

## Dławik anodowy (do wzmacniaczy PA)

Zadaniem dławika anodowego jest oczywiście doprowadzenie prądu stałego do anody z jednoczesnym odseparowaniem prądu wielkiej częstotliwości, który skierowany jest do obwodu wyjściowego.

Aby lepiej zrozumieć techniczne trudności wpierv parę słów o podstawowych wymaganiach. Jest to zestaw kilku parametrów i każdy wymaga komentarza.

Minimalna reaktancja na najniższej częstotliwości pracy (i wynikająca z tego indukcyjność).

Reaktancja dławika =  $2 \times \pi \times \text{Indukcyjność (uH)} \times \text{Częstotliwość (MHz)}$ . Ze wzoru wyraźnie wynika, że reaktancja jest proporcjonalna do częstotliwości i stąd najniższa częstotliwość jest tutaj warunkiem.

Użyty dławik anodowy musi mieć reaktancje wystarczająco dużą, aby nie bocznikował lampy i obwodu wyjściowego. Jak duża reaktancja jest wystarczająca?

Generalnie przyjmuje się, że jest ona równa impedancji wyjściowej lampy, którą w przybliżeniu można obliczyć ze wzoru:

Impedancja = Napięcie anodowe (V) / ( Prąd anodowy (A) x współczynnik K )

Gdzie; współczynnik K zależny jest od klasy pracy wzmacniacza:

K = 1.3 (klasa A), K = 1.5 do 1.7 (klasa AB), K = 1.57 do 1.8 (klasa B), K = 2 (klasa C) (wg "The ARRL Handbook 1995).

Wyraźnie z tego wynika, że nadawcze lampy "napięciowe" (wysokie napięcie i mały prąd) jak np. 4X500A wymagają znacznie większej indukcyjności niż tzw. lampy "prądowe" (niskie napięcie i duży prąd) jak np. lampy odchyłania TV, szczególnie pewna ich liczba połączonych równolegle.

Dla przykładu pojedyncza lampa 4X500A pracująca z  $U_a = 4\text{kV}$  i prądem 360mA w klasie AB z najniższą częstotliwością pracy 1.8MHz wymagać będzie dławika o indukcyjności ponad 600uH, podczas kiedy 4 równolegle połączone 6KD6 (EL509) z  $U_a = 800\text{V}$ , prądem 800mA w tej samej klasie i przy tej samej częstotliwości minimalnej wymagać będą tylko nieco ponad 50uH.

Z powodów opisanych w punkcie 3 dużą indukcyjność jest bardzo niepraktyczna i bardzo często (nawet w urządzeniach fabrycznych) stosowane są dławiki o indukcyjności mniejszej albo nawet znacznie mniejszej niż obliczona wartość minimalna.

W takich przypadkach powoduje to, że dławik taki na najniższych częstotliwościach pracy dodatkowo obciążony będzie dość sporym reakcyjnym prądem w.cz. Nie powinno to spowodować dużego spadku mocy na wyjściu wzmacniacza (prąd jest tylko reakcyjny) aczkolwiek to się nie zawsze sprawdza. Dławik taki musi być jednak zaprojektowany na znacznie większy prąd niż tylko prąd anodowy lampy. Bardzo często (przy mocach rzędu kW) wymagać może dodatkowego chłodzenia na najniższych częstotliwościach.

Innym, związanym z tym problemem, jest pojemność i wytrzymałość prądowa kondensatora blokującego w.cz po drugiej stronie takiego małego dławika.

Dobór takiego kondensatora (poza wytrzymałością napięciową) nie jest typowo krytyczny, jeśli dławik ma wystarczająco dużą indukcyjność. Jeśli jednak jest to dławik o stosunkowo małej indukcyjności, wtedy bardzo duży prąd w.cz (na najniższej częstotliwości pracy) wymagać będzie nie tylko kondensatora o znacznie większej pojemności, ale także i o dużej wytrzymałości prądowej w.cz.

Typowo zakłada się, że napięcie w.cz na drugiej stronie (stronie zasilacza) nie powinno przekraczać 10V rms, szczególnie, jeśli w zasilaczu użyte są kondensatory elektrolityczne. Wynika to z faktu, że obecność w.cz będzie je dodatkowo nagrzewała a ich trwałość dramatycznie zależy od temperatury.

Dla przykładu: założmy, że mamy lampę 4X500A pracująca w warunkach, jak opisane powyżej, ale z dławikiem o indukcyjności tylko 150uH i reaktancji 1700 Ohm na częstotliwości 1.8MHz.

Napięcie wyjściowe (na anodzie) w.cz będzie prawdopodobnie rzędu 3500V wartości szczytowej i 2500V wartości skutecznej (rms).

Na częstotliwości 1.8MHz reakcyjny prąd w.cz w tym dławiku wyniesie  $I = 2500 / 1700 \text{ Ohm} = 1.47\text{A}$ . Jest to już wartość zdecydowanie za duża dla typowych wysokonapięciowych kondensatorów typu TV. Aby utrzymać napięcie w.cz na tym kondensatorze 10V max. jego reaktancja pojemnościowa musi być maksymalnie

$X_C = 10\text{V} / 1.47\text{A} = 6.8 \text{ Ohm}$ . Na częstotliwości 1.8MHz wymaga to kondensatora o pojemności minimum 13nF (!). Nie jest to łatwe wymaganie i w praktyce może być osiągnięte przez użycie pewnej ilości mniejszych kondensatorów i w ten sposób rozłożenie prądu .

#### Wytrzymałość prądowa

Prąd anodowy wzmacniacza lampowego nawet o bardzo dużej mocy rzadko przekracza 1A. Typowy dławik anodowy ma uzwojenie w jednej tylko warstwie, więc chłodzenie przewodu nawojowego jest z reguły bardzo dobre. Z tego też powodu dość bezpiecznie założyć można obciążenie przewodu nawojowego nawet do 10A na milimetr kwadratowy. Czyli, że nawet dla bardzo dużego wzmacniacza lampowego przewód o średnicy rzędu 0.4mm w zupełności wystarczy, nawet, jeżeli wzmacniacz taki pracuje w sposób ciągły, a bardzo często używane są przewody jeszcze cieńsze..

Jeżeli jednak indukcyjność takiego dławika jest mniejsza niż wymagana minimalna na najniższej częstotliwości pracy wzmacniacza, wtedy dodatkowo pojawi się też dość spory reakcyjny prąd w.cz, który wymagać będzie nieco grubszego przewodu.

#### Obecność rezonansów

To jest chyba najtrudniejszy parametr dławika anodowego.

Absolutnie każdy dławik będzie miał rezonanse i jest to coś, z czym musimy się pogodzić, czy się to nam podoba czy nie.

Są one spowodowane kombinacją indukcyjności dławika i pojemnościami między zwojowymi. Konstrukcja dławika jest również czynnikiem mającym wpływ na rozkład rezonansów. Pierwszy jest rezonans równoległy a następnie szeregowy i w miarę wzrostu częstotliwości oba rezonanse będą występowały na przemian.

To zjawisko powoduje, że rzeczywista impedancja dławika na wyższych częstotliwościach będzie znacznie mniejsza niż jego teoretycznie obliczona reaktancja.

Najlepiej jest, jeśli te rezonanse zaczynają się powyżej zakresu częstotliwości pracy wzmacniacza (czyli ponad 30MHz).

W praktyce jednak dławiki o indukcyjności powyżej, powiedzmy rzędu 60uH, będą miały co najmniej jeden rezonans poniżej (albo znacznie poniżej) 30MHz.

W czym nam jednak ten straszny zwierz (rezonans) przeszkadza?

Istnieją dwa rezonanse: szeregowy i równoległy. I każdy się manifestuje w inny sposób.

Rezonans szeregowy powoduje, że dławik traci reaktancję i niejako "przestaje istnieć". Wynika to z tego, że impedancja szeregowego obwodu rezonansowego w rezonansie jest bliska zeru (zostaje tylko rezystancja drutu). Czyli dławik w rezonansie szeregowym nie jest wcale lepszy niż kawałek drutu o takiej samej rezystancji jak jego uzwojenie i oznacza to, że wyjście lampy nadawczej jest dla w.cz prawie zwarte do masy, a właściwie do zasilacza wysokiego napięcia. Spowoduje to oczywiście powstanie ogromnego prądu w.cz i "cos" tego nie wytrzyma. Efekt oczywiście będzie tym większy im większy jest wzmacniacz.

W rezonansie równoległym wypadkowa impedancja obwodu jest bardzo wysoka. Na pierwszy rzut oka wygląda to nawet bardzo dobrze. Czy przypadkiem nie zależało nam na bardzo wysokiej impedancji?. Jest tylko pewne "ale". Każdy obwód rezonansowy (równoległy także) cechuje się istnieniem współczynnika dobroci Q. Nie wdając się w naukowe wyjaśnienia, co on oznacza, zauważyć można jedną ciekawostkę. Wartość Q niejako "wzmacnia" wartość napięcia na równoległym obwodzie rezonansowym. W przypadku naszego dławika wypadkowe napięcie w jego równoległym rezonansie będzie w przybliżeniu równe napięciu pracy w.cz razy wartość Q. Czyli jeśli nasz wzmacniacz (wspomniany powyżej) na lampie 4X500A ma dławik, który będzie w rezonansie na częstotliwości pracy z wartością  $Q = 20$  (wcale nieprzesadzona) wtedy napięcie w.cz na tym dławiku (przynajmniej w teorii) może osiągnąć fantastyczna wartość  $2500 \times 20 = 50kV$  (!).

Jeśli zadaniem naszym było zorganizowanie ogni sztucznych możemy sobie pogratulować.

Dławik jest oczywiście skończony a spowodowany równoległym rezonansom łuk elektryczny zniszczy wszystko w jego zasięgu. W przypadku wzmacniacza bardzo dużej mocy może się to skończyć na pośpiesznej wizycie kilku pojazdów straży pożarnej.

#### Wytrzymałość napięciową

Zakładając, że dławik anodowy nie ma żadnych równoległych rezonansów - jego wytrzymałość napięciowa jest z reguły znacznie większa niż wymagane minimum. Ten parametr można z reguły zupełnie zapomnieć tak długo jak jego wyprowadzenia nie są w jakimś punkcie za blisko innych obiektów.

Z powyższego wynika, że największym problemem związanym z dławikiem anodowym wzmacniacza lampowego są jego rezonanse.

Równie oczywiste jest, że warto jest sprawdzić ich obecność przed pierwszym włączeniem wzmacniacza. W przeciwnym przypadku możemy już nie mieć takiej okazji.

Na pomoc przychodzi tutaj poczciwy GDO w jakiegokolwiek jego wersji (na lampie, diodzie tunelowej- czy tranzystorze).

Sam pomiar jest wręcz trywialny i dokonuje się go dokładnie w taki sam sposób jak w przypadku każdego innego obwodu strojonego. Tyle, że taki pomiar wykaże tylko rezonanse równoległe. Dla znalezienia rezonansów szeregowych, należy oba końce dławika zewrzeć grubym, prostym kawałkiem drutu.

W praktyce jednak otoczenie dławika anodowego będzie miało pewien wpływ na większość jego parametrów, włączając w to i częstotliwości rezonansowe. Oznacza to, że końcowe pomiary powinny być przeprowadzone z dławikiem zainstalowanym we wzmacniaczu.

Tak długo jak wszystkie rezonanse znajdują się w bezpiecznej odległości od końców wszystkich pasm amatorskich, dławik powinien być w porządku, aczkolwiek jego impedancja nie będzie już tak dużą jak oczekiwana.

Co jednak w przypadku, kiedy znajdziemy rezonans, jak na złość, dokładnie w środku pasma na przykład 21MHz?

Praktyczna metoda na "przesuwanie" rezonansów, czy też "strojenie" dławika przez drobne zmiany ilości zwojów albo ich wzajemne przesuwanie itp.

Pamiętać jednak należy, że po każdej takiej zmianie sprawdzić należy dławik na obecność rezonansów od początku (cały zakres częstotliwości).

Bardzo często spotkać można dławiki sekcjonowane, jak np. słynny swojego czasu National R-175, czy jego nowsza (cały czas jednak bardzo stara) wersja R-175A, albo dławiki używane w wielu fabrycznych wzmacniaczach jak np. Ameritron AL-572, AL-800H, AL-1200, Eldico SSB1000, QRO Technologies HF-2000 czy wiele innych.

Sekcjonowanie dławika nie ma na celu usunięcie jego rezonansów w zakresie 1.8 do 30MHz. Tak długo jak są te sekcje ze sobą sprzężone w jakimś stopniu nie jest to absolutnie możliwe.

Sekcjonowanie dławika ma na celu takie przesunięcie rezonansów, aby wypadły one pomiędzy pasmami amatorskimi i w bezpiecznej od nich odległości.

Musimy też pamiętać, że starsze dławiki, które mają te rezonanse odpowiednio poprzesuwane, aby nie wypadły w pasmach amatorskich przed wprowadzeniem pasm WARC (30m, 17m i 12m) mogą mieć te rezonanse wypadające właśnie gdzieś na tych pasmach, a przynajmniej jednym z nich.

W przeszłości 25MHz było taką ulubioną częstotliwością na "zaśmiecanie" rezonansami, jako, że była ona bezpiecznie daleko od pasm 15m jak i 10m.

Teraz jest to praktycznie w paśmie 12m.

Popularny swego czasu National R-175 znany jest z rezonansów na 17m i ja osobiście słyszałem o spektakularnych ogniach sztucznych przez niego spowodowanych.

Jego nieco nowsza wersja R-175A, łatwa do rozróżnienia przez przerwę w najwyższym uzwojeniu, nie miała na celu usunięcie tego problemu, jako, że wprowadzona była jeszcze przed pojawieniem się pasm WARC. Jej celem było podniesienie praktycznej impedancji na wielu innych pasmach jak również zapewnienie pracy w paśmie 6m.

Nie słyszałem jednak o tym czy to coś zmieniło na paśmie 17m.

Komercyjne wzmacniacze mocy budowane dla ciągłego pokrycia bardzo szerokiego zakresu częstotliwości nie mogą polegać na "zmiataniu rezonansów pod dywan", czyli ich przesuwaniu w miejsce gdzie nie będą przeszkadzać. Ten problem jest rozwiązywany przez używanie więcej niż jednego dławika i ich przełączanie. Metoda ta jest nawet czasem używana przez krótkofalowców w amatorsko budowanych wzmacniaczach mocy. Zdarza się też spotkać krótkofalarskie, fabrycznie produkowane wzmacniacze mocy z przełączanymi dławikami. Przykładem może być wzmacniacz Alpha 87 z jego tak charakterystycznymi dławikami, czerwonym i zielonym (kolor drutu nawojowego).

Nie oznacza to wcale, że zwykły jednowarstwowy i jednosekcyjny dławik nie może być użyty. Tak no dobrą sprawę to sekcjonowanie wcale nie poprawia sytuacji aż tak bardzo jak się to wydaje, a częste są opinie, że to wcale nie robi różnicy. Zazwyczaj w przypadku dławika niepodzielonego na sekcje, zwiększenie jego średnicy pozwala na uzyskanie większej indukcyjności przy utrzymaniu pierwszego rezonansu na stosunkowo wysokiej częstotliwości. Różnice można jednak zauważyć tylko w pewnym zakresie średnic dławika (powiedzmy do 35mm i dalsze jej zwiększenie nic w praktyce nie daje).

Dławiki tego typu są bardzo powszechnie używane tak we wzmacniaczach fabrycznych jak i we wzmacniaczach amatorskich.

Przykładem takiego dławika może być niezwykle popularny B&W 800, znany w wersji oryginalnej jak i kopiowany przez amatorów. Jest to jednosekcyjny dławik o średnicy 3/4 cala i długości 6 cali o indukcyjności 90uH. Niestety, z uwagi na bardzo małą indukcyjność, nie działał on dobrze na paśmie 160m, czego przykładem może być wzmacniacz Alpha 77, który dość słabo funkcjonował na tym paśmie m.in. z powodu tego dławika. Pomimo tak małej indukcyjności ma on trzy rezonanse w zakresie KF na 8.6MHz (równoległy, bardzo silny), 24MHz (szeregowy, też bardzo silny - prawie jak zwarcie) i nieco słabszy na 27MHz.

Dławik B&W 801 o indukcyjności 200uH był specjalnie zaprojektowany, aby zaradzić problemom z pasmem 160m.

Najnowsza wersja tego dławika o oznaczeniu B&W 802 ma indukcyjność 110uH i też nie jest rewelacyjna na 160m. Do tego dla obniżenia kosztów ceramiczny rdzeń został zastąpiony plastikowym (Delrin), który czasem niestety nie wytrzymuje warunków pracy i mięknie.

Istnieją jeszcze inne możliwości jak np. szeregowo podłączone, nieco różniące się od siebie, trzy dławiki, każdy o indukcyjności na tyle małej, że jego pierwszy rezonans wypada powyżej pasma 10m. Są one tak ustawione, że każdy jest pod kątem prostym do pozostałych (X, Y, Z) i nie ma indukcyjnego sprzężenia pomiędzy nimi. Wypadkowa indukcyjność będzie wtedy sumą indukcyjności poszczególnych dławików. Jest to jednak dość skomplikowane i wcale nie daje aż tak dużej indukcyjności.

Inna możliwość, bardzo kontrowersyjna i na ogół bardzo źle zrozumiana, to dławik z rdzeniem ferrytowym.

Zasada jest taka, że rdzeń ferrytowy bardzo mocno zwiększy indukcyjność dławika bez zwiększania ilości zwojów, a tym samym jego własnej pojemności. Samo uzwojenie może być nawinięte z pewnym odstępem między zwojami jeszcze bardziej zmniejszając pojemność. To jest rozwiązanie, któremu ja obecnie się przyglądam.

Argumentem przeciwko jest to, że rdzeń taki bardzo łatwo wejdzie w nasycenie z uwagi na wielkość prądu w.cz. Ten argument jest w sumie absolutnie nieuzasadniony i ktokolwiek z doświadczeniem w projektowaniu transformatorów, szczególnie do zasilaczy impulsowych, go wyśmieje. W rzeczywistości sytuacja jest znacznie gorsza, a prąd w.cz nie ma tutaj absolutnie nic do rzeczy. W sumie, jeśli indukcyjność dławika jest wystarczająco duża, wtedy prąd w.cz jest bardzo mały.

Nadmierny prąd może rzeczywiście spowodować nasycenie rdzenia, ale tylko prąd stały.

Czynnikiem prowadzącym do nasycenia jest wartość napięcia zmiennego na zwoj. Wartość indukcji magnetycznej w rdzeniu jest odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości, i to jest korzystne, bo mamy do czynienia z wysokimi częstotliwościami. Największym problemem jest napięcie. Jako, że chcemy utrzymać jak najmniejszą ilość zwojów, więc prowadzi to do bardzo dużego stosunku napięcia na zwoj. I to powoduje, że wiele eksperymentów skończyło się w dymie. Napięcia występujące w typowym sporym lampowym PA powodują, że potrzebny jest naprawdę bardzo duży rdzeń.

Jak z tego widać na rezonansie dławika anodowego nie istnieje żaden złoty środek.

Najczęściej stosowane jest albo użycie sprawdzonego dławika, o którym wiadomo, że będzie dobrze pracował na wszystkich planowanych pasmach (po wmontowaniu i tak trzeba go sprawdzić przy użyciu GDO) albo zrobienie własnego z nieuniknionym procesem strojenia, czyli dobierania ilości zwojów tak, aby jego rezonanse wypadły pomiędzy pasmami amatorskimi.

W każdym przypadku, z chwilą uzyskania dobrego rezultatu, trzeba go jeszcze sprawdzić po wmontowaniu do wzmacniacza. Może być wtedy wymagana mała korekcja ilości zwojów.

Lepszym niż GDO przyrządem do pomiarów parametrów dławika jest Network Analyzer albo Impedance Analyzer (Analizator Impedancji). Oba są jednak typowo poza zasięgiem nawet dobrze finansowo stojącego amatora.

Proces ten jest bardzo pracochłonny, ale tak naprawdę to dobry dławik anodowy może być traktowany prawie jak dzieło sztuki.

Janusz, VE3ABX