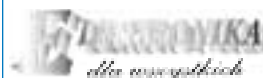


# Magazyn Elektroniki Użytkowej

dodatek  
do  
miesięcznika



P o z n a ć i z r o z u m i e ć s p r z ę t

Misją **Magazynu Elektroniki Użytkowej (MEU)** jest zagwarantowanie Czytelnikom EdW minimum wiedzy o elektronicznym sprzęcie używanym przez współczesnego człowieka w życiu codziennym.

Są zagadnienia, których elektronikowi po prostu nie wypada nie znać. Właśnie rolą **MEU** jest dostarczyć Ci minimum wiedzy o tematach i terminologii będącej w powszechnym użyciu. Musisz się w tych sprawach orientować, chociażby po to, żeby zachować autorytet guru elektronicznego w kręgu najbliższych Ci osób. Traktujemy też **MEU** jako wstępną lekturę, która ułatwi Ci rozumienie artykułów w pismach specjalistycznych, takich jak **AUDIO, ŚWIAT RADIO, ESTRADA I STUDIO**, itp.

Konstrukcja **MEU** jest bardzo prosta - opiera się na czterech watach:

\* **Aktualności** - wiadomo, że służą "trzymaniu ręki na pulsie", żeby zawsze wiedzieć o wszystkich nowinkach;

\* **O tym się mówi** - rozjaśnia zagadnienia, o których w ostatnim czasie jest bardzo głośno;

\* **To warto wiedzieć** - wyjaśnia zagadnienia, których - szczerze mówiąc - elektronikowi nie wypada nie znać i nie rozumieć;

\* **Leksykon** - ma przygotować Czytelników EdW do lektury pism specjalistycznych.

W tym numerze przedstawiamy informacje o najnowszych wzmacniaczach audio oraz o systemie **RDS**.

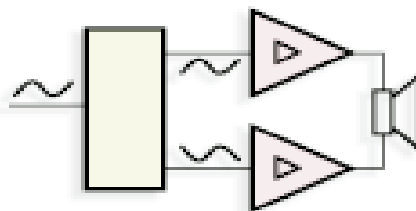
To warto wiedzieć

## Klasa T, czyli nowe i najnowsze wzmacniacze mocy

część 2

**W drugiej części artykułu omówione są wzmacniacze klas E, F, G, H, S, T oraz inne ciekawsze koncepcje.**

Przed omówieniem klas **G** i **H**, które pojawiły się w drugiej połowie lat siedemdziesiątych (1977), koniecznie trzeba wspomnieć o skrócie **BTL**. Nie jest to nazwa klasy wzmacniaczy, jak uważają niewtajemniczeni. **BTL** (**B**ridge **T**ied **L**oad) to po prostu układ mostkowy. Połączenie dwóch najwykleszych wzmacniaczy (np. klasy **AB**) i stopnia odwracającego fazę sygnału według **rysunku 11** pozwala uzyskać na obciążeniu moc czterokrotnie większą niż w przypadku pojedynczego wzmacniacza. Układy mostkowe są powszechnie stosowane we wzmacniaczach dużej mocy (powyżej 100W) oraz w urządzeniach samochodowych, zasilanych napięciem akumulatora, wynoszącym w czasie jazdy około 14,4V.



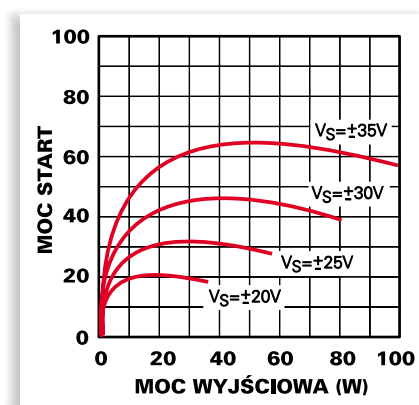
Rys. 11 Układ mostkowy

### Klasa G

Przez ostatnie trzydzieści lat moc wyjściowa wzmacniaczy stale rośnie. Producent-

ci wabią klientów coraz to większą mocą swych zestawów. Pomijając nieprzyzwoite chwyt reklamowe, polegające na podawaniu "wziętej z sufitu" niebotycznej mocy **PMPO**, trzeba rzetelnie stwierdzić, że wzmacniacze czołowych firm naprawdę mają zadziwiająco dużą moc wyjściową, rzędu kilkuset watów. Ze wzrostem mocy maksymalnej rośnie poważny problem mocy strat. Teoretyczna sprawność wzmacniacza klasy **AB** rzędu 65...75% dotyczy pełnego wystęrowania. Okazuje się jednak, że przy mniejszym wystęrowaniu moc strat jest większa(!) niż przy maksymalnym sygnale - pokazuje to **rysunek 12**.

Rys. 12 Zależność mocy strat od mocy wyjściowej

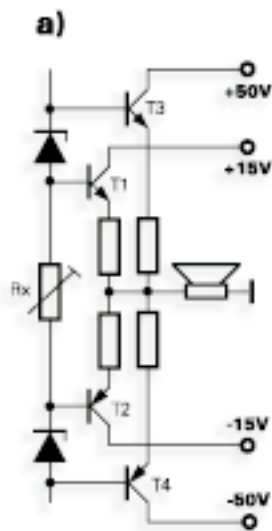


Rysunek 12 pokazuje również, iż moc strat bardzo silnie zależy od napięcia zasilającego – mniejsze napięcie zasilania to wprawdzie mniejsza maksymalna moc wyjściowa, ale i mniejsza moc strat. W rzeczywistych programach audio przez większość czasu poziom sygnałów jest nieduży, a jedynie co jakiś czas występują silniejsze fragmenty. Tym samym przez prawie cały czas wzmacniacz pracuje w niekorzystnych warunkach, z dużą mocą strat.

Przez większość czasu wystarczyłby wzmacniacz niewielkiej mocy (i małej mocy strat), a tylko w krótkich chwilach potrzebny byłby potężny wzmacniacz dysponujący pełną mocą. I tu zaczyna się historia klasy G.

Jak połączyć dwa wzmacniacze w jeden? Czy w ogóle potrzebne są dwa wzmacniacze? Może wystarczy jeden o zmiennym napięciu zasilania?

Sercem wzmacniacza klasy G jest klasyczny stopień wyjściowy pracujący w klasie AB. Dwa bardzo uproszczone (i nie do końca ściśle) przykłady realizacji wzmacniacza klasy G są pokazane na **rysunku 13**. Pierwszy zawiera dwa stopnie klasy AB, zasilane napięciami o różnej wartości. Przy małych sygnałach pracuje tylko część zasilana niższym napięciem (T1, T2).



**Rys. 13 Wzmacniacze klasy G**

W drugim rozwiązaniu (rys. 13b) występuje tylko jeden stopień wyjściowy klasy AB (T1, T2). Przy niewielkich sygnałach zasilany jest on obniżonym napięciem przez diody D1, D2. Jedynie w chwilach, gdy jest to konieczne (silny sygnał wyjściowy), dodatkowe tranzystory T3, T4 zwiększają napięcie zasilające, by w szczytach wysterowania uzyskać na obciążeniu potrzebną dużą moc.

Jak wskazuje rysunek 12, wzmacniacze klasy G umożliwiają znaczącą redukcję średniej mocy strat. I to jest ich istotna, ale jedyna zaleta – zniekształcenia nie są wcale

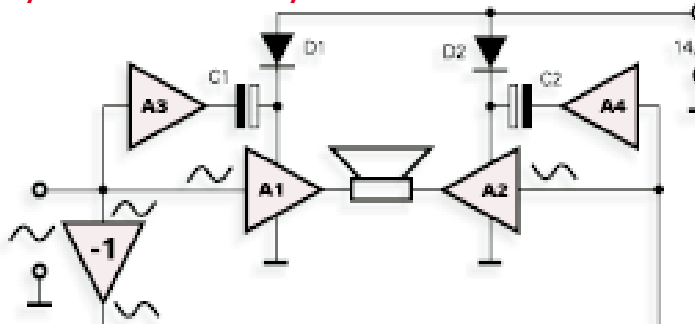
mniejsze od zniekształceń analogicznych wzmacniaczy klasy AB.

## Klasa H

Jak wiadomo ( $P = (U_{sk})^2 / R$ ), samochodowy wzmacniacz mostkowy BTL przy napięciu zasilania 14,4V umożliwia uzyskanie mocy 12W na obciążeniu 8Ω i 25W na 4Ω. Ponieważ w wielu wypadkach to nie wystarcza, stosowane są różne sposoby uzyskania większej mocy. Najprostsze jest zmniejszenie oporności obciążenia do 2Ω co umożliwia uzyskanie ponad 40W mocy, jednak głośniki o oporności 2Ω nie są popularne. Innym sposobem jest zastosowanie przetwornicy, dającej napięcie np. ±25V i klasycznego wzmacniacza. Jeszcze innym sposobem jest zastosowanie wzmacniacza klasy H, którego uproszczony schemat blokowy pokazany jest na **rysunku 14**. Wzmacniacz klasy H jest modyfikacją, a raczej rozwinięciem koncepcji wzmacniacza klasy G. Podstawą jest tu układ mostkowy (wzmacniacze A1, A2). Normalnie jest on zasilany napięciem akumulatora przez diody D1, D2 i pracuje jak najwykleszy wzmacniacz klasy AB. Przy silniejszych sygnałach napięcie zasilające jednego ze wzmacniaczy jest chwilowo zwiększane za pomocą pomp ładunku zawierających dodatkowe wzmacniacze A3, A4 i kondensatory C1, C2. Można powiedzieć, że pracujący wzmacniacz klasy H sam wytwarza w szczytach wysterowania wyższe napięcie, które umożliwia uzyskanie znacznie większej mocy wyjściowej. Warto zauważyć, że napięcie zasilające zwiększane jest w takt sygnału tylko w tym kanale i tylko wtedy, gdy jest to konieczne.

Oprócz zwiększenia mocy wyjściowej, praca przy zmieniającym się dynamicznie napięciu zasilania niejako przy okazji daje poprawę sprawności energetycznej, co umożliwia zastosowanie

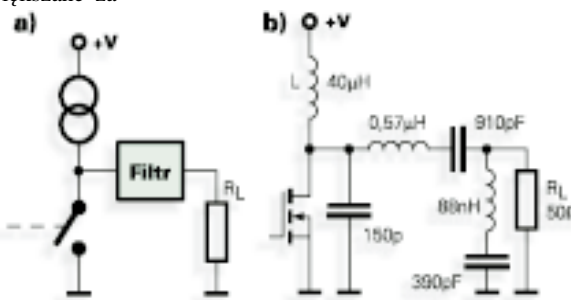
**Rys. 14 Wzmacniacz klasy H**



mniejszego radiatora. Przykładem realizacji może być układ scalony Philipsa TDA1562Q, umożliwiający uzyskanie mocy 70W na obciążeniu 4Ω przy napięciu akumulatora 14,4V (100W w szczycie przy zasilaniu 17V) – rysunek 14 pokazuje uproszczony schemat tego wzmacniacza.

## Klasy E, F, S

Oprócz klas A, AB, B, C, D istnieje wiele innych. Nie wszystkie mają związek ze wzmacniaczami audio. Jak wspomniano, wzmacniacze klasy C stosowane są przede wszystkim w technice w.cz. Również tylko w technice w.cz. i to rzadko, spotyka się wzmacniacze klas E oraz F.



**Rys. 15 Wzmacniacz klasy E**

**Rysunek 15** pokazuje zasadę działania i przykład realizacji wzmacniacza klasy E. Element czynny pracuje tu jako klucz – w jednym z dwóch stanów: otwarty, zamknięty. Filtr wyjściowy usuwa wyższe harmoniczne i pozwala uzyskać na wyjściu sygnał sinusoidalny.

Nieoficjalna **klasa F** obejmuje wzmacniacze podobne jak w klasie E, ale z obwodami rezonansowymi strojonymi nie na jedną częstotliwość (podstawową), tylko na dwie lub więcej (np. podstawową i trzecią harmoniczną).

W literaturze spotyka się też zmiany o **klasy S**. Wykorzystuje się tam zasadę modulacji współczynnika wypełnienia impulsów i amplitudy. Klasa S została po raz pierwszy

opisana w roku 1932(!). Można śmiało powiedzieć, że dawna klasa S to obecna klasa D.

Trochę inaczej jest z najnowszą klasą T.

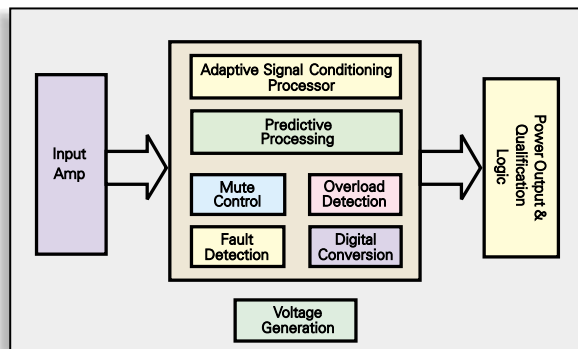
### Klasa T

Obecnie w całej prasie elektronicznej głośno jest o wzmacniaczach klasy T. W roku 1998 amerykańska firma Tripath zaprezentowała pierwszy opracowany przez siebie wzmacniacz klasy T. Dziś ma w swej ofercie wzmacniacze o mocach do 1000W.

Ze względów komercyjnych firma Tripath nie wyjawiała wszystkich szczegółów dotyczących swoich wzmacniaczy. Wiadomo tylko, że są to wzmacniacze impulsowe, podobne budową do wzmacniaczy klasy D. Stopień wyjściowy, zawierający tranzystory MOSFET, jest również sterowany przebiegiem prostokątnym. W odróżnieniu od wzmacniaczy klasy D, częstotliwość impulsów nie jest stała - zmienia się w granicach 50kHz...1,5MHz, wynosząc średnio 600...700kHz.

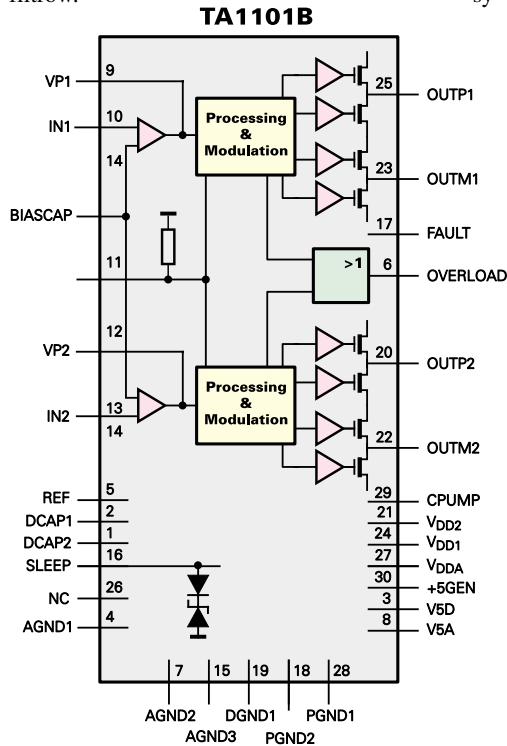
Nieporównanie bardziej skomplikowane są też stopnie sterujące. Częstotliwość i wypełnienie impulsów wyjściowych są wyznaczone przez skomplikowany proces cyfrowej obróbki z wykorzystaniem zaawansowanej teorii sygnałów, stosowanej wcześniej w telekomunikacji. **Rysunki 16 i 17** pokazują wewnętrzne schematy blokowe wzmacniacza klasy T. Wzmacniacz klasy T jest więc w istocie procesorem sygnałowym, sterującym wyjściowymi tranzystorami MOSFET w sposób wyznaczony przez sygnał wejściowy i sygnał sprzężenia zwrotnego według skomplikowanego algorytmu. Podstawą jest tu opracowana przez Tripath tak zwana technologia DPP™ (Digital Power Processing), łącząca osiągnięcia cyfrowej obróbki sygnałów i techniki sterowników dużej mocy. Jedną z przyczyn występowania zniekształceń we wzmacniaczach klasy D jest niedoskonałość i rozrzut parametrów wyjściowych tranzystorów MOSFET. Sterownik wzmacniacza klasy T niejako "uczy się" parametrów współpracujących tranzystorów (opóźnienie, charakterystyka przełączania, różnice parametrów) i potem kompensuje ich

**Rys. 16 Schemat funkcjonalny wzmacniacza klasy T**

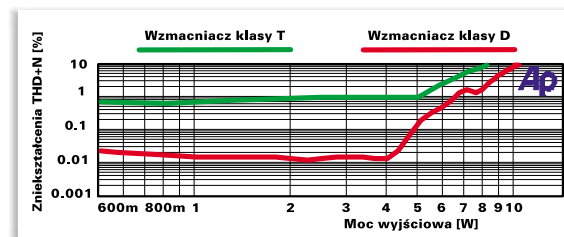


niedoskonałości, wytwarzając odpowiednie impulsy sterujące.

Efektom zastosowania we wzmacniaczu klasy T takiej zaawansowanej obróbki cyfrowej jest lepsza liniowość, mniejszy poziom szumów własnych, szerszy zakres dynamiki, bardziej płaska charakterystyka przenoszenia i opóźnienia grupowego, mniejsze zakłócenia elektromagnetyczne generowane przez układ oraz możliwość stosowania prostszych filtrów.



**Rys. 17 Schemat wewnętrzny układu scalonego wzmacniacza klasy T**



**Rys. 18 Zniekształcenia nieliniowe**

Przykładowo udaje się uzyskać współczynnik zniekształceń nieliniowych (THD+N) poniżej 0,08%, a współczynnik zniekształceń intermodulacyjnych (IMD) poniżej 0,04%, co stawia wzmacniacze klasy T na równi z bardzo dobrymi wzmacniaczami klas A i AB. **Rysunek 18** pokazuje zmie-

rzne współczynniki zniekształceń nieliniowych wzmacniaczy T i D o podobnej mocy. Dzięki pracy impulsowej, sprawność energetyczna jest niewiele gorsza od sprawności wzmacniaczy klasy D i wynosi 80...92%. Tym samym klasa T łączy zalety klas A, AB i D.

**Fotografia 19** pokazuje zadziwiająco mały wzmacniacz TA0104A klasy T o mocy 2x500W (1500W w połączeniu mostkowym). Niewykluczone, że właśnie wzmacniacze klasy T z czasem całkowicie zdominują rynek wzmacniaczy audio. Nic więc dziwnego, że firma Tripath reklamuje swoje opracowania, a jednocześnie zazdrośnie strzeże tajemnic technicznych. Producenci sprzętu audio, m.in. Alpine, Sony, Matsushita już wykorzystują te nowe wzmacniacze w swoim sprzęcie.

**Rys. 19 Wzmacniacz klasy T 2x500W**



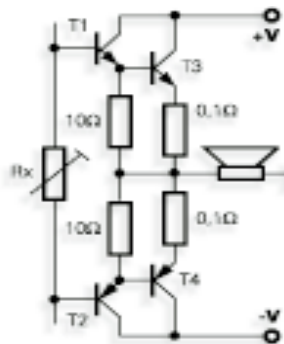
### Klasy mieszane

Oprócz wzmacniaczy "czystych klas", oznaczanych jedną pojedynczą literą, istnieje wiele wzmacniaczy, które można zakwalifikować do klas mieszanych.

Przykładowo **rysunek 20** pokazuje zasadę pracy wzmacniacza, zawierającego połączone równolegle stopnie klas AB oraz C. Przy małych sygnałach pracują (w klasie AB) tranzystory T1, T2, natomiast przy dużych, gdy napięcie na rezystorach R1, R2 sięga 0,6V, otwierają się normalnie zatkane tranzystory T3, T4.

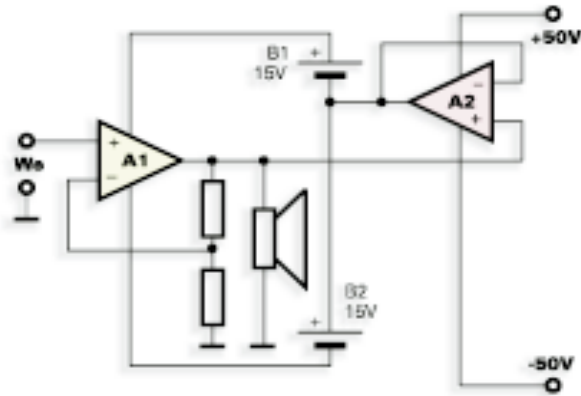
**Rysunek 21** przedstawia koncepcję wzmacniacza "super class A", stosowaną od 1978 roku przez firmę Technics. Główny wzmacniacz A1 pracuje tu w "czystej" klasie A. Aby radykalnie zmniejszyć moc strat, zastosowano bardzo ciekawy sposób - całkowite napięcie zasilające ten wzmacniacz nie jest stałe, tylko zmienia się w takt sygnału. Oprócz dwóch 15-woltowych źródeł B1, B2 (są to zasilacze) wykorzystuje się też napięcie ±50V. Drugi wzmacniacz A2, pracujący w klasie AB lub B, zmienia napięcia zasilające. Ponieważ jego zadaniem jest tylko zmiana napięć zasilania

w takt sygnału, takie parametry jak liniowość nie są istotne, więc z powodzeniem może to być wzmacniacz pracujący w klasie B.



Rys. 20 Wzmacniacz klasy AB+C

Rys. 21 Wzmacniacz klasy A ze zmiennym napięciem zasilania

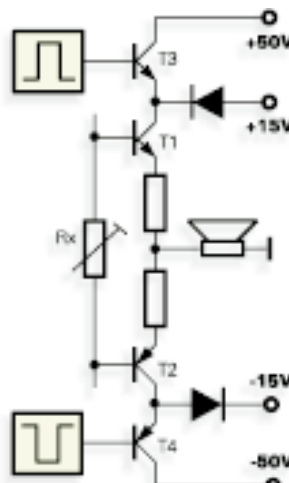


szczy wzmacniacz klasy D bądź specjalny zasilacz impulsowy o napięciu zależnym od wielkości sygnału.

Podobnie wzmacniacz klasy G z rysunku 13b może być zmodyfikowany wg rysunku 22. Wtedy "zewnętrzne" tranzystory T3, T4 nie są otwierane płynnie w takt sygnału, tylko pracują w sposób charakterystyczny dla klasy D: są albo w pełni otwarte, albo w pełni zatkane.

Podane informacje nie wyczerpują tematu klas i koncepcji układowych wzmacniaczy. Kilka interesujących przykładów i rozważania na temat klas mieszanych można znaleźć w artykule pt.: *Class distinction*, zamieszczonym w bry-

Rys. 22 Wzmacniacz AB+D



tyjskim czasopiśmie *Electronics World*. Kserokopię tego artykułu prenumeratorzy mogą otrzymać bezpłatnie, zamawiając ją jako **Prasa 035**.

### Podsumowanie

Obecnie ogromna większość dostępnych wzmacniaczy pracuje w klasie AB. Klasa A pozostaje domeną audiofilów, eksperymentatorów i snobów. Wzmacniacze klas G i H, po ponad dwudziestu latach od ich pojawienia się na rynku, nie są wcale historyczną ciekawostką. Niemniej przy obecnych tendencjach do miniaturyzacji oraz ze względu na oszczędność energii światła przyszłość otwiera się przed wzmacniaczami klasy D a tym bardziej T. Będą znajdować coraz szersze zastosowanie w sprzęcie elektronicznym, zwłaszcza miniaturowym i zasilanym bateryjnie. Co do tego nie ma wątpliwości. Trudniej natomiast przewidzieć, czy ulepszone wzmacniacze impulsowe wyprą wzmacniacze klasy AB ze sprzętu przeznaczonego dla bardziej wymagających i zamożniejszych słuchaczy. O sukcesie lub porażce "cyfrowych" wzmacniaczy w tym obszarze rynku mogą zdecydować powody bardzo dalekie od racjonalnych. Wiadomo, że już obecnie mało kto potrafi rozróżnić poszczególne wzmacniacze klas A i AB na podstawie ich brzmienia. Podobnie będzie ze wzmacniaczami impulsowymi. Można się więc spodziewać, że nieco gorsze brzmieniowo, ale modne wzmacniacze "cyfrowe" (D - jak digital) upowszechnią się także w droższym i najdroższym sprzęcie.

Piotr Górecki

## "Kiedy będą horoskopy??! Bo póki co, tak słodko, że mdli"

– Mirosław Kopera, Dębica

Poniżej przedstawiamy dalszą część cukru, i nie tylko, zaczerpniętą z minianki.

Z miesiąca na miesiąc czytam coraz to bardziej się ciesząc

– **Adrian Helwig**, Bogatynia

Wasza gazeta to moja dziewczyna

– **Andrzej Rybaczuk**, Zebrzydowice

Kupiłem, przeczytałem i... pałę (ndst) za aktywność na lekcji dostałem

– **Marcin Gołosz**

Wszędzie fajowo, ale u Was fajowiej

– **Kamil Bednarczyk**, Biała Podlaska

Na początku była Ziemia i EdW

– **Marcin Grzegorzek**, Rybnik-Grabarnia

Ponoć cukier krzepi, ale jak się człowiek EdW uczepli – to dopiero krzepi

– **Henryk Zakrzewski**, Barczewo

Elektronikowi początkującemu i zaawansowanemu pomoże zausze lektura pisma ulubionego

– **Jarek Czocher**, Lwówek Śląski

Gazet w kiosku jest bez liku, kup EdW elektroniku!!!

– **Janusz Mikołajczyk**, Dzierżbina

Nie lada gratka – wygrać sygnalizator suchego kwiatka

– **Zbigniew Meus**, Czernichów

Elektronikę dla Wszystkich kupuję i cuda z niej montuję

– **Krzysztof Szmidtka**, Rumia

Widzę, że uczyć nas chcecie, więc do czytania wpadnę w ogromnym impecie

– **Aleksander Pawlik**, Bielsko - Biała

Tylko w EdW znajdziecie, co nowego słycać w świecie

– **Janina Kunka**, Giżycko

Dobrze się czują ci, którzy EdW kupują

– **Szymon Janek**, Lublin

Zaczytałem się żywcem

– **Krzysztof Budnik**, Gdynia

Widmowa ustążka sprawiła, że EdW znika

– **Wiktor Zimoch**, Pabianice

Elektronika daje Wszystko (no prawie)

– **Marcin Mentel**, Porąbka

GANC GUT!!!

– **Adrian Helwig**, Bogatynia

Uwagi miałem, dla siebie zachowałem

– **Aleksander Drab**, Zdzieszowice

EdW – Elektronika dobry Wybór

– **Zbigniew Jakimiuk**, Janów Podlaski

Zróbcie Pipka Dręczyciela wersje: IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII...

– **Jakub Jagiełło**, Gorzów Wlkp.

Tak trzymać!!!-)-) – **Tomasz Jędras**, Lubin

EdW kupiłem i wiem, że błędu nie popełniłem

– **Klaudiusz Woźniak**, Wrocław

Degeneracji generacji zwanej elektroniką łączcie się!!!

– **Marcin Biernat**, Strachówka

EdW – Ekspresyjnie dla Wszystkich

– **Sławomir Olszewski** z Warszawy