikalność, granica nasycenia, przekrój rdzenia). Wyczerpujące informacje na ten temat są ogólnie dostępne (w tym w wielu numerach „Świata Radio”, ostatnio ŚR 3/2018 str. 59–60).

Antenę niesymetryczną LW z przeciwwagami umieszczonymi nad ziemią przedstawia **rysunek 5**.

Jak widać na rysunku 4, obwód prądów w.cz. zamyka się poprzez niemal bezstratny przewodnik wibratora i przeciwwag. Czy nie da się nic więcej zrobić, by sprawność była jeszcze wyższa?

Można, jeśli uda się wyeliminować pojemności pasożytnicze między przeciwwagami a ziemią, umożliwiające przepływ prądu przez wysokostratny grunt, prądu podgrzewającego ziemię.

W tym celu należy odizolować grunt od obwodu anteny, aby nie stanowił jego części (rysunek 5). Uzyskamy to, jeśli nie dołączymy opłotu kabla koncentrycznego w miejscu dołączenia anteny oraz przewodów przeciwwag do ziemi. Ponadto przeciwwagi umieścimy nad ziemią na odpowiedniej wysokości i wykonamy je z przewodnika o odpowiednio małej średnicy, aby nieuniknione pojemności pasożytnicze zminimalizować. Powyższy rysunek jest oparty m.in. na informacjach uzyskanych z artykułu ON4UN *Wszystko o przeciwwagach* (ŚR 10/1999 str. 18–23 [6]). Autor, John Devoladere ON4UN, przedstawił swoje doświadczenia i ich rezultaty. Określił minimalną wysokość przeciwwag $h=0,05 \lambda$ nad powierzchnią ziemi. Dla pasma 3,5 MHz to $h=5,2$ m, a śred-



Rys. 5. Antena niesymetryczna LW z przeciwwagami umieszczonymi nad ziemią

nica przewodów przeciwwag 1–2 mm. Takie usytuowanie przeciwwag umożliwi kształtowanie charakterystyk promieniowania anten (szczególnie GP). Szczegóły w przytaczanym artykule. Można ponadto – cytuję „uzyskać prawie 100% sprawności energetycznej, stosując już tylko jedną lub dwie przeciwwagi”.

Artykuł ON4UN powinni przeczytać koledzy, którzy chcą mieć wiedzę przy ewentualnych próbach „panowania” nad prądami pojemnościowymi anten niesymetrycznych typu GP, LW. Dla kolegów, którzy nie będą mieli dostępu do w.w. artykułu, warto podkreślić, że stosowanie dławików w.cz. („noży w.cz.”) jest absolutną koniecznością w przypadku anten niesymetrycznych z przeciwwagami umieszczonymi nad powierzchnią gruntu czy dachu, bez uziemienia, jak na rysunku 5.

Rozwiązanie to należy stosować z pożytkiem dla innych anten, co do których istnieje podejrzenie, że pole elektromagnetyczne wypromieniowane przez antenę może indukować prądy na oplocie kabla koncentrycznego zasilającego. Sta-je się to powodem zniekształcenia charakterystyki anteny, zwiększenia tła zakłóceń i straty energii, jak już wcześniej wspominałem.

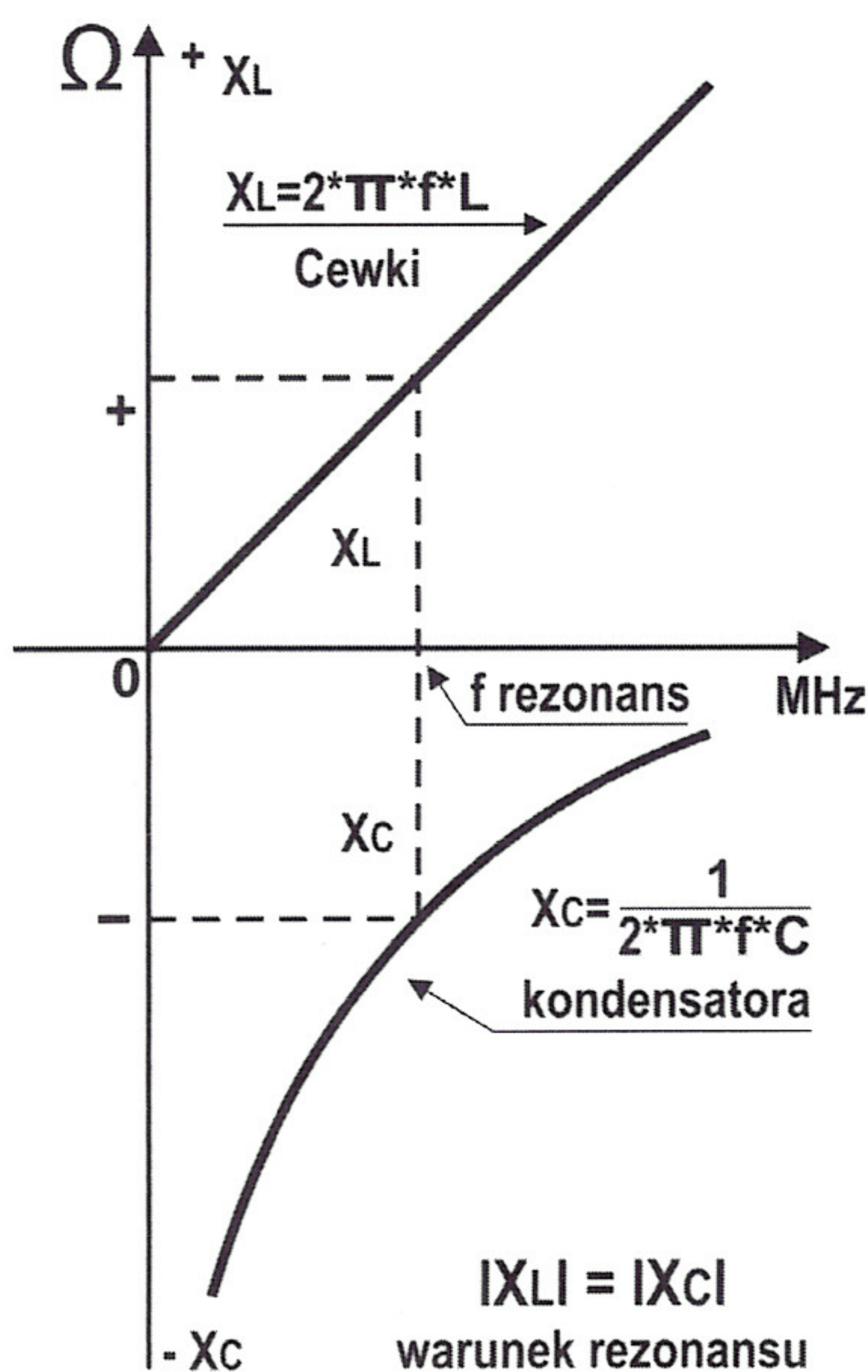
Wymagane jest, aby dławiki w.cz. były po obu końcach kabla zasilającego. Ich indukcyjność powinna być na tyle duża, aby ich reaktancja była minimum czterokrotnie wyższa od typowej oporności dopasowania ($4 \times 50 = 200 \Omega$). Nie powinna mieć rezonansów własnych na pasmach KF. Koledzy którzy zadawali pytania związane z celowością stosowania przeciwwag na pasmach KF, a zechcą zapoznać się z treścią niniejszego artykułu, w ja-

kimś stopniu znajdą odpowiedź na swoje pytania i wątpliwości.

Oczywiste jest, że bez przeciwwag, a nawet uziemienia, antena niesymetryczna będzie „działać”, ale jakie to będzie „działanie”? W przypadku braku przeciwwag i uziemienia obwód anteny dla prądów pojemnościowych zamknie się do ziemi przez różne przypadkowe, znajdujące się w pobliżu stratne elementy (skojarzone z ziemią), budynki ze swoimi instalacjami elektrycznymi, telefonicznymi, c.o., wodociągowymi, rynnami, blacharką itp., przez bardzo dużą sumaryczną oporność strat. Często słyszę informacje od kolegów na pasmach KF „a u mnie LW działa bez przeciwwagi”. Tak, działa!, tylko sprawność i skuteczność takiej instalacji antenowej jest w granicach 15–30% optymalnych możliwości. Przy dobrej propagacji można na niej nawiązać łączność, nawet z dobrymi raportami, ale dla takich anten propagacja bardzo szybko się „kończy”. Jak wyżej wielokrotnie przytaczałem, antena taka będzie również powodem zakłóceń w działaniu innych urządzeń elektronicznych, jak na przykład domofony.

Przedstawiliśmy rolę przeciwwag jako niezbędnych elementów (instalacji) dla zamknięcia obwodów w.cz. anten niesymetrycznych. Pełnią one również inne funkcje:

- kształtowanie charakterystyk promieniowania anten
 - dopasowanie impedancji anten do impedancji linii zasilających
 - poprawienie skuteczności ziemi jako lustro odbijającego obraz anteny (przy niskiej jej konduktywności – przewodności właściwej).
- Aby spełnić niektóre z tych funkcji, należy zastosować prze-



Rys. 5a. Zależność X od f
 $+XL = 2\pi fL$ – oporność bierna indukcyjna – reaktancja indukcyjna
 $-XC = 1/(2\pi fC)$ – oporność bierna pojemnościowa – reaktancja pojemnościowa

ciwwagi w odpowiednio dużych liczbach (nawet do 250 sztuk).

Wiele informacji na ten temat można znaleźć w dostępnej literaturze krótkofalarskiej i przytaczanym artykule ON4UN.

Dla przykładu: *Amatorskie anteny KF i UKF* – str. 233–234, 263–264, 410–411, 414, *Amatorskie urządzenia krótkofalowe* – str. 207, 232–233, *Podręcznik radiooperatora krótkofalowca* – str. 408.

Austriacki krótkofalowiec dr Józef Fuchs OE1JF [8] [10] w 1928 r. uzyskał patent za pomysł zasilania niesymetrycznej anteny półfalowej (lub o długości równej dowolnej wielokrotności połówki fali), czyli o długościach rezonansu równoległego (wysokoomowego) poprzez dostrojony do częstotliwości pracy równoległy obwód rezonansowy. Zasilanie to realizowane jest na jednym z jej końców, co ułatwia montaż anteny i nie obciąża przewodu antenowego ciężarem kabla zasilającego. Antena staje się również mniej widoczna (wykonana z drutu nawojowego o średnicy 0,5–0,8 mm), co może mieć niebagatelne znaczenie, gdyż wiele administracji budynków nie zezwala na wieszanie anten.

Wracając do anteny Fuchsa, patentu nie można uzyskać, jeśli pomysł nie zawiera „czegoś” wyjątkowego. Taki sposób połączenia dwóch „rezonansów” równoległych potęguje ich energetyczną skuteczność. Nie wdając się w matematyczną analizę tego zjawiska, ograniczam się do opisowego

przedstawienia potęgi rezonansu. Przykład: pododdział wojska wchodzi na most, pada komenda – swobodny krok! Gdyby żołnierze maszerowali jednakowym krokiem, a ich rytm (częstotliwości) zrównałby się z częstotliwością drgań własnych konstrukcji mostu, ten mógłby ulec uszkodzeniu. Gdybyśmy zsumowali energię pojedynczych kroków żołnierzy, okazałoby się, że stanowi ona znikomą część energii potrzebnej do uszkodzenia mostu. Zjawisko rezonansu powoduje potęgowanie (kumulację) energii rytmicznych kroków o częstotliwości równej częstotliwości rezonansowej mostu. Zjawiska energetyczne są tym potężniejsze, im większa jest dobroć Q obwodu rezonansowego. W literaturze fachowej [2] str. 64 znajdujemy, cytuję „definicja dobroci oparta jest na zależnościach energetycznych, które występują w układzie drgającym (a takim jest równoległy obwód rezonansowy), a mianowicie współczynnik dobroci układu drgającego wyraża się jako iloraz energii: $Q = 2\pi$ całkowitej wartości energii zmagazynowanej w obwodzie do energii traconej podczas jednego okresu drgań”. W tej samej literaturze na tej samej stronie autorzy stwierdzają: „Obwód o dużej dobroci można przyrównać do koła zamachowego, które obraca się ze stałą prędkością kątową nawet wówczas, gdy siła napędowa jest

przykładana impulsami – w krótkich momentach czasu, np. raz na obrót. Równomierność biegu koła zamachowego jest tym większa, im większy jest zapas zmagazynowanej energii... W elektrycznym obwodzie rezonansowym występuje analogiczne zjawisko”.

Układ Fuchsa ma jeszcze dwie cenne właściwości związane z rezonansem.

Przestrzajany układ rezonansowy LC umożliwia dostrojenie anteny do rezonansu na każdej częstotliwości roboczej w zakresie pasma, (czyli skracania lub wydłużania anteny na drodze elektrycznej). Antena w rezonansie ma tylko składową czynną, $Z_A = R_A$, wynika to z warunku rezonansu $+XL = -XC$, nie ma przesunięć fazowych, nie występuje moc bierna.

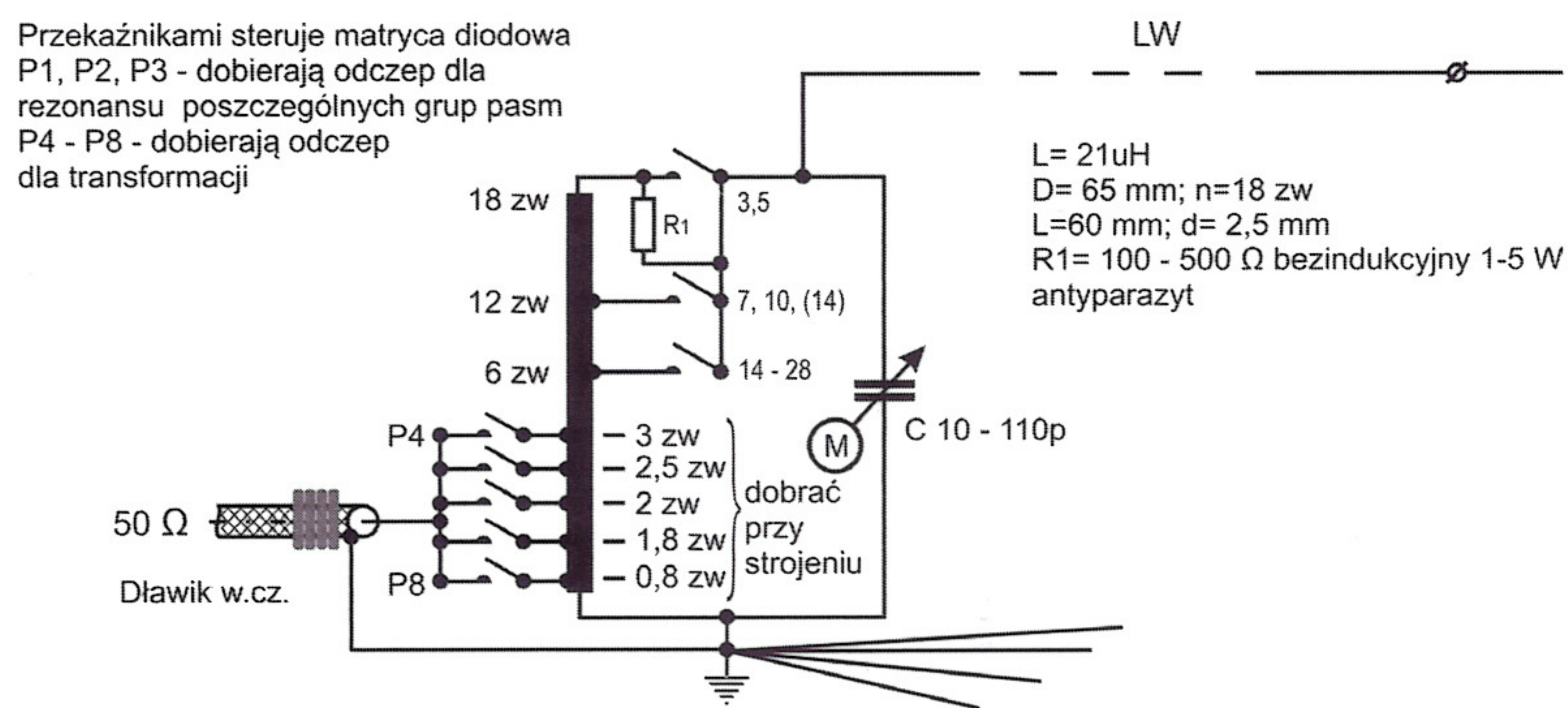
Reaktancje są w przeciwfazie, stąd znak „+” i „-” (rysunek 5a).

Widzimy, że reaktancja indukcyjna jest wprost proporcjonalna do częstotliwości. Reaktancja pojemnościowa jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości (do pulsacji, prędkości kątowej $2\pi f = \omega$).

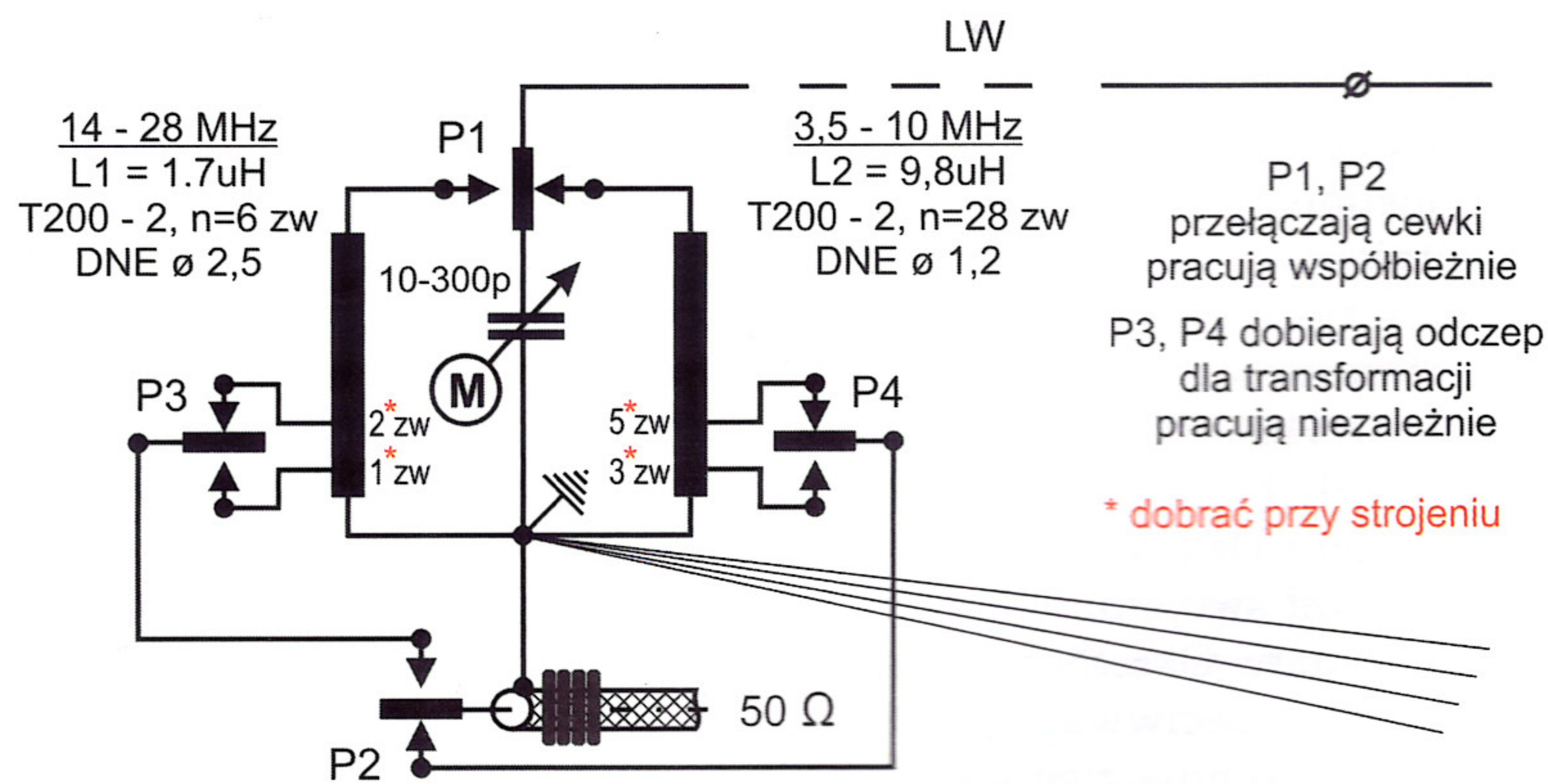
Są one parametrami przeciwnymi:

- przy $f = 0$: $XL = 0$, $XC = -\infty$
- przy $f = \infty$: $XL = +\infty$, $XC = 0$

Ten stan jest powodem przesunięć fazowych między prądami płynącymi w tych elementach – są w przeciwfazie 180°.



Rys. 6. Układ do sterowania 8 pasm



Rys. 7. Uproszczona wersja do zdalnego sterowania 8 pasm

Jeśli będziemy mieć cewkę o dowolnej indukcyjności $L[H]$ i dowolny kondensator $C[F]$, to znajdziemy taką częstotliwość, przy której moduły reaktancji tych elementów będą równe, lecz z przeciwnymi znakami. Przyrównajmy $+XL = -XC$, $2\pi fL = 1/(2\pi fC)$, po przekształceniach otrzymamy $f_r = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ – częstotliwość rezonansowa.

Prąd w obwodzie jest wielokrotnie większy od prądu zasilającego – stąd nazwa rezonans prądów.

Definiowana powyżej dobroć Q , oparta na zależnościach energetycznych, przyjmuje praktyczny wyraz w oparciu o parametry L, C obwodu:

$$Q = XL / RS = 2\pi f_r L / RS$$

gdzie: RS – oporność strat w obwodzie

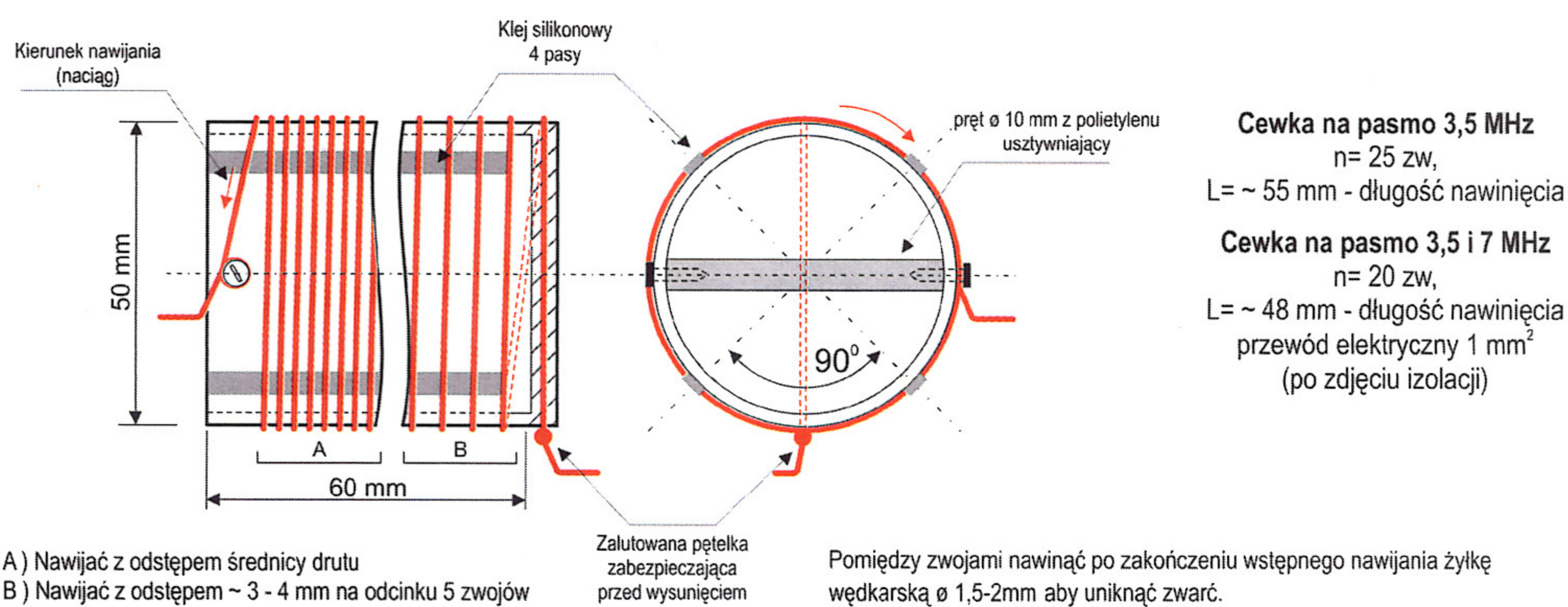
Praktyczna dobroć cewek Q rzędu 100–400, dobroć wypadkowa obciążonych układów nadawczych $QW = 5-20$.

Oporność czynna obwodu równoległego w stanie rezonansu nosi nazwę – oporność dynamiczna obwodu R_d , która wyraża się zależnością: $R_d = XLQ_r = 2\pi f_r LQ = \omega LQ [\Omega]$ lub $R_d = Q_r / \omega C$.

Nieobciążony równoległy obwód rezonansowy o dużej dobroci osiąga wartości R_a rzędu kilku $M\Omega$, w praktyce wartość R_d wynosi około 1–100 $k\Omega$.

Kolejną cenną właściwością układu Fuchsa jest to, że jest on wstępnym obwodem selektywnym odbiornika i jednocześnie obwodem filtrującym prądy o częstotliwościach harmonicznych podczas nadawania. Warto tu przytoczyć opinię autorów literatury [2], dotyczącą przekazania mocy generatora nadajnika do obciążenia (anteny). Cytuję: „Na rys. 71a przedstawiono najprostsz y równoległy obwód rezonansowy. Obwód taki rzadko znajduje zastosowanie praktyczne, warunek bowiem dopasowania może być spełniony wówczas, gdy zastępcza równoległa rezystancja odbiornika energii (anteny przyp. autora) jest równa żądanej optymalnej rezystancji dynamicznej obwodu”. Pomysł dr Józefa Fuchsa spełnił ten warunek 41 lat wcześniej, zanim wydano książkę z tą informacją (wyd. [2] 1968 r.).

Fuchs obciążył obwód równoległy drugim obwodem równoległym o wspólnej oporności dynamicznej R_a – warunek, aby były dostrojone do rezonansu na wspólnej częstotliwości roboczej. Przytaczając powyższe informacje,



Rys. 8. Konstrukcja cewki na karkasie z tuby po kleju montażowym silikon

mamy świadomość, że nie opisują one wyczerpująco złożonych zagadnień elektroenergetycznych „cudownej” anteny Fuchsa, mimo to w jakimś stopniu uzasadniają praktycznie sprawdzoną, wyjątkowo wysoką skuteczność tej anteny.

Praktyczne wykonanie cewki do układów Fuchsa

Jako pierwszą wykonałem cewkę pokazaną na rysunku 2. Jest to cewka powietrzna samonośna, wzmocniona prętami polietylenowymi o średnicy 10 mm – pionowymi – 4 szt. co 90° . Pracuje do dzisiaj, jest najlepszą moją cewką ($Q = 280$). Następna to cewka wykonana na trzech prętowych rdzeniach ferrytowych, opisana wcześniej (wykonana dla Stefana SP9WZN).

Na każdej z tych cewek wykonałem układ umożliwiający pracę na 8 pasmach od 3,5 MHz do 28 MHz, według rysunku 6.

Kolejne cewki wykonałem na rdzeniu toroidalnym proszkowym AMIDON T200-2. Na pasma 3,5–10 MHz: 28 zwojów, DNE o średnicy 1,2 mm, $L=9,8 \mu H$. Na pasma 14–28: 6 zwojów, DNE o średnicy 2,5 mm, $L = 1,7 \mu H$.

Na bazie tych cewek zamierzam wykonać układ do obsługi ośmiu pasm. Na rysunku 7 zamieszczam uproszczoną wersję do sterowania układu obsługującego 8 pasm z rysunku 6.

Ostatnio wykonaliśmy cewkę na odcinku tuby kleju montażowego silikon. Konstrukcja cewki przedstawiona jest na rysunku 8. Użyłem odcinka od strony gwintu o długości 7 cm. Obciętą krawędź tuby usztywniłem, wkładając w środek odcinek pręta polietylenowego o średnicy 10 mm (używany w klejarce na gorąco), długości równej wewnętrznej średnicy tuby. Na obu końcach pręta należy wykonać osiowo otwory o śred-

nicy 2 mm na wkręty o średnicy 3 mm/12, którymi przymocujemy pręt przy krawędzi tuby. Z jednej strony należy poluzować wkręt na tyle, aby można było, kończąc nawijanie naciągniętym drutem, owinąć go wokół tego elementu. Od strony gwintu należy przewiercić otwór (kilka milimetrów powyżej krawędzi) przez całą średnicę tuby, średnica otworu równa średnicy drutu uzwojenia. Wkładamy drut nawojowy w otwór, zostawiamy odcinek montażowy i robimy pętelkę (zalać ją cyną), aby przewód się nie wysunął podczas silnego naciągu drutu. Nawijamy cewkę o długości około 55 mm i kończymy ją, owijając na wkręcie, pod który należy podłożyć 2 podkładki. Przy średnicy tuby 50 mm cewka dla pasma 3,5 MHz ma 25 zwojów (20 zwojów na 3,5 i 7 MHz) drutu – przewodu elektrycznego 1 mm^2 ze zdjętą izolacją. Z pojedynczym kondensatorem od RBM-ki o maksymalnej pojemności 250 pF pracuje doskonale do mocy 100 W (ok. 200 W przebicia).

Uzwojenie po wyregulowaniu odstępów zwojów należy usztywnić klejem silikon, cztery pionowe pasy szerokości około 8 mm co 90° .

Stratność materiału tuby jest porównywalna z polietylenem, sprawdzona w mikrofalówce. Od strony dolnego „zimnego” końca cewkę należy nawijać z odstępem 3–4 mm, aby można było łatwo przylutować odczepy (nie powodując zwarc międzyzwojowych). Zainteresowanym kolegom życzę powodzenia w eksperymentach z tą anteną.

Dziękuję za pomoc w opracowaniu artykułu kolegom Adamowi SP5GIH, Czarkowi SP5GIA i Tadekowi SP7XIF. Dziękuję również za opracowanie cyfrowe rysunków kolegom: Andrzejowi SQ7OFB i Markowi SQ7HJB.

Stanisław Duda SP7BYG,
SO5MM

Cewka na pasmo 3,5 MHz
 $n = 25$ zw,
 $L \sim 55$ mm - długość nawinięcia

Cewka na pasmo 3,5 i 7 MHz
 $n = 20$ zw,
 $L \sim 48$ mm - długość nawinięcia
przewód elektryczny 1 mm^2
(po zdjęciu izolacji)

Literatura

- [1] Z. Bieńkowski, Lipiński: *Amatorskie anteny KF i UKF*. WKŁ 1985
- [2] S. Ryzko, J. Ebert: *Wzmacniacze rezonansowe i generatory mocy wielkiej częstotliwości*. WNT 1968
- [3] G.Z. Aizenberg: *Anteny krótkofalowe*. WNT 1966
- [4] J. Sawicki: *Anteny*. WKŁ 1965
- [5] R. Janullis: *Jednowstęgowy system łączności*. WKŁ 1970
- [6] *Wszystko o przeciwagach*. „Świat Radio” 10/1999, str. 18–23
- [7] *Wakacje z radiostacją*. „Świat Radio” 7/2003, str. 14–15
- [8] *Dopasowanie anten drutowych*. „Świat Radio” 1/2006 str. 28–30
- [9] Z. Lenkowski, M. Białko, A. Masewicz: *Odbiorniki radiowe z przemianą częstotliwości*. WKŁ 1967
- [10] Josef Fuchs (OE1JF): *Antenna, Patentschrift nr 110357*, http://www.antentop.org/016/files/oe1jf_016.pdf