

Niezbędnik dla amatorów i profesjonalistów

W głośnikowym żywiole, część 17

Obudowy z membraną bierną, część 1

Obudowa z membraną bierną jest spotykana dość rzadko, ale warto znać jej zasadę działania, bowiem w niektórych sytuacjach okazuje się ona po prostu najlepszym rozwiązaniem. Dlatego membrana bierna ma swoje stałe miejsce w technice głośnikowej. Przedstawimy ją z jednej strony bardziej skrótowo, niż wcześniej bas-refleks, z drugiej strony na tyle kompletnie, aby hobbistom ułatwić własne eksperymenty.

Pierwsze opisy działania membrany biernej pojawiły się jeszcze w latach 30-tych ubiegłego wieku, ale wysyp licznych konstrukcji tego typu nastąpił w latach 70-tych, głównie za sprawą teoretycznych prac Thiele'a-Smalla, porządkujących metodę obliczania parametrów obudów typu... bas-refleks. Obudowa z membraną bierną jest bowiem tylko pozornie czymś zupełnie innym od obudowy z otworem. Intuicyjnie wydaje się, że przez otwór promieniowana jest fala pochodząca bezpośrednio od tylnej strony membrany głośnika, a membrana bierna działa bardziej niezależnie, chociaż pobudzana przez ciśnienie w obudowie – bo przecież przez nic innego. Faktem jest, że membrana bierna staje na przeszkodzie wypromieniowywaniu pasożytniczych rezonansów obudowy (co jest jedną z jej zalet, tak jak i to, że nie tworzą się w niej własne rezonanse tunelowe), jednak podstawowa zasada działania jest taka sama – promieniowanie tylnej strony membrany głośnika pobudza do drgań układ rezonansowy, utworzony przez podatność powietrza w obudowie i masę powietrza w otworze – albo masę membrany biernej. Subtelna różnica polega na tym, że membrana bierna, tak jak głośnik, a inaczej niż masa powietrza w otworze, zawieszona jest nie tylko na „poduszce” powietrza w obudowie, ale również na własnych zawieszaniach (resorach), wprowadzających do układu rezonansowego dodatkową podatność. W tej sytuacji częstotliwość rezonansowa układu rezonansowego obudowy z membraną bierną (analogiczna do częstotliwości rezonansowej układu bas-refleks) pojawia się

po ustaleniu podatności wynikowej (pamiętajmy, że podatności dodają się jak pojemności). Znając podstawowe parametry membrany biernej - jej własną częstotliwość rezonansową (membrany swobodnie zawieszonej) i objętość ekwiwalentną – obliczenia nie są trudne, posługujemy się tym samym wzorem, który wyznacza częstotliwość rezonansową głośnika po wbudowaniu do obudowy o określonej objętości. Istnienie własnej częstotliwości rezonansowej membrany biernej (swobodnie zawieszonej) ma jednak i inne skutki, ale o tym później, a teraz najwyższa pora odpowiedzieć na pytanie: dlaczego w ogóle stosować obudowę z membraną bierną, skoro jest ona w działaniu zasadniczo podobna do obudowy z otworem? Przecież membrana bierna to koszt znacznie większy niż tunel otworu.

Jak już wspomnieliśmy, membrana bierna nie jest narażona w takim stopniu jak otwór na transmitowanie pasożytniczych rezonansów obudowy (fal stojących), a także swoich własnych rezonansów tunelowych - ponieważ w ogóle nie ma tunelu. Ale wydaje się, że podstawowym uzasadnieniem dla stosowania membrany biernej jest trudność, czy wręcz niemożność wykonania otworu z tunelem o parametrach odpowied-

nich do obliczonego sposobu dostrojenia. Przypomnijmy, że procedura projektowania obudowy bas-refleks w pierwszym etapie pozwala ustalić nam optymalną objętość i częstotliwość rezonansową, a w drugim prowadzi do wyznaczenia tunelu o odpowiedniej długości, przy powierzchni otworu adekwatnej do, mówiąc już z grubsza, wielkości głośnika. I jak wykazaliśmy w trakcie naszych ćwiczeń z bas-refleksem, często okazuje się, że potrzebny do prawidłowego dostrojenia tunel jest tak długi, że nie ma możliwości zainstalowania go w prosty sposób w obudowie. Rozwiązaniem może być zaginanie tunelu, ale przypomnijmy, że im tunel dłuższy (w stosunku do swojej średnicy), tym większe nasilenie rezonansów tunelowych. Można zmniejszać powierzchnię otworu, co pozwala zmniejszać długość tunelu przy zachowaniu ustalonej częstotliwości rezonansowej, ale to oczywiście rozwiązanie niedoskonałe, zbyt mała powierzchnia otworu wywołuje zbyt duże prędkości prze-



Fot. 83. Mission Elegante e83 (najwyższe na zdjęciu) – jeden z najnowszych i najlepszych zespołów głośnikowych firmy Mission. Spośród pięciu głośników 16 cm, widocznych na przedniej ścianie, naprawdę głośnikami są tylko dwa – bezpośrednio powyżej i poniżej głośnika wysokotonowego. Pozostałe trzy to membrany bierne.

plywu powietrza i nieliniową pracę układu rezonansowego. Można iść na kompromis w ustaleniu samej częstotliwości rezonansowej bas-refleksu – zgodzić się na nieco wyższą, niż optymalna, co pozwoli zastosować krótszy tunel... można wreszcie sposoby te połączyć, ustępując trochę tu i tam. Ale są sytuacje, w których takie ustępstwa nie wystarczą. Kiedy z obliczeń wynika, że potrzebny jest tunel o długości metra, to nawet nie ma co próbować... Chociaż, niektórzy próbują. Wykonanie tunelu tak długiego jest możliwe – widziałem nawet dłuższe, w postaci wydrążonego w cokole „ślimaka”, albo w postaci ścianki wzdłuż całej wysokości kolumny. Jest to jednak niebezpieczne dla głośników pracujących powyżej 100 Hz, a więc w zasadzie dla wszystkich, poza subniskotonowymi, ponieważ w tak długim tunelu powstają silne półfalowe rezonanse „organowe” (np. dla tunelu o długości 1 metra wystąpi on przy ok. 170 Hz, a dla tuneli jeszcze dłuższych – proporcjonalnie niżej). Membrana bierna radykalnie rozwiązuje problemy tunelu. Przypomnijmy, że tunel służy uzyskaniu w nim odpowiednio dużej masy drgającej (powietrza); membrana bierna może mieć w zasadzie dowolnie dużą masę w stosunku do naszych potrzeb.

Otwór powinien mieć jak największą powierzchnię, aby nie wywoływać zbyt dużych prędkości przepływu powietrza, jednak ostatecznie powierzchnia rzędu jednej czwartej powierzch-

ni samego głośnika jest zupełnie wystarczająca. Inaczej w przypadku membrany biernej. Zwróćmy uwagę, że nawet przy tak dużej powierzchni otworu, prędkość przepływu powietrza jest w nim ok. cztery razy większa, niż prędkość ruchu membrany, a więc i amplituda powietrza w otworze jest cztery razy większa. Membrana bierna, mechanicznie skonstruowana podobnie jak głośnik, gdzie maksymalną amplitudę ogranicza zawieszenie, nie ma takich możliwości. Dlatego membrana bierna nie może być mniejsza od głośnika, wręcz lepiej, aby była większa, ponieważ w zakresie, w którym pracuje, „zapotrzebowanie” na dużą amplitudę jest największe. I chociaż zwiększanie powierzchni zmniejsza podatność, co z kolei zmusza do zwiększania masy, to nadal nie jest to problemem w przypadku membrany biernej.

Kiedy już wiemy, jak i po co pracuje membrana bierna, ustalamy, jakie jest jej optymalne dostrojenie dla określonego głośnika. Na początku sposób postępowania jest analogiczny jak w przypadku bas-refleksu – przecież membrana bierna pojawia się jako rozwiązanie problemu utworzenia odpowiednio długiego tunelu dla już obliczonej obudowy, o ustalonej objętości i częstotliwości rezonansowej. W uproszczonej metodzie można przyjąć, że tych parametrów nie musimy już zmieniać, tylko obliczyć, jaka membrana w określonej objętości dostroi się do wymaganej częstotliwo-

ści rezonansowej – według analogicznego wzoru, jak głośnik w obudowie zamkniętej.

Częstotliwość rezonansowa membrany biernej w obudowie f_{cp} [Hz] wyrażona jest wzorem:

$$f_{cp} = f_p \cdot \sqrt{\frac{V_{ap}}{V_{ab}}} + 1$$

gdzie:

f_p – częstotliwość rezonansowa membrany biernej niezabudowanej [Hz],

V_{ap} – objętość ekwiwalentna membrany biernej [m³],

V_{ab} – objętość obudowy niewytłumionej [m³].

Oczywiście, naszym zadaniem jest ustalić $f_{cp} = f_b$, czyli przy obliczonej wcześniej optymalnej częstotliwości rezonansowej układu bas-refleksa. Przy częstotliwości f_{cp} (f_b) membrana będzie silnie promieniować, a głośnik „milczeć” – analogicznie, jak w obudowie z otworem.

Dostrojenie membrany biernej zgodnie ze wskazaniem modeli dotyczących obudowy z otworem jest metodą dającą dobre wyniki, ale nieco uproszczoną. Z powodów przedstawionych w następnym akapicie, charakterystyki uzyskiwane z pomocą membrany biernej jednak nieco różnią się od charakterystyk obudowy z otworem – nawet przy takich samych parametrach głośnika, wielkości obudowy i częstotliwości rezonansowej układu. Dlatego teoretycznie optymalny sposób strojenia jest nieco inny, wymaga przeliczenia wszystkich parametrów układu według współczynników przedstawionych w poniższej tabelce. Model ten zakłada, że membrana bierna będzie miała taką samą wartość V_{ap} , jak wartość V_{as} głośnika, a więc najprawdopodobniej będzie miała taką samą powierzchnię i podatność zawiesznień, a więc będzie zbudowana z elementów macierzystego głośnika. Jej częstotliwość rezonansową będzie można regulować poprzez zmianę masy drgającej, a więc poprzez dodawanie do membrany obciążeń. Dlatego też ten model strojenia zakłada, że współczynniki α i δ są sobie równe.

$$\alpha = V_{as} / V_{ab}$$

$$\delta = V_{ap} / V_{ab}$$

Więc:

$$V_{ab} = V_{as} / \alpha = V_{ap} / \delta$$

$$H = f_p / f_s$$

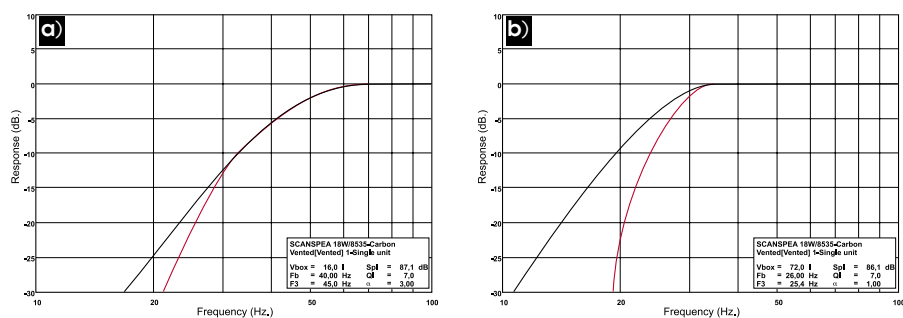
$$\text{więc } f_b = H \cdot f_s$$

gdzie:

f_s – częstotliwość rezonansowa

Tab. 3. Parametry strojenia obudowy z membraną bierną

Q_{ts}	H	$\alpha = \delta$	f_p / f_s	V_{ap} / V_{as}
0,2000	2,10	8,21	2,65	1,81
0,2100	2,02	7,26	2,51	1,84
0,2200	1,94	6,38	2,36	1,88
0,2300	1,88	5,76	2,26	1,92
0,2400	1,82	5,20	2,16	1,98
0,2500	1,77	4,76	2,06	2,02
0,2600	1,73	4,33	1,98	2,07
0,2700	1,68	4,01	1,90	2,10
0,2800	1,64	3,65	1,82	2,15
0,2900	1,59	3,34	1,74	2,20
0,3000	1,56	3,08	1,67	2,24
0,3100	1,51	2,78	1,59	2,35
0,3200	1,48	2,58	1,53	2,44
0,3300	1,45	2,38	1,49	2,53
0,3400	1,42	2,20	1,44	2,61
0,3500	1,39	2,06	1,38	2,67
0,3600	1,35	1,91	1,33	2,76
0,3700	1,33	1,80	1,30	2,84
0,3800	1,30	1,66	1,27	2,94
0,3900	1,26	1,53	1,23	3,09
0,4000	1,23	1,41	1,19	3,11



Rys. 84. Przykładowe charakterystyki dla układu z otworem i z membraną bierną a) przy wartości $\delta = 3$, b) przy wartości $\delta = 1$

głośnika niezabudowanego,

V_{as} – objętość ekwiwalentna głośnika [m^3].

W porównaniu do współczynników modelu QB3 dla obudowy z otworem, współczynniki w przedstawionej tabeli wskazują na zastosowanie nieco mniejszej objętości obudowy, i dostrojenie jej do nieco wyższej częstotliwości rezonansowej. Dla niskich wartości Q_{ts} różnice są minimalne, zwiększają się do kilkunastu procent przy większych Q_{ts} . Jest w tej tabeli jeszcze stosunek V_{pr}/V_d , czyli stosunek wychylenia objętościowego membrany biernej do wychylenia objętościowego samego głośnika. Podtrzymując założenie, że membrana bierna i głośnik mają taką samą powierzchnię, widzimy, że membrana bierna powinna mieć zdolność do pracy ze znacznie większymi amplitudami. Nie jest to niemożliwe – w przypadku głośnika uwzględniamy raczej amplitudę maksymalną „elektryczną” - liniową (w jej granicach szczelina pozostaje całkowicie wypełniona uzwojeniami cewki, co zapewnia możliwie najbliższą liniowej pracę układu), w przypadku membrany biernej możemy uwzględniać amplitudę maksymalną „mechaniczną”, która jest często dwa razy większa od liniowej. Kiedy jednak stosunek V_{pr}/V_d staje się większy od dwóch, powinniśmy poważnie zastanowić się nad użyciem dwóch membran biernych, albo jednej większej. Ale wówczas δ przestaje być równa α , ponieważ zespół dwóch membran biernych będzie miał razem inną objętość ekwiwalentną.

Jednak stosowanie membrany biernej wraz z głośnikami o dobroci wyższej od 0,4 jest jeszcze mniej polecane, niż stosowanie obudowy z otworem. Dlaczego?

Różnicę tę wprowadza właśnie fakt, że membrana ma swoją własną częstotliwość rezonansową f_p , o której „nie zapomina”, mimo że po za-

instalowaniu w obudowie pojawia się wyższa częstotliwość rezonansowa f_{cp} .

Otóż przy częstotliwości rezonansowej f_p (która leży zawsze poniżej f_{cp}) faza pracy membrany biernej jest dokładnie przeciwna fazie pracy głośnika. Wywołuje to na charakterystyce przetwarzania głęboką zapadłość. Efekt ten ma miejsce w tym zakresie, w którym charakterystyka przetwarzania i tak już opadała (poniżej f_b), więc ostatecznie powoduje zwiększenie stromości spadku. W stosunku do charakterystyki uzyskiwanej z podobnie dostrojonej obudowy z otworem, następuje lekkie przesunięcie częstotliwości granicznych (wyznaczanych przez spadek 3- lub 6-decybelowy) w górę pasma, ale nie to jest największym problemem. Z większą stromością spadku charakterystyki wiąże się gorsze charakterystyki impulsowe. Zwróćmy więc uwagę, że stromość tego spadku jest w wielkiej mierze określona przez wzajemne położenie częstotliwości f_{cp} i f_p . A położenie tych częstotliwości określa przedstawiony już współczynnik δ (analogiczny do współczynnika α przy obliczaniu położenia częstotliwości f_s i f_c dla głośnika w obudowie zamkniętej).

Im większa wartość δ , tym większa różnica między f_{cp} a f_p – czyli tym lepiej dla charakterystyk. A wartość δ jest wysoka dla strojenia systemu z głośnikami o niskim współczynniku Q_{ts} i szybko maleje wraz ze wzrostem Q_{ts} .

Dysponując membraną bierną o określonych parametrach (a więc i f_p), i głośnikiem, dla którego też ustaliliśmy optymalne dostrojenie (a więc i $f_b=f_{cp}$), nie mamy pola manewru – wartość δ staje się też jednoznacznie określona. Gdybyśmy mogli wybierać między różnymi membranami biernymi, powinniśmy wybierać taką, która ma jak najniższą własną częstotliwość rezonansową f_p , ale dzięki wysokiej wartości V_{ap} (względem V_{ab})

pozwole na ustalenie znacznie wyższej, optymalnej wartości f_{cp} ($=f_b$). W praktyce membrany bierne często są wytwarzane z tych samych elementów, co „macierzysty” głośnik. Mają więc takie same zawieszenia, a więc podobną podatność. Gdyby i masa membrany pozostała taka sama, to częstotliwość rezonansowa f_p byłaby równa częstotliwości rezonansowej głośnika swobodnie zawieszono f_s , a częstotliwość f_{cp} ustalałaby się wyżej. Owszem, strojenie bas-refleksu do częstotliwości wyższej od f_s jest prawidłowe dla wielu modeli (generalnie, dla głośników o dobroci Q_{ts} niższej od 0,4), ale nie w takim stopniu – tutaj f_p „zawędrowałoby” aż do wartości f_c - częstotliwości rezonansowej głośnika w obudowie zamkniętej. To zdecydowanie za wysoko, dlatego obniża się częstotliwość rezonansową membrany biernej swobodnie zawieszonoj poprzez zwiększanie jej masy, za pomocą np. aluminiowych pierścieni mocowanych od tyłu, w miejscu nieistniejącej cewki.

Ale fakty te mają przede wszystkim ogólne znaczenie przy podejmowaniu decyzji, czy stosować obudowę z otworem, czy z membraną bierną. Jeżeli częstotliwości f_b i f_p będą rozdzielone na odległość co najmniej półtorej oktawy (czyli ich stosunek będzie większy od 2,8), to możemy być spokojni o charakterystykę impulsową; jeżeli odstęp ten będzie wynosił około jednej oktawy (stosunek 2), to wynik będzie akceptowalny. Rozsunięcie jeszcze mniejsze od jednej oktawy będzie poważnie obciążało odpowiedź impulsową, niezależnie od parametrów samego głośnika i podstawowych parametrów strojenia - nie będzie już analogii między charakterystykami uzyskiwanymi z podobnie dostrojonej obudowy z otworem; własna częstotliwość rezonansowa membrany biernej f_p za bardzo zbliży się do przetwarzanego zakresu.

Na rys. 84 pokazano charakterystyki dla układu w obudowie z otworem i z membraną bierną według parametrów: $\delta=\alpha=3$, $h=1,42$, $Q_{ts}=0,29$, $f_s=28$ Hz, $f_b(=f_{cp})=40$ Hz, $f_p=20$ Hz, $V_{as}=V_{ab}=48$ dm³, $V_b=16$ dm³. δ równa trzy oznacza więc rozsunięcie częstotliwości f_p i f_{cp} o jedną oktawę. Na rys. 84b pokazano charakterystyki dla układu w obudowie z otworem i z membraną bierną według parametrów: $\delta=\alpha=1$, $h=1$, $Q_{ts}=0,41$, $f_s=26$ Hz, $f_b(=f_{cp})=26$ Hz, $f_p=18$ Hz, $V_{as}=V_{ab}=72$ dm³, $V_b=72$ dm³. δ równa

jeden oznacza więc rozsuniecie częstotliwości f_p i f_{cp} o pół oktawy. W tym drugim przypadku widać bardzo duże nachylenie charakterystyki systemu z membraną bierną, co nie wróży dobrze charakterystyk impulsowym, chociaż ze względu na niskie częstotliwości rezonansowe, charakterystyka przetwarzania sięga niżej.

Ale małe współczynniki δ odnoszą się do relatywnie dużych objętości, a w dużych objętościach kłopot z dostrojeniem układu bas-refleks za pomocą tunelu, a nie membrany biernej, jest mniejszy. Natomiast wtedy, gdy mamy z tym problem, bo objętość jest niewielka, wiąże się to dużymi wartościami δ i odsunięciem f_p od f_b . Okazuje się więc ostatecznie, że najczęściej tam, gdzie membrana bierna jest niezbędna dla prawidłowego dostrojenia układu bas-refleks, problemy jakie ewentualnie może spowodować (w związku z charakterystykami impulsowymi) zostają zminimalizowane, natomiast tam, gdzie nie jest konieczna, tam jej zastosowanie może rodzić w tej dziedzinie problemy. Wniosek prosty – tam gdzie nie trzeba, membrany biernej nie stosować, a tam

gdzie trzeba, stosować bez obaw. Dodatkowe korzyści z jej stosowania (zatrzymanie fal stojących obudowy, nieobciążenie własnymi rezonansami tunelowymi, usunięcie wszelkich szumów, turbulencji i nieliniowości wynikających z pracy klasycznego otworu) lepiej traktować jako premię, a nie jako podstawowe argumenty „za”. Tyle teoria. W praktyce jednak znane są (choć nieliczne) konstrukcje z membraną bierną, które nie stosują się do tak przedstawionych zaleceń, czyli operują nimi w bardzo dużych objętościach, przy odstępach f_p od f_b znacznie mniejszym niż jedna oktawa. W technice audio jest bowiem jeszcze miejsce na subiektywne wrażenia odsłuchowe, a te niektórych prowadzą do wniosku, że konstrukcje z membraną bierną mają swój niepowtarzalny i ciekawy charakter brzmienia. I chociaż można narzekać, że membrana bierna jest znacznie droższa od tunelu, to przecież jest średnio dwa razy tańsza od „prawdziwego” głośnika – na zewnątrz wygląda tak samo. Niektórzy i to biorą pod uwagę...

Takie problemy, jak położenie membrany biernej, możliwość uży-

cia kilku mniejszych zamiast jednej dużej, wytlumienia, rozwiązujemy analogicznie jak w przypadku obudowy z otworem. Membrana bierna jest większa, więc znalezienie dla niej miejsca jest trudniejsze, ale zarazem, ze względu na nieobciążenie jej pracy rezonansami pasożytniczymi i szumami turbulencyjnymi, można bezpiecznie umieszczać ją na przedniej ścianie. Promieniująca do tyłu, nie jest groźniejsza, niż umieszczony tam otwór. Jeżeli wygląda tak samo, jak głośnik, to ładnie się prezentuje w jego bezpośrednim sąsiedztwie. W konstrukcji subwoofera można ją umieścić na bocznej ścianie, a na drugiej bocznej sam głośnik, pozostawiają front wolny, a z tyłu instalując wzmacniacz. Konstrukcje z membraną bierną to temat wdzięczny, ale wymagający znajomości jej tajemnic. Wówczas przestaje być niebezpieczny, za jaki uważają go niektórzy hobbisci, zrażeni niedoskonałymi realizacjami. Ci, którzy opanowali ten temat, stosują membrany bierne z wielkim upodobaniem.

Andrzej Kisiel

WG Electronics
 WG Electronics sp. z o.o.
 ul. Modzelewskiego 35
 02-679 Warszawa
 tel.+48 (22) 847 97 20
 fax +48 (22) 647 06 42
 www.wg.com.pl

PODZESPOŁY PROGRAMATORY BOUNDARY SCAN WYŚWIETLACZE LCD OPROGRAMOWANIE dla μC MODUŁY z μC

AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR

MAXIM, DALLAS SEMICONDUCTOR, Lattice, KEIL SOFTWARE, PHYTEC, KENT, ELNEC, cyan technology, JTAG, LAN

poltronic
 PODZESPOŁY ELEKTRONICZNY
 importer podzespołów elektronicznych

tel. 071 783 50 50
 tel. 071 329 84 40

W MIESIĄCU MARGU POLECAMY HITY:

Tranzystory **Układy scalone**

2SA1013 TO-92	SMR40200C KIT
2SC2335 TO-220	STK402-0905
2SD1555 SOT-93	STK407-090E
BC337 TO-92	STK7348
BC557B TO-92	STR50115 B SQL115
BC640 TO-92	STV2248C SDIP56
BD139 TO-126	TDA1170N QIP12+B
BD140 TO-126	TDA1175 QIP12+B
BD911 TO-220	TDA1558Q QILP17
BD912 TO-220	TDA2003 5PIN
BUT11A TO-220	TDA4605-2 DIP8
BUT11AF TO-220 ISOL	TDA6101 SQL9
BUT11AX SOT-186	TDA8145 DIP8
BUT12AF SOT-186	TDA8170 7PIN
BUT56A TO-220	TDA8177F 7PIN
BUZ90A TO-220	TDA8305A DIP28
BUZ90AF TO-220 ISOL	TDA8350 QILP13
BUZ91 TO-220	TDA8351 SILP9
IRF640 TO-220	TEA2029C DIP28
S2000A3 SOT-93	UC3842 DIP8
S2000AF TO-218 ISOL	
S2055AF SOT-93	

NAJLEPSZA OFERTA NA RYNKU DLA KLIENTÓW DETALICZNYCH I HURTOWYCH ATRAKCYJNE RABATY DLA SERWISÓW RTV - GWARANTUJEMY NAJNIŻSZE CENY! Zapytania prosimy kierować na: biuro@poltronic.com.pl

www.polprzewodniki.pl