



# Technika Nagłaśniania

---

wykład dla semestru pierwszego  
IDiO

2024/2025

1



## Okablowanie

---

- kable foniczne
- kable energetyczne
- kable oświetleniowe
- ethernet
- kable wizyjne
- zdalne sterowanie

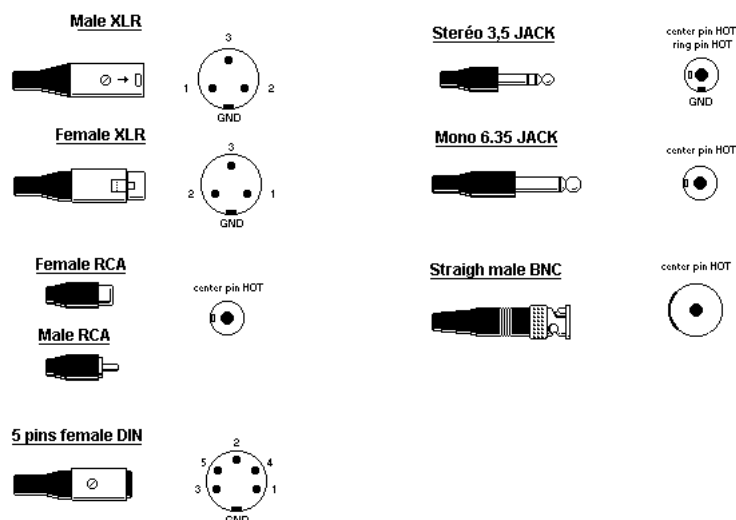
2

## Okablowanie

- rodzaje mediów
  - kable miedziane (typowe)
  - światłowód
    - wzrost maksymalnej przepływności w stosunku do tradycyjnych kabli
    - dużo większa odporność na zakłócenia zewnętrzne w postaci pól elektromagnetycznych itd.
    - możliwość prawie bezstratnej transmisji na większe odległości niż w przypadku tradycyjnych kabli
  - skrętka (Ethernet)
    - większość zalet światłowodu
    - tańsza
    - bardziej odporna mechanicznie
- standardy transmisji
  - transmisja analogowa
  - transmisja cyfrowa

3

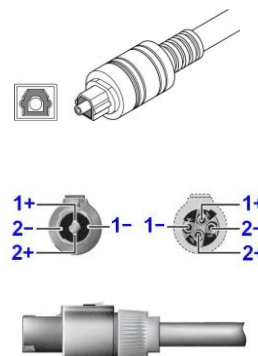
## Typy złącz



4

## Typy złącz

- Toslink – transmisja optyczna danych audio
  - odtwarzacze audio, ADAT
  - także wersja Mini-Toslink
- Speakon – podłączanie głośników do wzmacniaczy
- etherCON RJ45
  - np. Dante



5

## Typy złącz

- mini XLR
  - np. lustrzanki, mniejsze kamery, rejestratory dźwięku i obrazu
- mini BNC
  - j.w.



6

## Krosownice

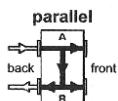
- urządzenia służące do krosowania sygnałów
  - najczęściej pasywne
  - wersje symetryczne/niesymetryczne
  - najczęściej wykorzystują złącza jack (TRS lub TS)



7

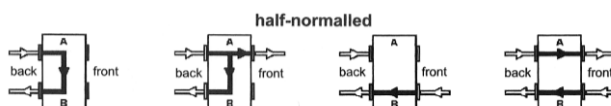
## Krosownice - typy

- parallel
  - każde wyjście jest połączone z wejściem, włożenie jack-a nie zmienia połączeń



- half-normalled

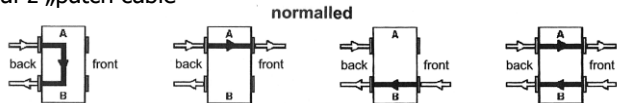
- gdy jack nie jest włożony, wyjście jest połączone z wejściem
- gdy jack jest włożony w górne gniazdo, połączenie jest zachowane i można sygnał wysłać dalej
- gdy jack jest włożony w dolne gniazdo, połączenie jest przerywane i źródłem staje się sygnał z „patch cable”



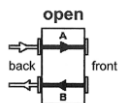
8

# Krosownice - typy

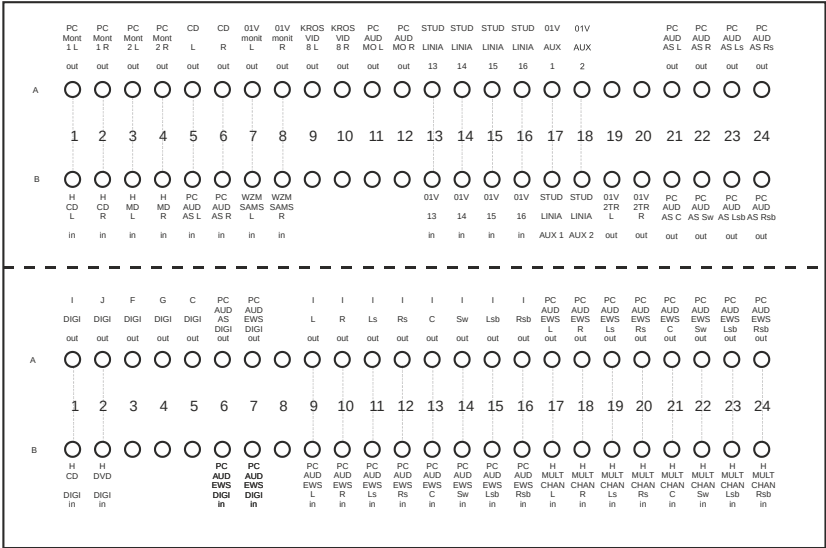
- normalled
  - gdy jack nie jest włożony, wyjście jest połączone z wejściem
  - gdy jack jest włożony w górne gniazdo, połączenie jest przerywane i można sygnał wysłać dalej
  - gdy jack jest włożony w dolne gniazdo, połączenie jest przerywane i źródłem staje się sygnał z „patch cable”



- open
  - gdy jack nie jest włożony, nie ma połączenia
  - konieczne jest włożenie jack-a, żeby odpowiednio przesłać sygnał



# Krosownice





## Decybele

- dBm
  - stosowany do określania mocy
  - poziom odniesienia = 1mW
  - zdefiniowany w 1940 roku
  - nie ma bezpośredniego związku z napięciem i impedancją
  - odpowiada napięciu  $0.775V_{rms}$  przy obciążeniu  $600\Omega$

11



## Decybele

- najczęściej operuje się jednak na napięciach, a nie mocach
- dBu
  - związany z napięciem
  - u -> *unload*
  - równy dBm dla impedancji  $600\Omega$
  - poziom odniesienia =  $0.775V_{rms}$
  - przykład: konsola o maksymalnym poziomie +20dBu przy impedancji min.  $10k\Omega$ 
    - przy mniejszej impedancji napięcie na wyjściu będzie niższe i pojawią się zniekształcenia. Można nawet spalić wyjście konsoli

12

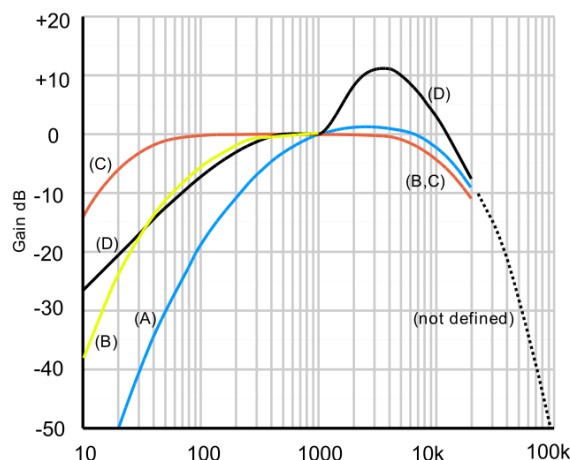
## Decybele

- dBV
  - poziom odniesienia =  $1V_{\text{rms}}$
  - wartość w dBV = wartość dBu – 2,21
- dBv
  - poziom odniesienia =  $0.775V_{\text{rms}}$
  - obecnie zastąpione przez dBu (aby nie mylić z dBV)
- dBW
  - poziom odniesienia = 1W

13

## Decybele "akustyczne"

- dB (A), dB (B), dB (C), dB (D)



źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/Weighting\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Weighting_filter)

14



# Decybele "akustyczne"

- dB SPL
  - SPL –poziom ciśnienia akustycznego
  - poziom odniesienia = próg słyszenia (0,000002N/m²)
  - różnica 3dB jest słabo odczuwalna (?)
  - różnica 10dB jest **odczuwalna** jako dwukrotna zmiana głośności (?)
- dB PWL
  - PWL –poziom mocy akustycznej

15



# Decybele "akustyczne"

| Change of Level | Loudness Perception  | Sound Pressure Effect | Sound Intensity Cause |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 |                      |                       |                       |
| Decibels        | Loudness Gain Factor | Voltage Gain Factor   | Power Gain Factor     |
| + 20 dB         | 4.000                | 10.000                | 100.000               |
| + 10 dB         | 2.000 •              | 3.160                 | 10.000                |
| + 6 dB          | 1.516                | 2.000 •               | 4.000                 |
| + 3 dB          | 1.232                | 1.414                 | 2.000 •               |
| ± 0 dB          | 1.000                | 1.000                 | 1.000                 |
| - 3 dB          | 0.812                | 0.707                 | 0.500 •               |
| - 6 dB          | 0.660                | 0.500 •               | 0.250                 |
| - 10 dB         | 0.500 •              | 0.316                 | 0.100                 |
| - 20 dB         | 0.250                | 0.100                 | 0.010                 |

<http://www.sengpielaudio.com/calculator-levelchange.htm>

17

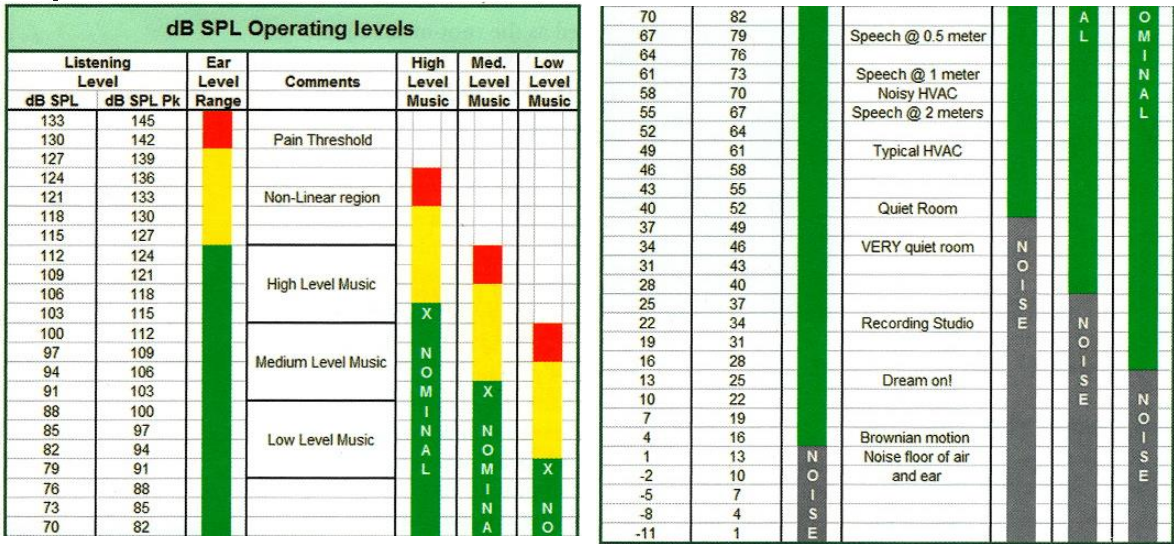


# Dynamika

- różnica między najgłośniejszym i najcichszym dźwiękiem
- w praktyce ograniczenie od dołu wynikające z szumu otoczenia
- charakteryzuje zarówno muzykę/dźwięki jak i urządzenia elektroniczne
- przykład: koncert rockowy
  - SPL przy mikrofonie zmieniać się może od 40dB SPL (pauzy itp.) do 130dB
    - dynamika = 130 – 40 = 90 dB
    - dynamika sprzętu:
      - 130dB SPL -> +24dBu (12,3V) -> 250W
      - 40dB SPL -> -66dBu (388μV) -> 250nW

18

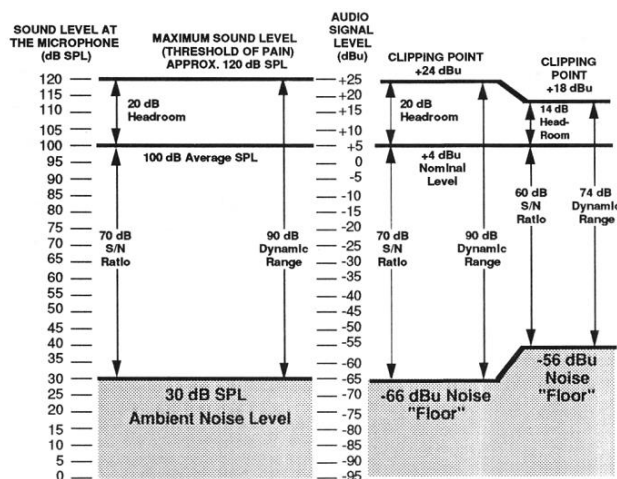
# Dynamika



19

## Headroom (zapas)

- określa zdolność danego systemu do przeniesienia chwilowych głośniejszych partii sygnału



20

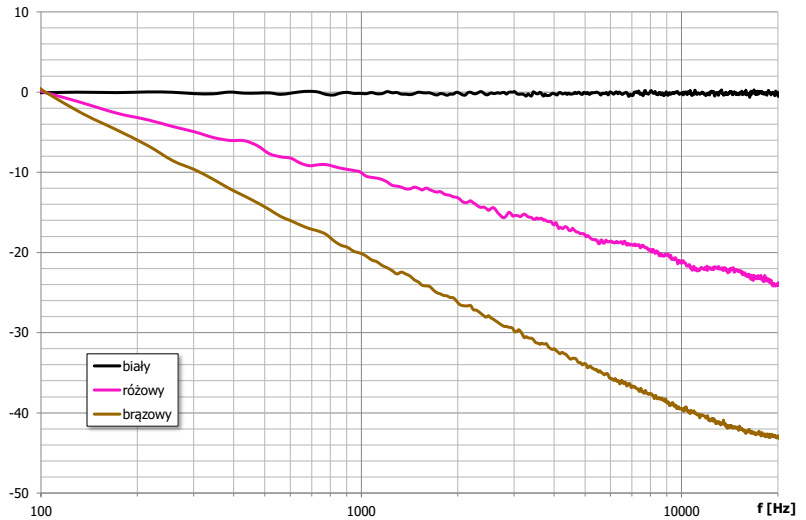
## Headroom -przykłady

- koncert rockowy
  - typowy poziom nominalny = 100dB SPL
  - headroom = 20dB
- system nagłośnieniowy w fabryce
  - wysoki poziom nominalny (110dB SPL)
  - mały headroom (6dB)
- koncert symfoniczny
  - "niski" poziom nominalny (90 dB SPL)
  - duży headroom (30 dB)

21

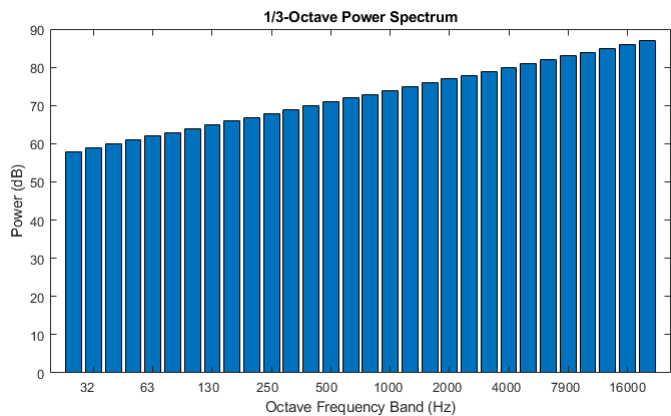
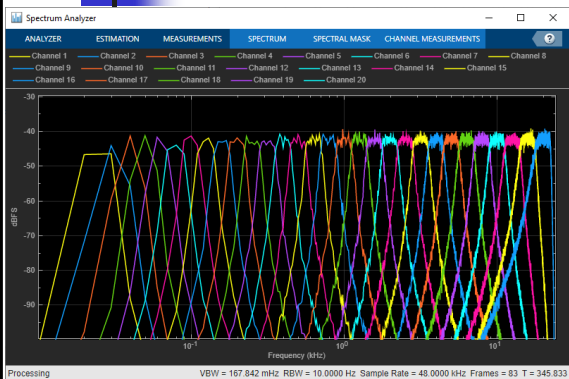
## Sygnały testowe

- szum biały
  - płaska ch-ka widmowa
  - równa energia na Hz szerokości pasma
  - energia rośnie o 3dB na oktawę
    - podbite zostają wyższe częstotliwości
- szum różowy
  - stała energia na oktawę
  - ch-ka widmowa opada o 3dB/oktawę
  - lepszy jako sygnał kalibracyjny i testowy
    - płaska charakterystyka częstotliwościowa na analizatorze
    - bardziej zbliżony do sygnału muzycznego
- szum brązowy (czerwony)
  - ch-ka widmowa opada o 6dB/oktawę



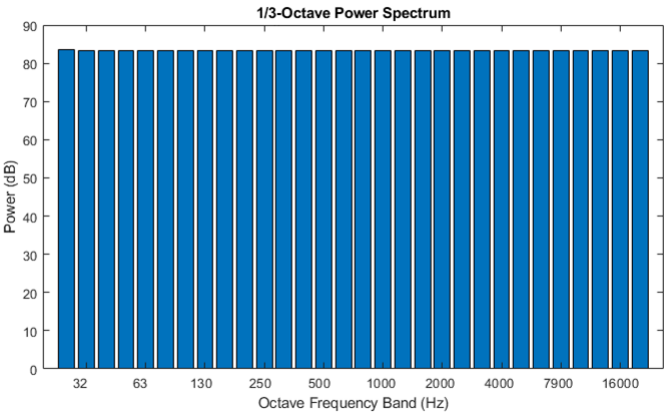
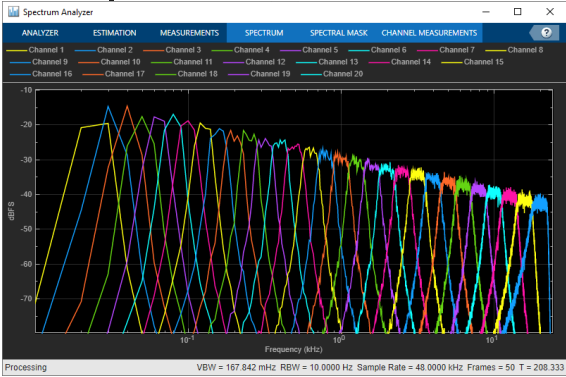
22

## Szum biały



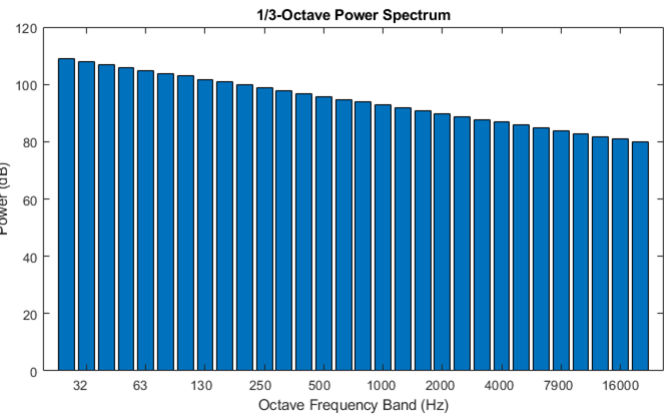
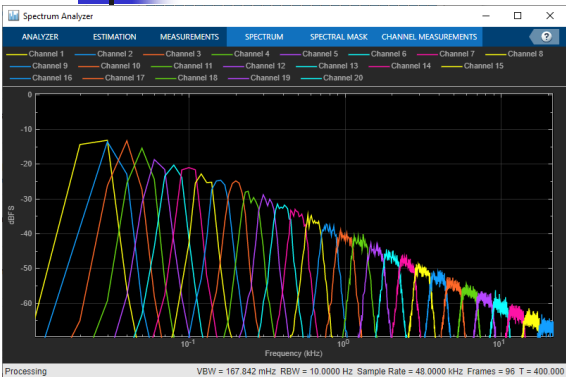
23

# Szum różowy



24

# Szum brązowy (czerwony)

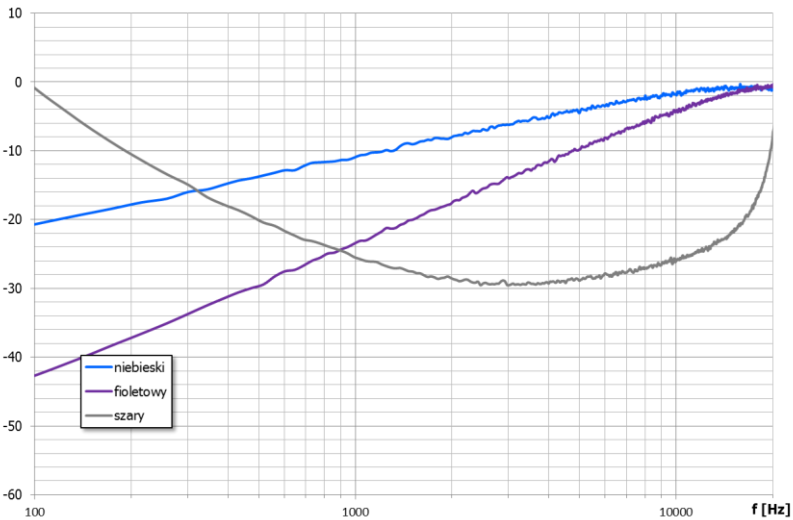


25



# Sygnały testowe

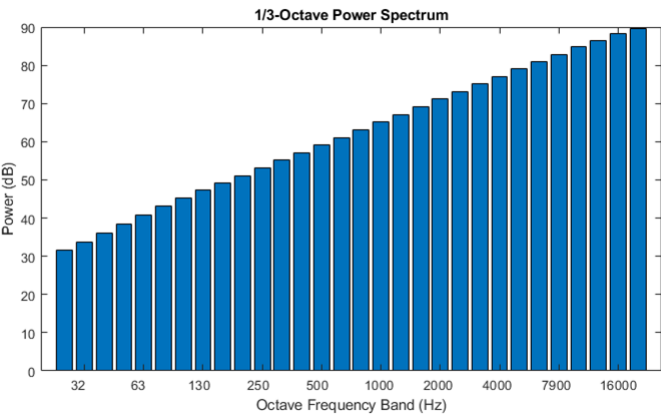
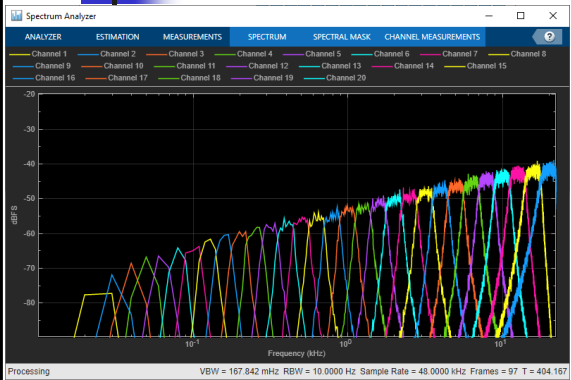
- szum niebieski
  - ch-ka widmowa narasta o 3dB/oktawę
  - wykorzystywany do dithera
- szum fioletowy
- szum szary



26

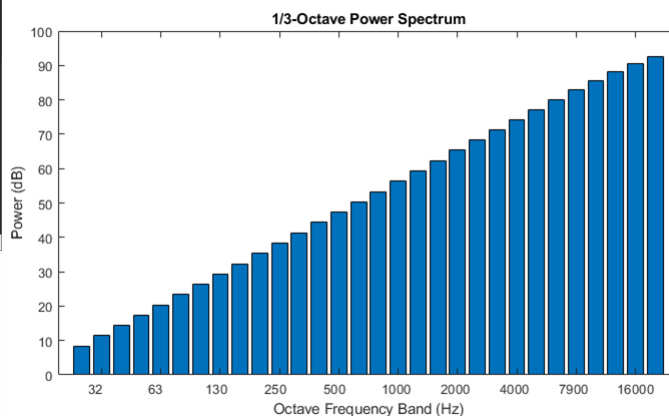
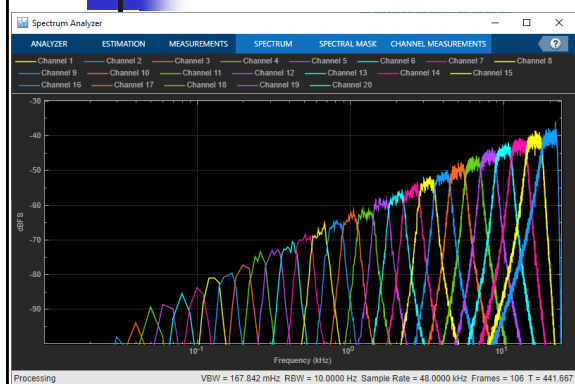


# Szum niebieski



27

## Szum fioletowy



28

## Pomiary dźwięku

- Możliwe podejścia:
  - obiektywne: zwraca się uwaga głównie na parametry sprzętu
  - subiektywne: najważniejsza jakość dźwięku

29

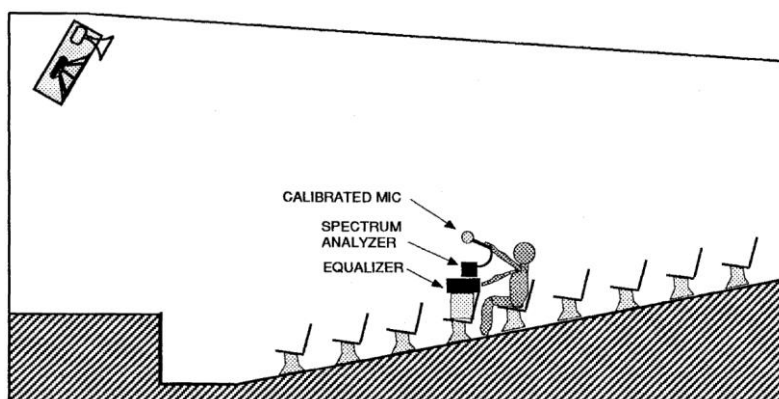
## Uszy kontra mikrofon

- mikrofon:
  - kalibrowany, o ściśle określonych charakterystykach
  - wszelkie niedoskonałości ch-ki korygowane w mierniku
- uszy
  - korzystamy z pary uszu
  - mierzymy amplitudę (nieliniowo) oraz fazę (jednocześnie)
  - "złote uszy"

30

## Pomiary

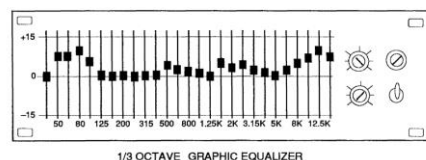
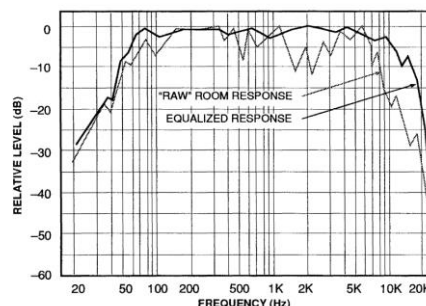
- ilustracja sposobu dokonania pomiarów systemu głośnikowego
  - inżynier dźwięku ustawia korektor na podstawie otrzymywanego widma



31

## Efekt końcowy (?)

- dźwięk brzmi nienaturalnie
  - nie ma stereo
  - transjenty brzmią różnie w obu kanałach
  - dla sygnału mono słychać wyraźną różnicę między kanałami
- przyczyny
  - analizator mierzy tylko amplitudę
  - korektor wpływa nie tylko na amplitudę, ale także na fazę i opóźnienia grupowe



32

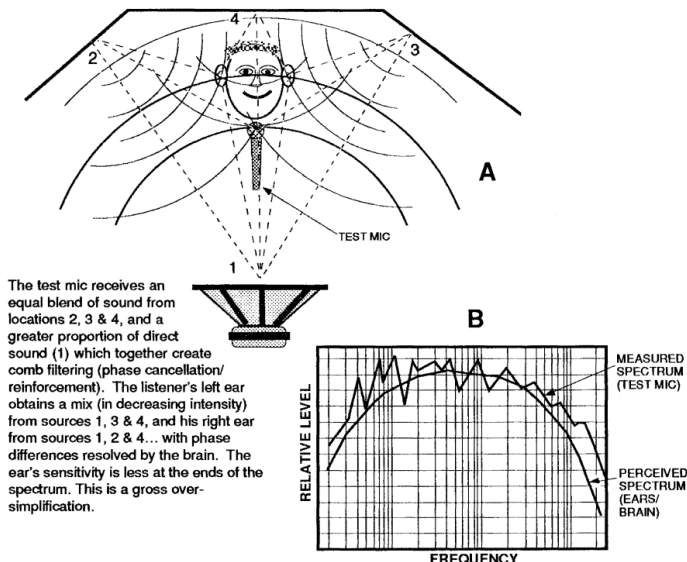
## Problemów c.d.

- mikrofon pomiarowy "słyszy" tylko w jednym punkcie
  - przesunięcie mikrofonu powoduje zmianę wyników -> nie ma sensu ustawiać korektora na podstawie jednego pomiaru
  - konieczne jest użycie większej liczby mikrofonów oraz dodatkowej obróbki
- każdy sprzęt (miernik) ma ograniczoną dynamikę
- uszy radzą sobie lepiej

33



## Przewaga uszu



34

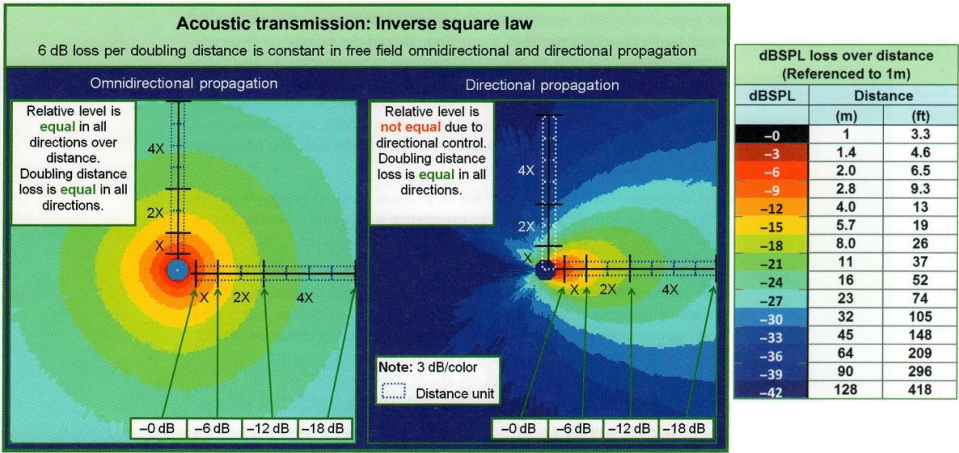
## Inverse Square Law

- Założenia
  - punktowe źródło dźwięku
  - pole swobodne
- Każde dwukrotne zwiększenie odległości od źródła powoduje spadek ciśnienia dźwięku (SPL) o 6dB
- Moc dźwięku **nie ulega** zmianom z odległością

37



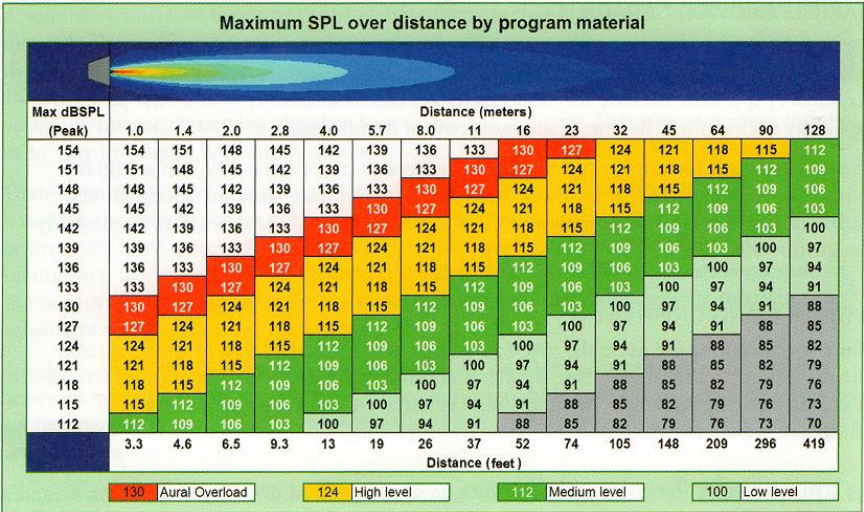
# Inverse Square Law



38



# Inverse Square Law



39



## Przykładowe zadania

- Głośnik ma skuteczność 102dB SPL (1W, 1m). Jaki będzie poziom dźwięku z tego głośnika w odległości 9 metrów? Głośnik zasilany sygnałem szumowym o mocy ciągłej 1W
- Najpierw należy obliczyć spadek SPL'a  
 $20 \log (9\text{m}/1\text{m}) = 20 \log 9 = 20 \cdot 0.954242 = 19\text{dB}$
- Następnie odjąć spadek od SPL dla 1m  
 $102 - 19 = \mathbf{83\text{dB}}$

40



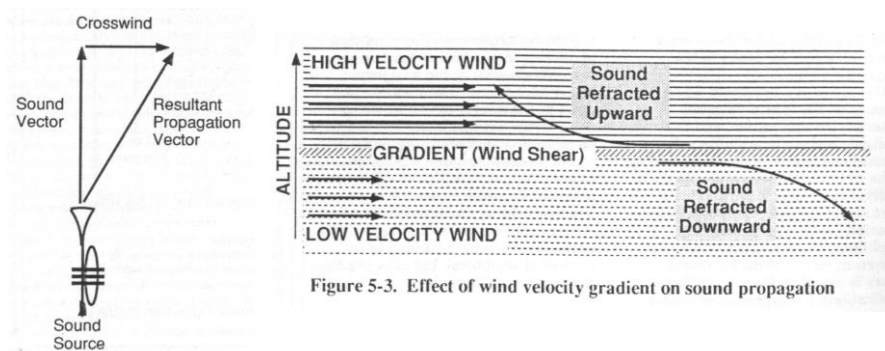
## Przykładowe zadania

- Należy nagłośnić koncert na otwartym powietrzu. Widownia sięga 30m od sceny. Używasz pełnopasmowych głośników o skuteczności 98dB SPL (1m, 1W) ustawionych na wprost widowni. Głośnik ma wytrzymać 100W mocy ciągłej. Ile wyniesie maksymalny SPL na końcu widowni?
- obliczyć stosunek między 1W a 100W  
 $10 \log (100\text{W}/1\text{W}) = 10 \log (100) = 20$
- dodać powyższą wartość do skuteczności, aby otrzymać SPL przy 100W  
 $98 + 20 = 118\text{dB SPL}$
- obliczyć stratę SPL'a  
 $20 \log (30\text{m}) = 20 \cdot 1.477121255 = 29.542 \text{ dB} \approx 30\text{dB}$
- odjąć stratę od maksymalnego SPL'a  
 $118 - 30 = 88\text{dB SPL}$

41

## Wpływ czynników środowiskowych

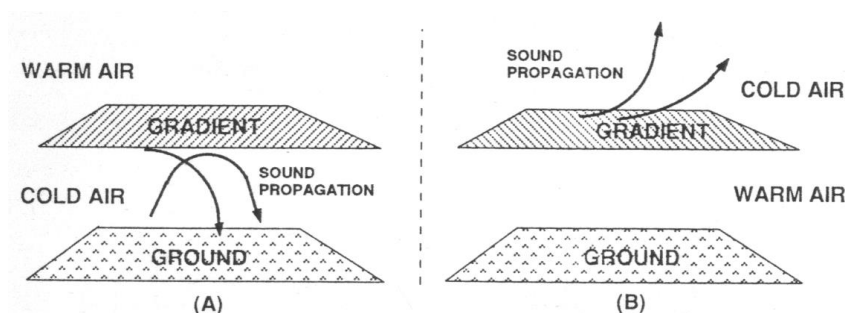
- wiatr
  - zmiana kierunku rozchodzenia dźwięku (w poziomie i pionie)



42

## Wpływ czynników środowiskowych

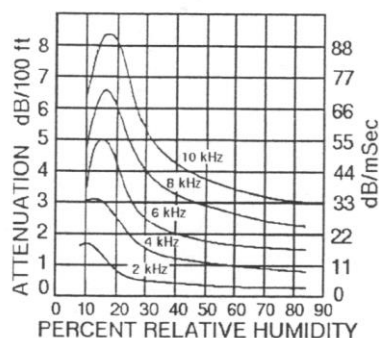
- temperatura
  - warstwy powietrza o różnej temperaturze mogą wpływać na zmiany propagacji
  - zmienia się prędkość rozchodzenia się dźwięku



43

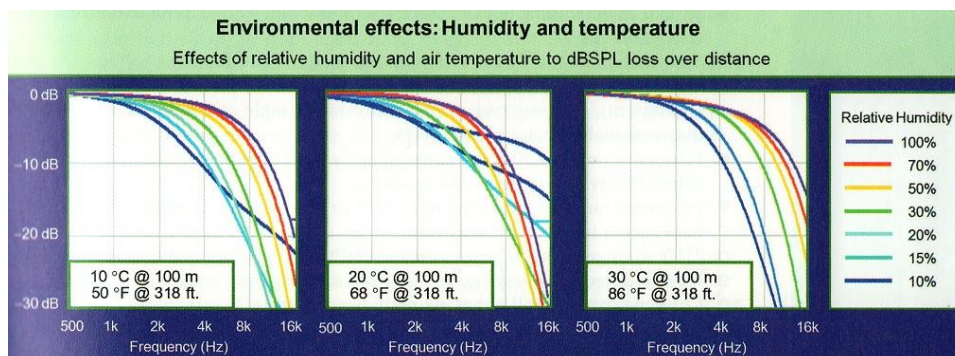
## Wpływ czynników środowiskowych

- wilgotność
  - tłumienie dźwięku jest maksymalne dla wilgotności wynoszącej ok. 15%
  - tłumienie wzrasta ze wzrostem częstotliwości (począwszy od 2kHz)



44

## Wpływ czynników środowiskowych



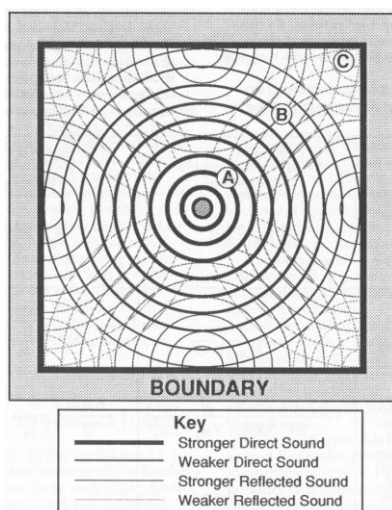
45

## Pomieszczenia

- akustyka o wiele bardziej skomplikowana
  - odbicia
  - absorpcja
  - przenikanie dźwięku
  - załamanie
  - fale stojące
  - pogłos

46

## Promień krytyczny

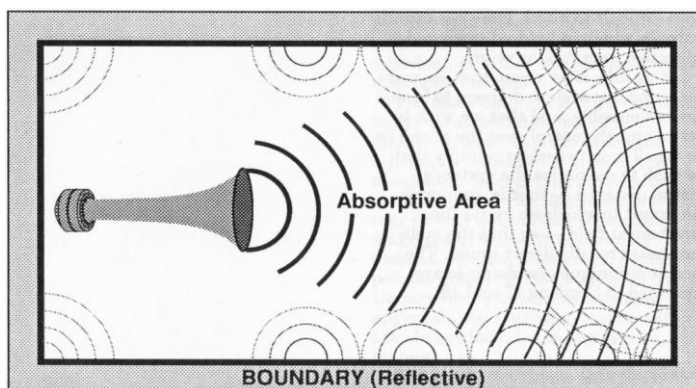


- promień krytyczny – odległość między źródłem dźwięku a punktem, w którym poziom dźwięku bezpośredniego jest równy poziomowi pola pogłosowego
- stosunek poziomu dźwięku bezpośredniego do poziomu pola pogłosowego również może być opisany przez "inverse square law"

48



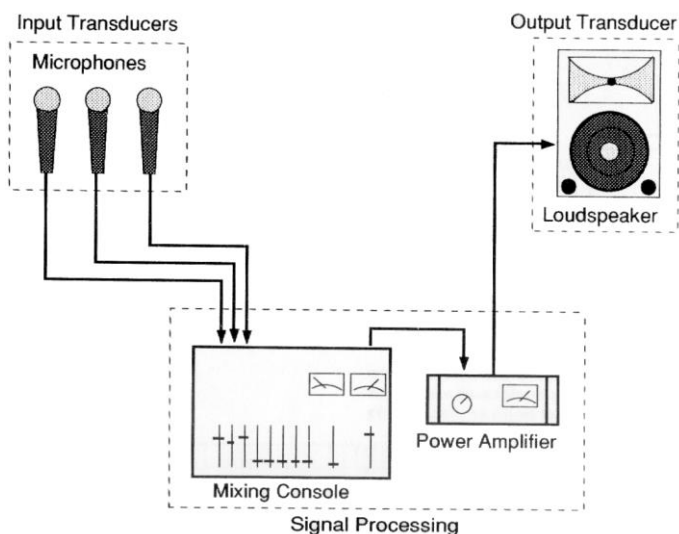
## Promień krytyczny



- zastosowanie źródeł kierunkowych zwiększa promień krytyczny i wpływa na zwiększenie obszaru prawidłowego odsłuchu

49

## Prosty system nagłośnieniowy



51



## Przedwzmacniacze

- wzmacniają sygnały o poziomach rzędu  $-70/-50\text{dBu}$  do poziomów  $-20\text{dBu}/+4\text{dBu}$
- pierwsze urządzenia aktywne na wejściu konsoli/miksera
- odgrywają dużą rolę w procesie obróbki sygnału
  - szumy i zniekształcenia
  - impedancje
- pracują w ściśle określonym zakresie poziomów wejściowych
- zewnętrzne przedwzmacniacze mogą być czasem przydatne

52



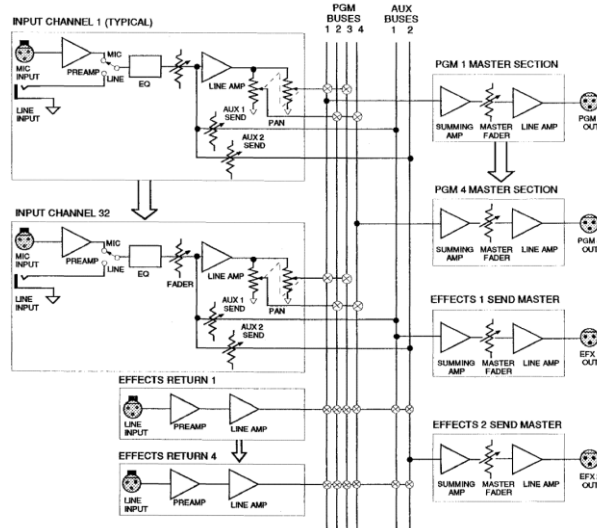
## Konsoleta

- proste krosowanie sygnałów
- wzmocnienie i wyrównanie poziomu sygnałów wejściowych
- sumowanie sygnałów z różnych źródeł
- przyporządkowanie sygnałów do różnych wyjść
- tworzenie różnych miksów
- rozbudowana korekcja barwy
- wbudowane procesory dynamiki (lub możliwość podłączenia zewn. procesorów)
- grupowanie suwaków/kanałów

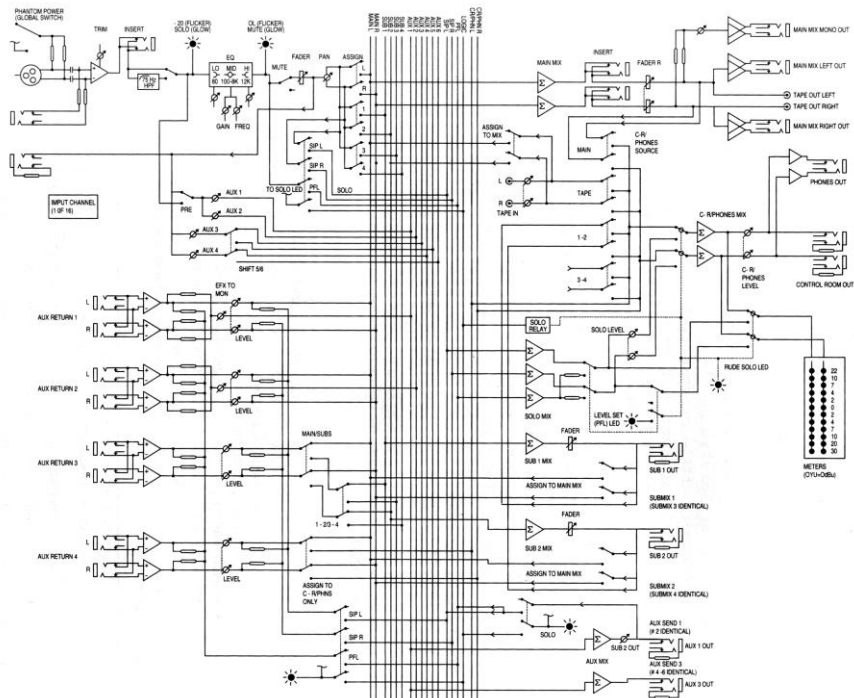
56



# Schemat konsolety



57



58



## Konsolety cyfrowe

- wbudowane przetworniki A/C i C/A
- wszelkie efekty i procesory dynamiki zbudowane na procesorze sygnałowym
- opóźnianie sygnałów z dokładnością do pojedynczych próbek
- łatwość podłączenia wielośladowych rejestratorów
- tworzenie scen
- automiks

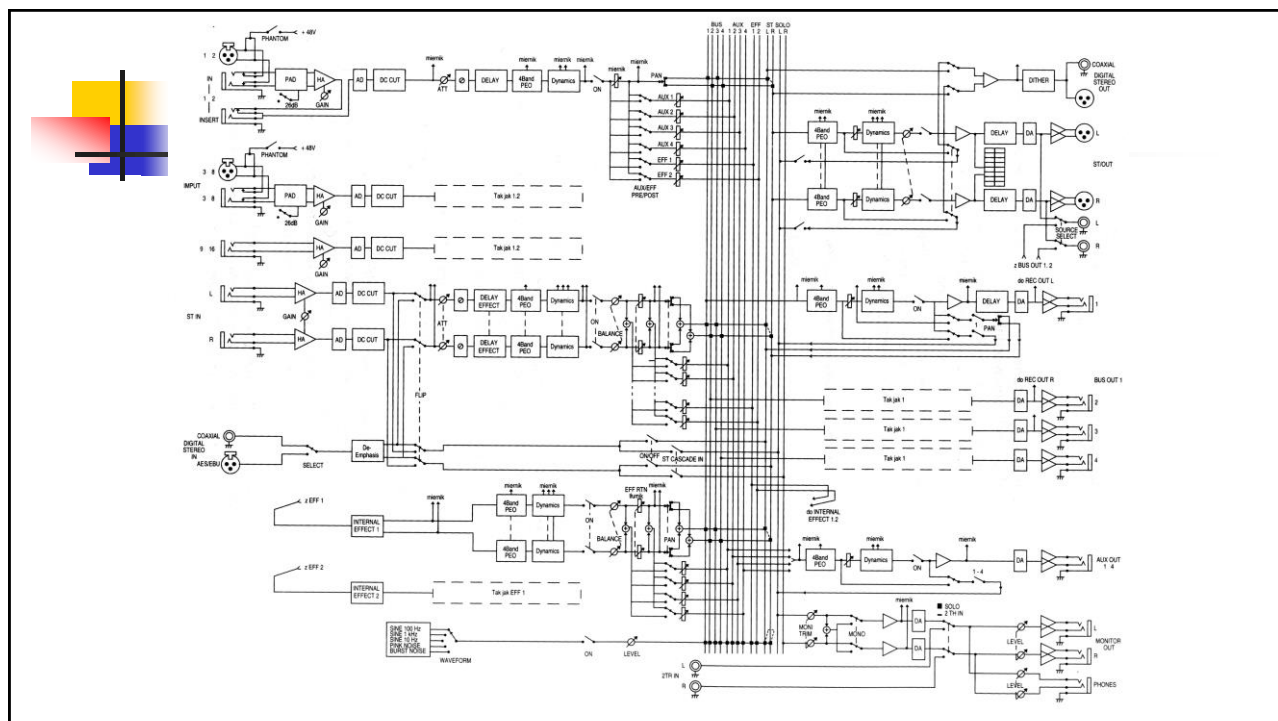
60



## Konsolety cyfrowe

- uciążliwy "interfejs użytkownika"
- problemy z synchronizacją urządzeń cyfrowych
  - różne częstotliwości próbkowania
  - konieczność przepróbkowywania w locie
  - tylko jedno urządzenie może być "Masterem"
- długie "bootowanie" się

61



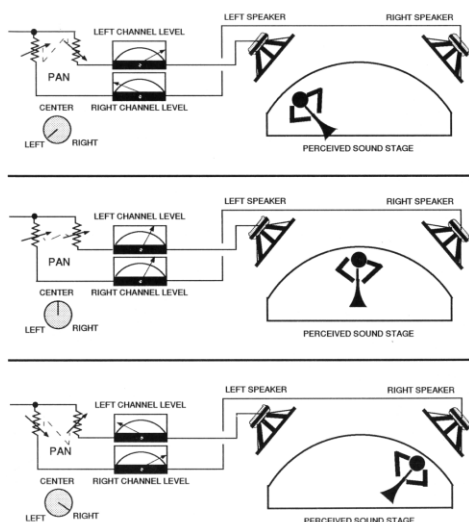
62

## Konsoletry -informacje

- fadery
  - typy
- sygnał pre fader
  - z reguły do tworzenia dodatkowych miksów
- sygnał post fader
  - z reguły do efektów
- uwaga na poziom sygnału powstałego z sumowania poszczególnych kanałów

63

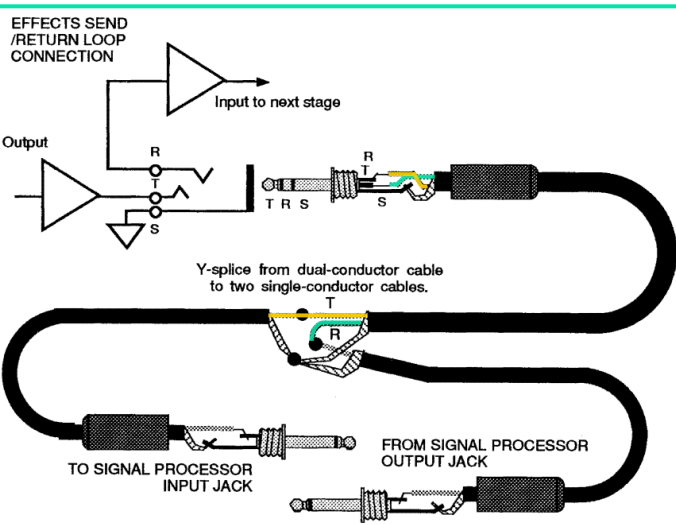
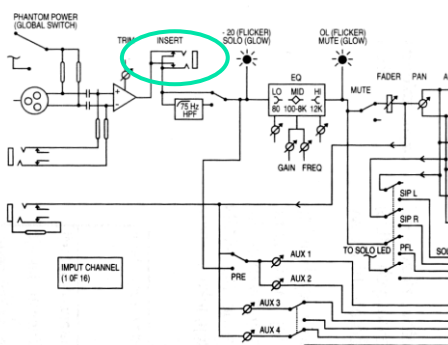
## Regulacja panoramy –pan pot



- umożliwiają ustawienie danego kanału w panoramie
- wykorzystują zmiany poziomy sygnału do pozycjonowania źródeł (funkcja sin, cos)
- możliwe wykorzystanie zmian fazy/opóźnienia

64

## Kabel insertowy



65



## Parametry konsol

- liczba wejść/wyjść (głównych i pomocniczych)
- stosunek sygnał/szum (?)
  - położenie suwaków?
  - korekcja?
- maksymalne wzmocnienie sygnału od wejścia mikrofonowego do głównego wyjścia – CMR (Common Mode Rejection)
  - typowo 60-80dB
  - zwiększanie wzmocnienia powoduje wzrost szumów

66



## Parametry konsol

- szумы na wyjściu przedwzmacniacza dla wzmocnienia równego 0 dB i imp. mikrofonu 150 ohmów
  - typowo od -125 do -129 dB
- pasmo przenoszenia
  - sięga powyżej 20kHz
- zniekształcenia nieliniowe
- impedancje
  - wejściowe powinny być co najmniej 5 razy większe od wyjściowych
- "interfejs użytkownika"

67



## Headroom

- trzeba brać pod uwagę poszczególne elementy konsoli
  - wejście
  - wyjście
  - szyny
- wielkość headroom'u będzie zależała od jakości konsolety i jej zastosowania
  - 10-15dB – proste miksery
  - 20dB – minimum dla sprzętu profesjonalnego

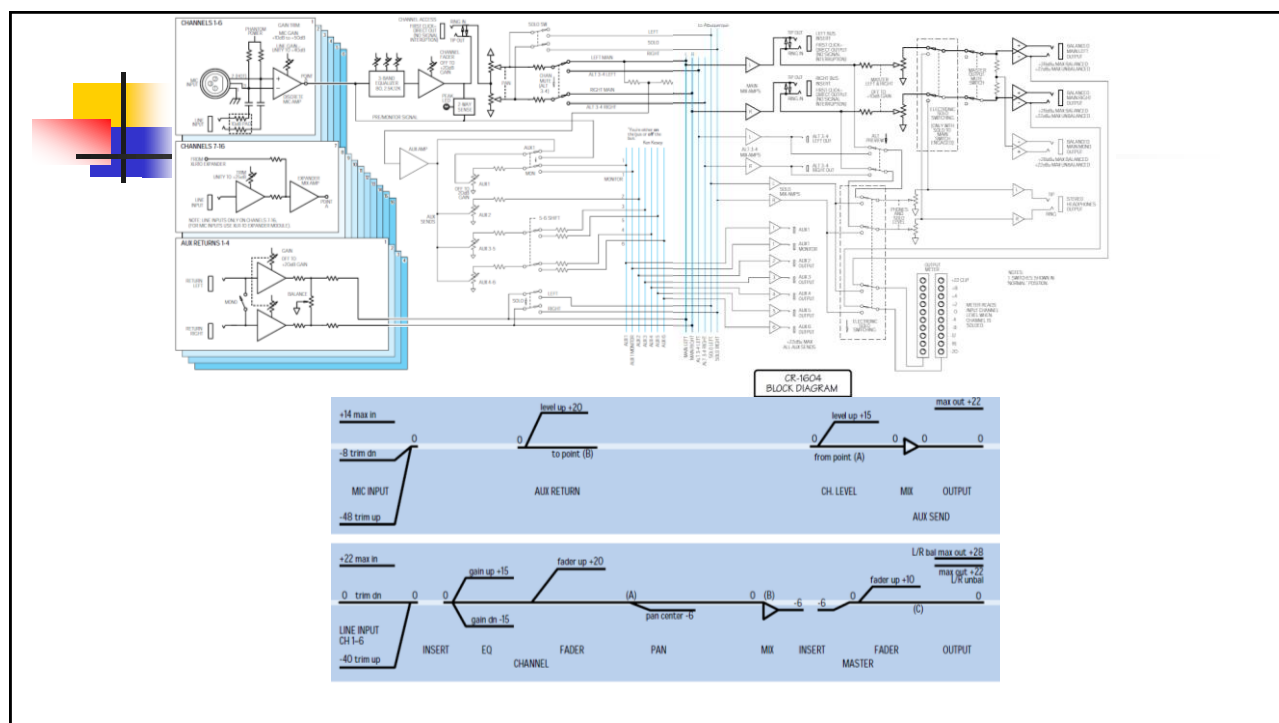
68



## Struktura wzmacnienia

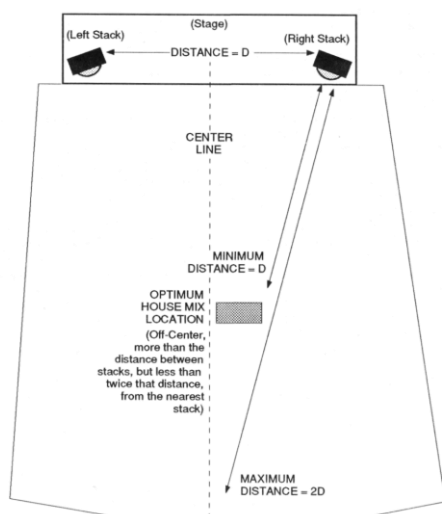
- szumy urządzeń powinny być minimum 40dB poniżej poziomu najcichszych dźwięków
- im więcej wzmacnienia osiągnie się na przedwzmacniaczu, tym mniej będzie trzeba dodawać na kolejnych suwakach i w efekcie tym mniej szumów będzie wzmacnianych
- nie tłumić sygnału na wejściu przedwzmacniacza!

69



70

## Położenie głównej konsoly



- realizator musi słyszeć to samo co większość osób na widowni
- nie może zbyt daleko, bo opóźnienie dźwięku będzie zbyt duże
- nie może być zbyt blisko, bo będzie ustawiał za niski poziom

76



## System odsłuchowy

- działa niezależnie od systemu nagłośnieniowego
- składa się z takich samych elementów jak inne systemy nagłośnieniowe
- ma pomagać wykonawcom słyszeć co grają
- typowo monofoniczne lub stereofoniczne
- miksy przygotowywane są dla poszczególnych wykonawców
- monitory mają nieco inne parametry

77



## Położenie konsoli odsłuchowej

- z boku sceny
  - wzrokowy kontakt z wykonawcami
  - możliwość podsłuchania dźwięku na scenie
- po przeciwnej stronie urządzeń sterujących oświetleniem
- możliwie blisko głównej konsoli
- możliwie blisko rack'ów ze sprzętem, wzmacniaczy itp.

78

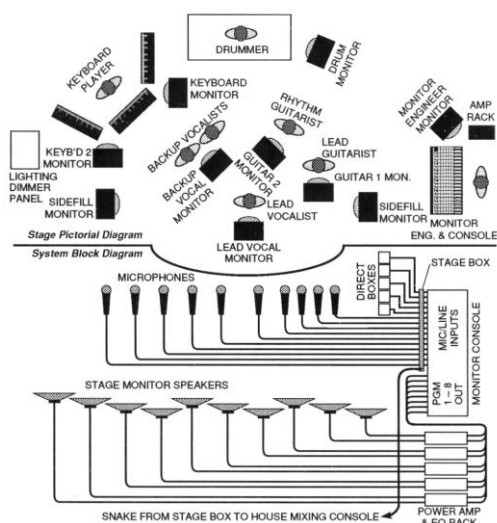


## Zalety stosowania konsol odsłuchowych

- realizator jest w stanie lepiej wypełniać żądania wykonawców
  - jest bliżej odsłuchów
  - łatwiej mu reagować na uwagi artystów
  - główny realizator ma mniej pracy
- może służyć do wykonania wstępnych miksów (głównie instrumentów elektronicznych)

79

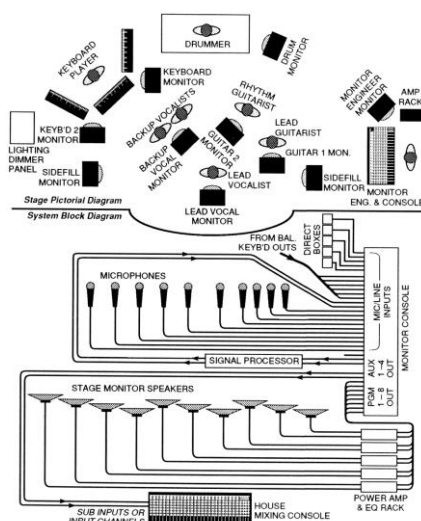
## Prosty system odsłuchowy



- sygnały z mikrofonów dzielone na obie konsoly
- każde wyjście wyposażony we własny EQ
- realizator ma możliwość odsłuchu każdego miks
- dodatkowy miks zasila głośniki umieszczone po bokach sceny

80

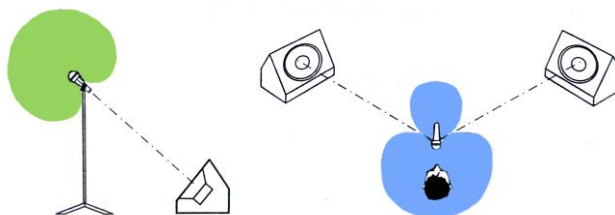
## System odsłuchowy połączony z główną konsoletą



81

## Ustawienie monitorów

- możliwie blisko wykonawcy
  - problemy, gdy wykonawca się przemieszcza po scenie
- zwrócić uwagę na kierunkowość głośnika
- zwrócić uwagę na kierunkowość mikrofonu!
- problem ze słyszalnością odsłuchów na widowni
  - redukować poziom basów
  - podawać tylko niezbędne dźwięki



K. Sztekmler, „Podstawy nagłośnienia i realizacji nagrań”

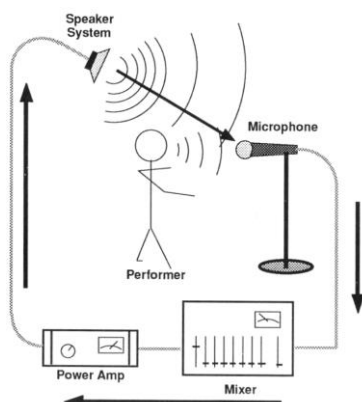
82

## Jakość systemu odsłuchowego

- wykonawcy grają lepiej, gdy mają lepsze odsłuchy
- mikrofony zawsze będą zbierały część sygnału z monitorów
- system odsłuchowy jest bardziej wrażliwy na sprzężenia

83

## Sprzężenia



- część dźwięku emitowanego przez głośniki jest zbierana przez mikrofon i kolejny raz wzmacniana – tworzy się pętla
  - wzmocnienie w pętli musi być równe jedności (0dB)
  - nie następuje odwrócenie fazy sygnału
- system powinien pracować z 6dB marginesem "bezpieczeństwa"

84

## Zapobieganie sprzężeniom

- wykorzystanie kierunkowych mikrofonów i głośników
  - trzeba uważać na niskie częstotliwości i zafalowania charakterystyk
- maksymalne odsunięcie głośników od mikrofonów
- maksymalne przybliżanie mikrofonu do źródła
- zadbanie o równomierne ch-ki kierunkowe głośników i mikrofonów
- wykorzystanie korektorów (o możliwie wąskich pasmach)
- użycie statycznych lub dynamicznych filtrów typu notch
- zmiana położenia mikrofonu (dotyczy pomieszczeń zamkniętych)
- użycie materiałów pochłaniających dźwięk (dotyczy pomieszczeń zamkniętych)

89

## Zapobieganie sprzężeniom



90



## Wzbudzanie systemu

- ustawienie sprzętu jak podczas występu
- osoba mówi do określonego mikrofonu
- zwiększany jest poziom aż do momentu wystąpienia sprzężenia
- zmniejszenie poziomu dla danej częstotliwości o 3dB
- zwiększenie poziomu itd
- zakończenie procesu, gdy wzbudza się wiele częstotliwości
- zysk: ok. 3-15dB
- pamiętać o pozostawieniu marginesu bezpieczeństwa
  - zmiana warunków podczas koncertu

91



## Walka ze sprzężeniami w systemie odsłuchowym

- użycie mikrofonów kardoidalnych (superkardoidalnych\*) i właściwe ich ustawienie (i trzymanie)
- odwrócenie fazy w konkretnym sygnale wyjściowym lub na wejściu mikrofonowym
  - konieczne sprawdzenie czy miks będzie poprawnie słyszany, jeśli sygnał wejściowy zostanie odwrócony w fazie
- dodanie opóźnienia (10-50 $\mu$ s) do sygnału wyjściowego
  - ew. 20-30ms – wykonawcy lepiej się słyszą (->mniej wzm.)
- wzbudzenie systemu przed występem
  - korektor
  - filtr notch
- załączenie filtrów górnoprzepustowych
  - usuwa niepożądane szумы
  - nie stosować dla klawiszy i perkusji

92



## Klasyfikacje systemów

- nagłośnieniowe <-> dogłośnieniowe
- reprodukcji dźwięku <-> nagłośnieniowe

93



## Nagłośnienie <-> dogłośnienie

- system nagłośnieniowy
  - główny cel: zwiększenie poziomu dźwięku w sali
- system dogłośnieniowy
  - główny cel: polepszenie parametrów dźwięku, np.:
    - zwiększenie zrozumiałości mowy
    - zwiększenie czasu pogłosu
    - zwiększenie dyfuzyjności
    - polepszenie równomierności nagłośnienia

94



## Systemy reprodukcji dźwięku

- Zastosowanie:
  - umożliwiają odtwarzanie przygotowanego uprzednio dźwięku
    - kluby
    - "imprezy"
- Cechy
  - uproszczone regulacje (poziom, barwa)
  - proste konsolety
  - możliwość synchronizacji dźwięku z obrazem

95



## Systemy nagłośnieniowe

- Zastosowanie:
  - wzmocnienie poziomu źródeł dźwięku znajdujących się na scenie tak, by były słyszane przez nawet dużych rozmiarów publiczność
- Cechy:
  - różna złożoność w zależności od zastosowań

96

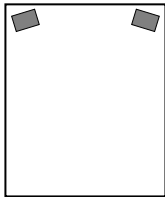
## Projektowanie systemu

- analiza
  - potrzeby techniczne
  - możliwości ekonomiczne
- planowanie
  - połączenie urządzeń
  - sposób wykorzystania urządzeń

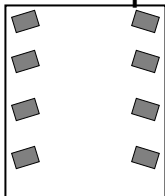
97

## Systemy nagłośnieniowe

- system centralny



- system rozproszony



98





## Porównanie

|                          | system centralny                               | system rozproszony                                     |
|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| system głośnikowy        | łatwość instalacji zestawów wielodrożnych      | najczęściej pojedyncze kolumny                         |
| generacja echa           | rzadko                                         | często                                                 |
| pracochłonność           | mało okablowania, lutowania, łatwiejszy montaż | dużo okablowania, dużo pracy przy instalacji głośników |
| straty mocy w kablach    | małe (wzmacniacze blisko głośników)            | duże                                                   |
| "strojenie", konserwacja | względnie proste                               | trudne przy rozbudowanych systemach                    |
| cena                     | mniejsza                                       | większa                                                |

99



## Nagłośnienie małych pomieszczeń

- problemy
  - łatwo przekroczyć dopuszczalne poziomy głośności
  - ryzyko sprzężeń
  - utrata wyrazistości dźwięku na skutek odbić od ścian i sufitu
  - brak miejsca na rozstawienia aparatury
- rozwiązania
  - nie nagłaśniać tych instrumentów, które tego specjalnie nie potrzebują
  - zminimalizować moc w odsłuchach, a nawet tak ustawić wykonawców, żeby odsłuchy nie były potrzebne
  - wytłumić (np. za pomocą kotar i dekoracji) obszar sceny i końca pomieszczenia
  - przy małych mocach umieszczać kolumny głośnikowe za zespołem

100

## Nagłośnienie otwartych przestrzeni

- problem
  - uzyskanie odpowiedniej mocy i równomierności pokrycia
  - silne tłumienie wyższych częstotliwości przy większych odległościach
  - może powstawać echo
- rozwiązania
  - kolumny głośnikowe o wąskich kątach promieniowania
  - umieszczanie kolumn wysoko na rusztowaniach
  - wykorzystanie systemu rozproszonego
    - linie opóźniające
    - bramkowanie wybrzmiewania dźwięków
    - straty!

101

## Przykłady systemów

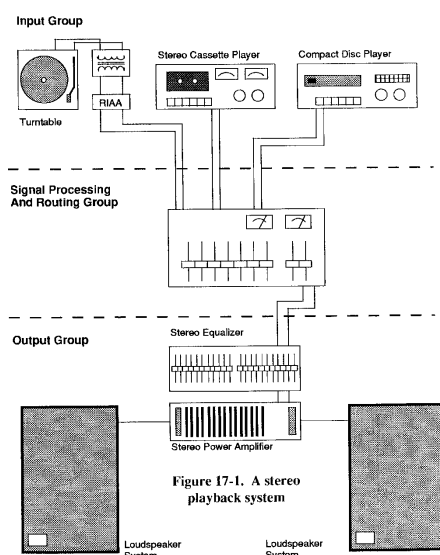
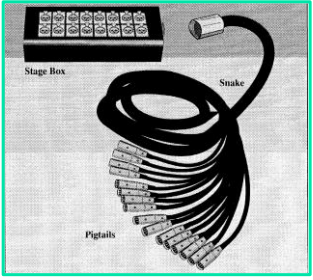
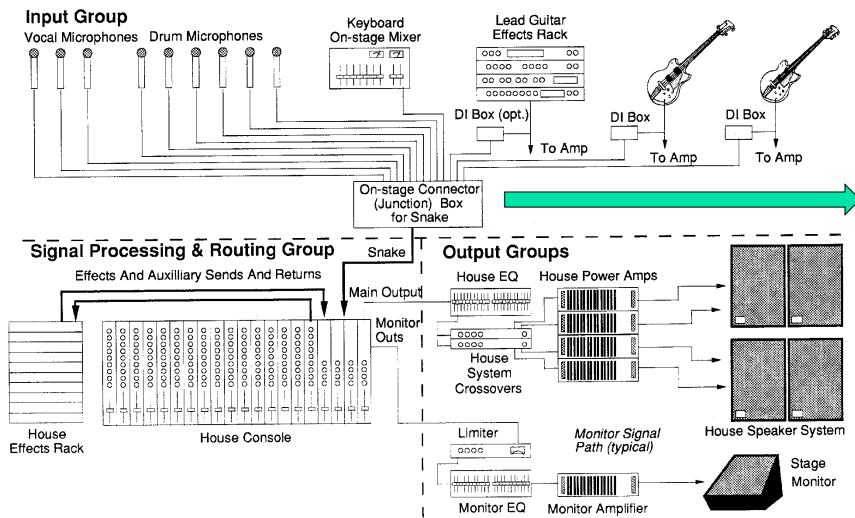


Figure 17-1. A stereo playback system

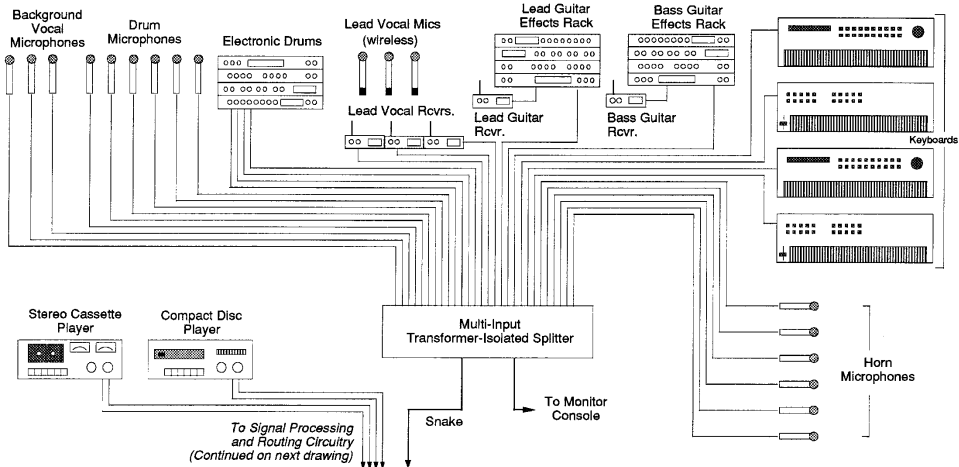
102

# Przykłady systemów



103

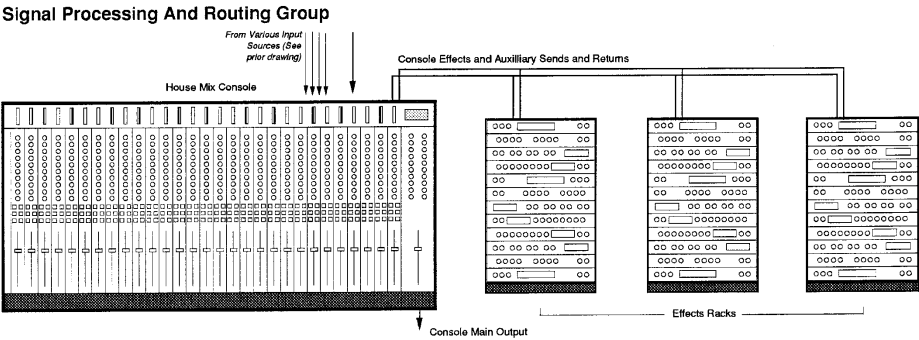
# Przykłady systemów



104



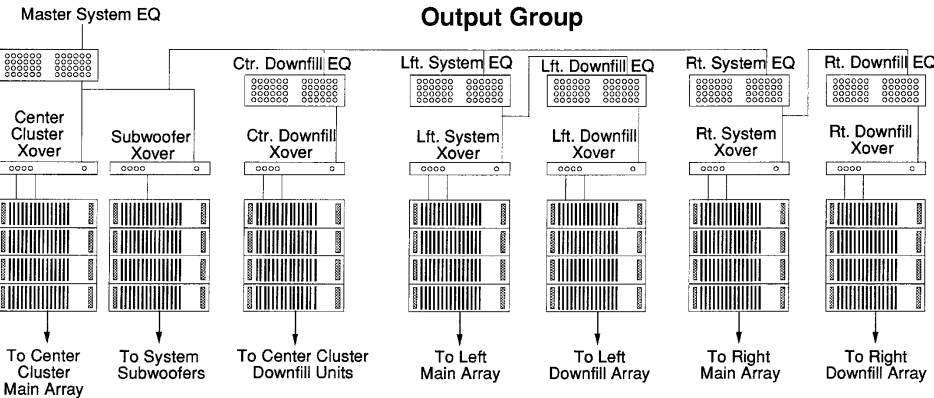
# Przykłady systemów



105

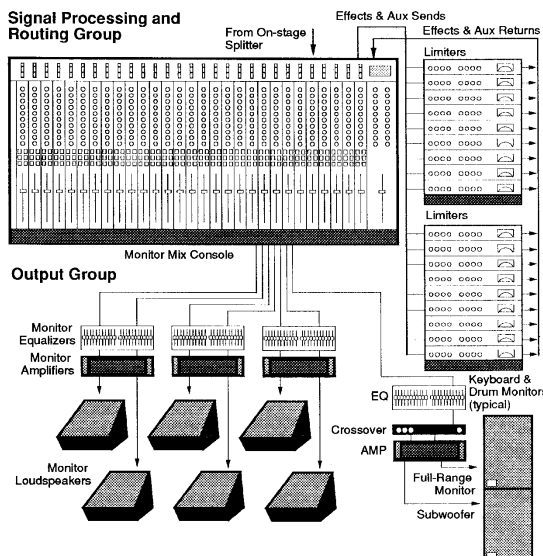


# Przykłady systemów



106

## Przykłady systemów



107

## Dziś można to zrobić inaczej: DANTE

- wykorzystuje połączenie ethernet (zalecany 1Gbit)
  - używa protokołu IP (w odróżnieniu od Ethersounda)
  - konfiguracja adresów z użyciem DHCP
  - nie wymaga tworzenia odrębnej sieci
  - w sieciach 100Mbit i mieszanych wymagana QoS
- przesyłanie audio z użyciem UDP
  - unicast i multicast
  - typowa przepływność dla unicast to ok. 6Mbit/s (4 kanały i 16 próbek na kanał)

108

## Dziś można to zrobić inaczej: DANTE

- możliwość przesyłania
  - 48x48 kanałów z częst. próbk. 48kHz w sieci 100Mbit
  - 512x512 kanałów z częst. próbk. 48kHz w sieci 1Gbit
- niewielka i deterministyczna latencja
  - zależy od wielkości sieci (liczby switchy)
  - ogólna zasada: 100us na switch
  - od 0,15 ms do 5 ms
  - transmisje multicast zawsze mają latencje 1ms

109

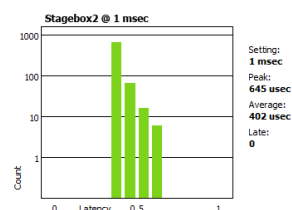
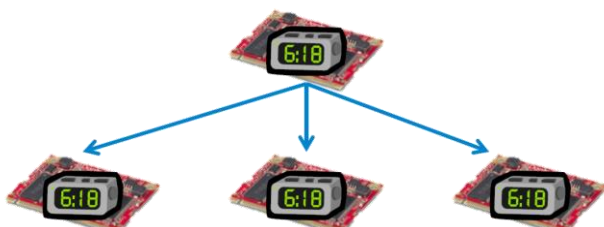
## Dante - cechy

- nie jest wykorzystywane multipleksowanie z podziałem czasu (TDM)
  - stosowane w AES/EBU, MADI, EtherSound
  - synchronizacja urządzeń na podstawie przesyłu danych
- Dante wykorzystuje transmisję pakietową
  - Precision Time Protocol (protokół precyzyjnej synchronizacji czasu)
    - pozwala na uzyskanie synchronizacji urządzeń poniżej 1 us
    - wykorzystuje informację o różnicy między zegarami

111

## Dante - cechy

- Master transmituje ramki w trybie multicast
- Slave-y sprawdzają opóźnienie dotarcia ramek i wysyłają informację o pożądanym opóźnieniu
- synchronizacja zegara urządzeń waha się w zakresie  $\pm 0,2\mu s$
- typowa latencja dla urządzenia Dante: 1ms



112

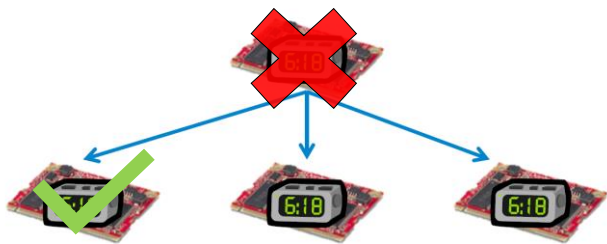
## DANTE - cechy

- jeden Master (obecnie Leader)
- jeżeli Master zniknie
  - urządzenia wykorzystują swoje wewnętrzne zegary
  - następuje automatyczny wybór nowego Mastera
  - ponowna synchronizacja nie wiąże się z zakłóceniami czy ciszą

113

# Dante - cechy

- zasady wyboru Mastera
  1. czy dane urządzenie jest „Preferred”
  2. czy dane urządzenie pełni rolę „slave-a” dla zewn. zegara
  3. czy dane urządzenie ma zegar wysokiej jakości
  4. czy dane urządzenie ma adres MAC niższy od innych urządzeń



114

# Dante cechy

Dante Controller - Network View

File Device View Help

Grand Master Clock: Desk-FOH Domain: Main Room admin

| Device Name            | Sync                                | Mute | Clock Source | Domain Status | Primary Status | Secondary Status | AT567 Status | Preferred Master         | Enable Sync To External  |
|------------------------|-------------------------------------|------|--------------|---------------|----------------|------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>192.168.13.0/24</b> |                                     |      |              |               |                |                  |              |                          |                          |
| Amp2-FOH               | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | N/A           | Slave          | N/A              | N/A          | <input type="checkbox"/> | N/A                      |
| Desk-FOH               | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | <b>Master</b> | <b>Master</b>  | N/A              | N/A          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Desk-Monitors          | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | Slave          | N/A              | N/A          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| PA-mic                 | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | Slave          | N/A              | N/A          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| PCIe-Rac               | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | Slave          | Link down        | N/A          | <input type="checkbox"/> | N/A                      |
| Stagebox-2             | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Standby       | Slave          | N/A              | N/A          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>192.168.14.0/24</b> |                                     |      |              |               |                |                  |              |                          |                          |
| Amp1-FOH               | <input checked="" type="checkbox"/> |      |              |               |                |                  |              |                          |                          |
| Stagebox-1             | <input checked="" type="checkbox"/> |      |              |               |                |                  |              |                          |                          |

Primary Leader Clocks: Stagebox2-CH, Stagebox1-CH Domain: Concert-Hall admin (Site Administrator)

| Device Name            | Sync                                | Mute | Clock Source | Domain Status | Primary v1 Multicast | Primary v2 Multicast | Secondary v1 Multicast | Secondary v2 Multicast | Preferred Leader         | Enable Sync To External  |
|------------------------|-------------------------------------|------|--------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>192.168.20.0/24</b> |                                     |      |              |               |                      |                      |                        |                        |                          |                          |
| Amp1-CH                | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | Follower             | N/A                  | N/A                    | N/A                    | <input type="checkbox"/> | N/A                      |
| Amp2-CH                | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | N/A           | Follower             | N/A                  | N/A                    | N/A                    | <input type="checkbox"/> | N/A                      |
| Stagebox2-CH           | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | <b>Leader</b> | <b>Leader</b>        | Disabled             | N/A                    | N/A                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>192.168.30.0/24</b> |                                     |      |              |               |                      |                      |                        |                        |                          |                          |
| Desk-CH-Main           | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | Follower             | Disabled             | N/A                    | N/A                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Stagebox1-CH           | <input checked="" type="checkbox"/> |      | Dante        | Disabled      | <b>Leader</b>        | Disabled             | N/A                    | N/A                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

źródło: [https://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/content/front\\_page.htm](https://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/content/front_page.htm)

115



## DANTE - cechy

- konieczność konfiguracji urządzeń, m.in.
  - numery urządzeń za pomocą dipswitchy (UNIT ID)
  - wielkość latencji
- zdalne sterowanie gain-em interfejsów wejściowych
- możliwość ustawienia różnych gain-ów dla różnych konsolet
- redundancja dzięki niezależnym sieciom
  - ale awaria sieci i przełączenie na rezerwową wiąże się z ciszą (2s lub więcej)

116

## DANTE - cechy

- dane przesyłane są w grupach po maks. 4 kanały (tworzą tzw. „flow”)
- urządzenia mają ograniczoną liczbę możliwych do obsługi „flows”
- 32 flows
  - 4 kanały do 32 urządzeń
  - 8 kanałów do 16 urządzeń
  - 16 kanałów do 8 urządzeń
  - 32 kanały do 4 urządzeń



119

## DANTE - cechy

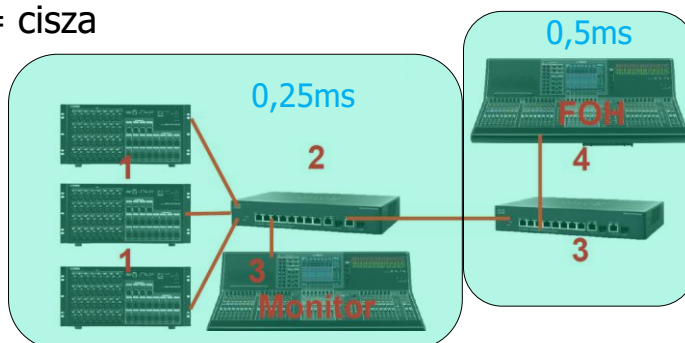
- Unicast/Multicast
  - Unicats stanowi większe obciążenie dla urządzeń przesyłających dane
  - Multicast stanowi większe obciążenie dla switchy
    - trzeba uważać przy korzystaniu z Multicasta
  - dla Multicastu „flow” może zawierać 8 kanałów



120

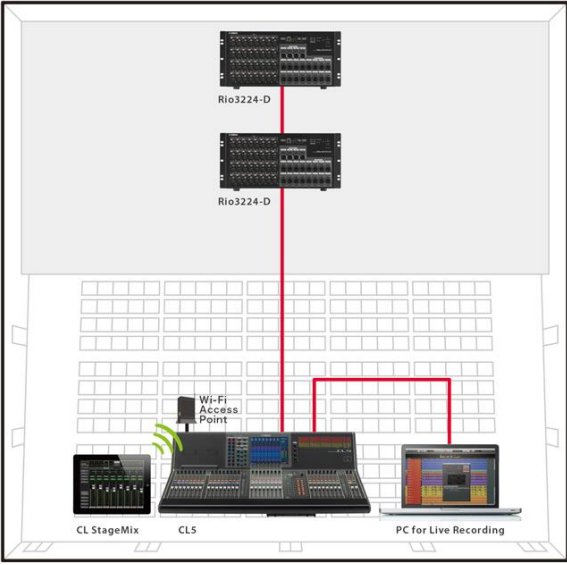
## Dante - latencja

- inna opcja:
  - latencja 0,25ms dla interfejsów wejściowych i konsoli odsłuchowej
  - latencja 0,5ms dla konsoli FOH
  - zbyt mała latencja = cisza



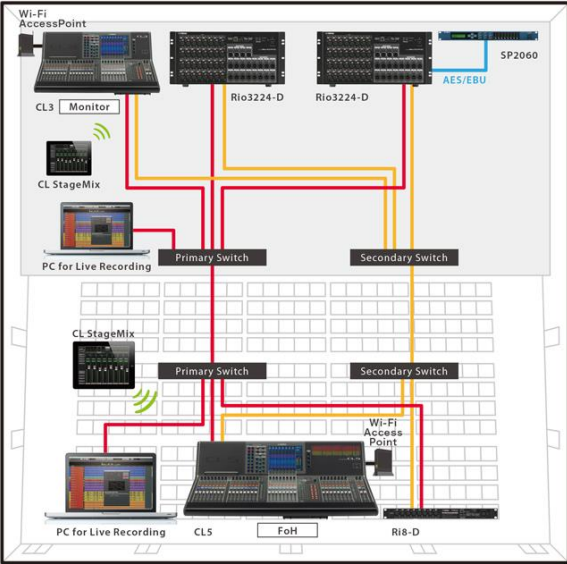
122

# Prosty system



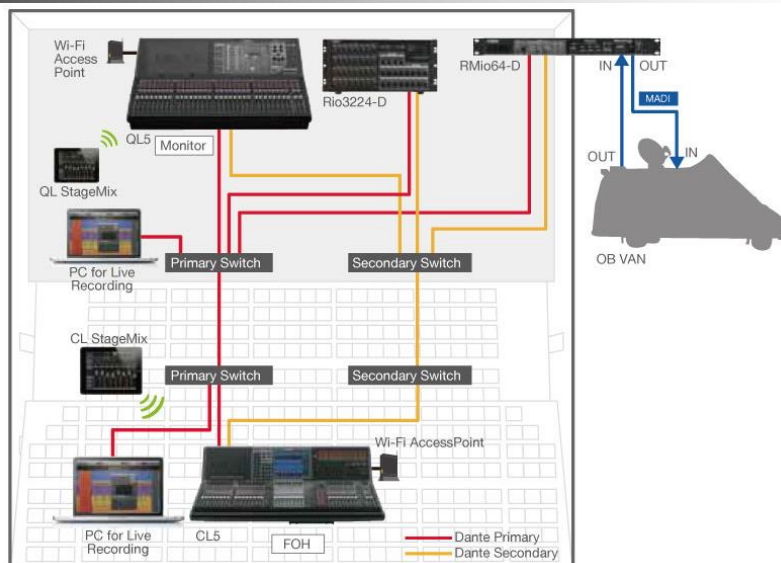
123

# Typowy system



124

## Zaawansowany system



125

## DANTE - uwagi techniczne

- kable
  - co najmniej CAT5e, zalecany CAT6, ekranowane
- switche
  - 1GB (lub więcej) na każdym porcie
  - przełączanie równe dwukrotności liczby portów (np. 20GBps dla 10 portowego switcha)
  - brak zarządzania energią „Energy-Efficient Ethernet” lub możliwość jej wyłączenia

126



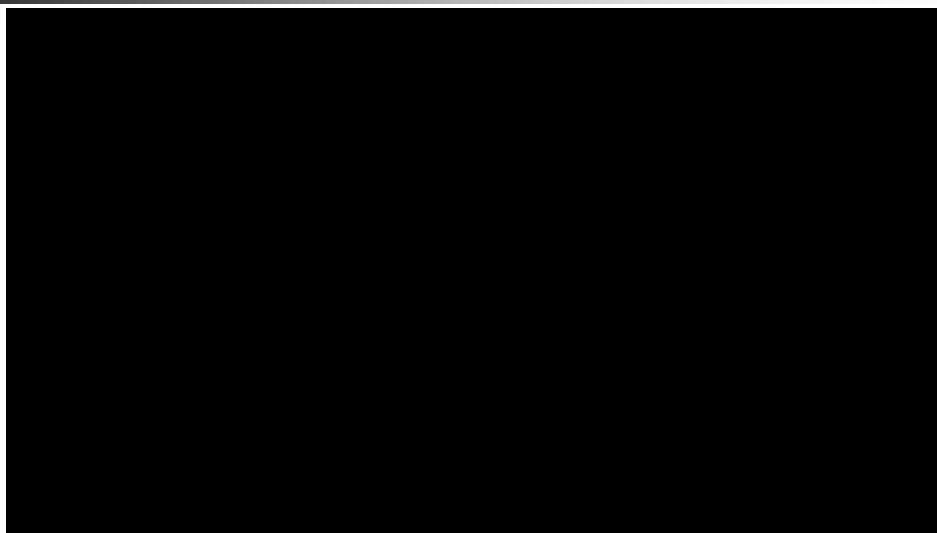
## Dante AV

- dodanie możliwości przesyłania wideo
  - maks. 4K60 z kompresją JPEG2000
  - sieć 1Gbit
  - niezależne streamowanie audio i wideo
  - pełna synchronizacja audio i wideo (latencja?)

127



## Dante AV



źródło: <https://youtu.be/058B8da06E8>

128



## AES50

- standard otwarty
  - zdefiniowany w 2005 roku
  - bazuje na protokole SuperMAC (Sony Pro Audio Lab)
- 100Mbit/s, kabel CAT5/5e, maks. 100 metrów
- maks. 48 kanałów (dwukierunkowych) przy częst. próbk. 48kHz
- latencja: 62,50us (3 próbki dla 48kHz)
- dodatkowy kanał pomocniczy – 5Mbit/s

129



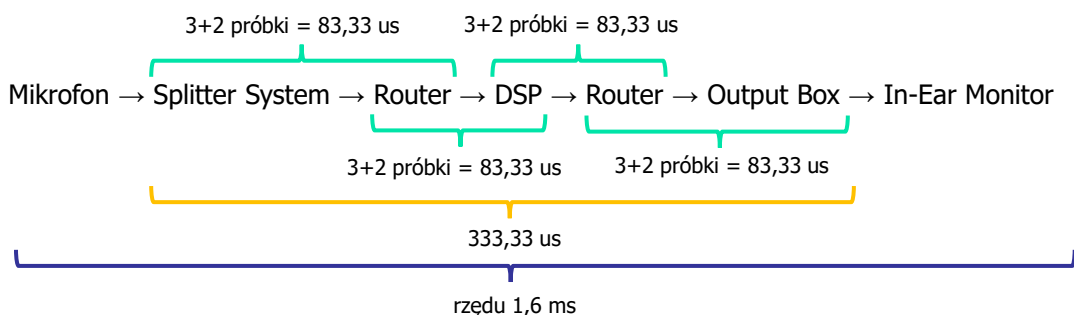
## HyperMAC

- wersja rozwojowa AES50
  - wykorzystuje Gigabit Ethernet lub światłowód
  - maks. 384 kanały (dwukierunkowe) przy częst. próbk. 48kHz
  - latencja: 41,66us (2 próbki dla 48kHz)
  - dodatkowy kanał pomocniczy – 200Mbit/s

130

## AES50/HyperMAC

- wymagają dedykowanych ruterów
- deterministyczna latencja



dodatkowe 2 próbki na konwersję między formatami danych (np. I2S)

131

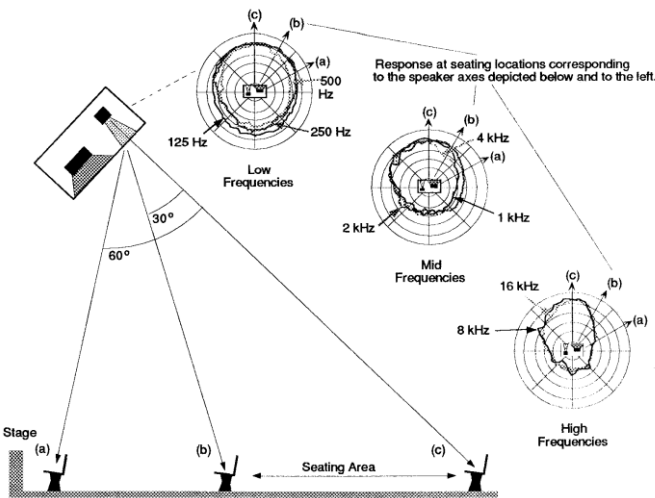
## AES50/HyperMAC

- wbudowane algorytmy detekcji i korekcji błędów
  - Cyclic Redundancy Check (CRC)
  - Forward Error Correction
  - zapis danych w sposób umożliwiający wykrycie problemów w kablu i nadal przesyłanie w sposób poprawny
- redundatne połączenia między urządzeniami

132



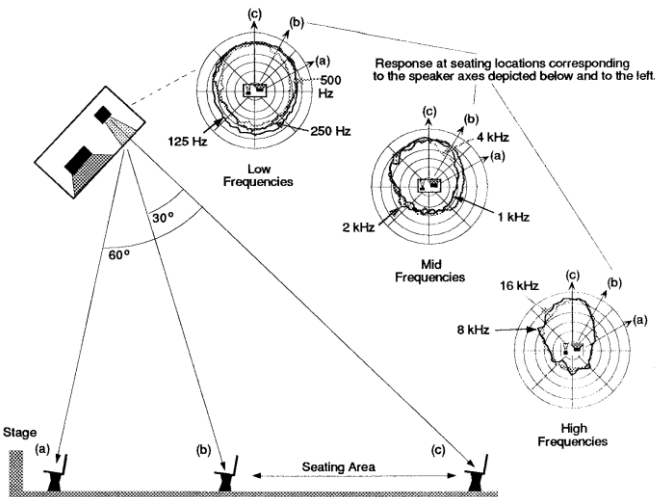
# Kierunkowość a pokrycie



133



# Kierunkowość a pokrycie



134



## Kierunkowość a pokrycie

- główna oś skierowana na punkt na końcu widowni
  - poziom dźwięku w tym punkcie = 0dB
  - odległość między głośnikiem a tym punktem wynosi D
- problem: ile wynosi poziom dźwięku w innych punktach?
  - 0.7D, 15 stopni od osi głównej
  - 0.6D, 30 stopni od osi głównej

135

## Obliczenia

- $20 \log (D / 0.7 D) = 3\text{dB}$
- z ch-ki kierunkowości dla 4 kHz  
spadek o 1dB
- poziom:  
 $3 - 1 = \mathbf{2dB}$
- $20 \log (D / 0.6 D) = 4.4 \text{ dB}$
- spadek o 5 dB
- poziom:  $4.4 - 5 = \mathbf{-0.6 dB}$

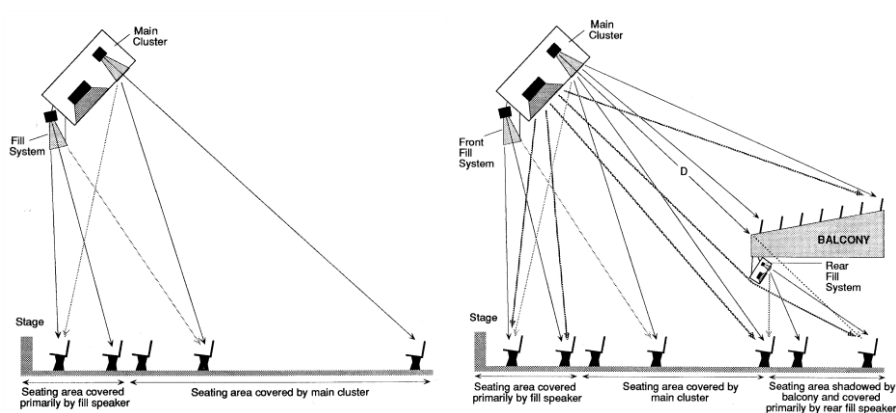
136

## Dogłośnienie

- dodatkowy głośnik umieszczony blisko głównego
  - zminimalizowanie problemów z fazą sygnałów
  - dodatkowy głośnik nie jest postrzegany jako osobne źródło dźwięku
- dodatkowy głośnik umieszczony daleko od głównego
  - konieczność dodania opóźnienia (odległość+10ms)
- konieczne zestrojenie obu systemów

137

## Dogłośnienie



138

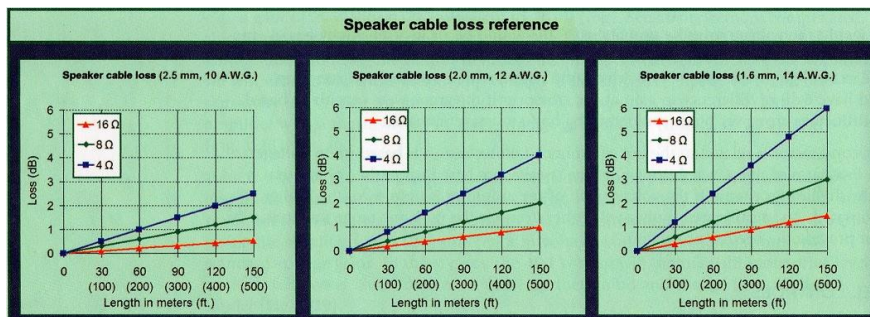
## Wzmacniacze mocy i głośniki

- nie należy podłączać do wzmacniacza głośników, których impedancja jest mniejsza od nominalnej podanej przez producenta -> ryzyko spalenia wzmacniacza
  - najczęściej mają zabezpieczenia zwarciovowe, termiczne itp.
- moc wyjściowa wzmacniacza nie powinna przekraczać mocy znamionowej głośnika
- moce głośników
  - znamionowa – największa moc, jaką można dostarczyć w długim okresie (więcej niż 2h)
  - muzyczna – największa moc dostarczona w krótkim okresie (1s); dwa razy większa od znamionowej
  - szczytowa – jak silny impuls (10ms) nie uszkodzi głośnika; nawet cztery razy większa od znamionowej
- w typowym przebiegu muzycznym tony podstawowe (do 3kHz) stanowią 90% mocy, a tony harmoniczne (powyżej 3kHz) zaledwie 10%

139

## Kable głośnikowe

- problemy
  - straty energii
  - wpływ pojemności kabla na pracę końcówki i przesyłanie sygnałów impulsowych



140

## Kable głośnikowe - straty

- przykład:
  - głośnik o impedancji  $4\Omega$ , moc  $400W$  -> prąd **10A**
  - kabel o długości 50m i przekroju  $1,5mm^2$  -> oporność ok.  $13\Omega$  na kilometr -> całkowita oporność **1,3 $\Omega$**
  - straty mocy ->  $P = I^2 R =$  **130W**
- stosować przewody o dużym przekroju i małej długości (końcówki umieszczać przy głośnikach)
- im mniejsza impedancja głośnika, tym większy powinien być przekrój

141

## Kable a oporności

- kable głośnikowe
  - $\emptyset 1,5mm^2$  ->  $13\Omega/km$
  - $\emptyset 2,5mm^2$  ->  $8\Omega/km$
  - $\emptyset 4mm^2$  ->  $4,5\Omega/km$
- koncentryk
  - $\emptyset 0,22mm^2$  ->  $90\Omega/km$
- symetryczny kabel mikrofonowy
  - $\emptyset 0,20mm^2$  ->  $105\Omega/km$

142



## Kable głośnikowe - pojemności

- pojemność kabla 60pF/m – 520pF/m
- szybkie impulsy będą miały złagodzone zbocza
- wysokie częstotliwości mogą być stłumione
- w skrajnym przypadku wzmacniacz się wzbudzi

143



## Efekty

- procesory dynamiki
- korektor barwy
- echo (delay)
- pogłos
- flanger
- chorus
- pitch-shifting

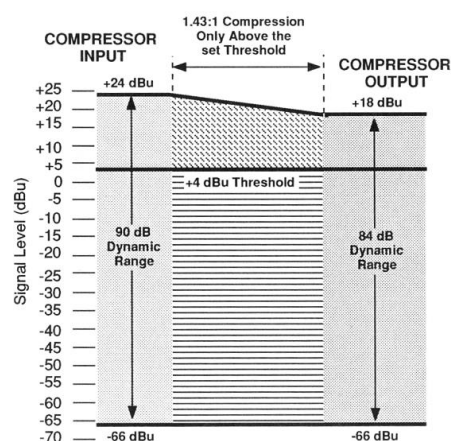
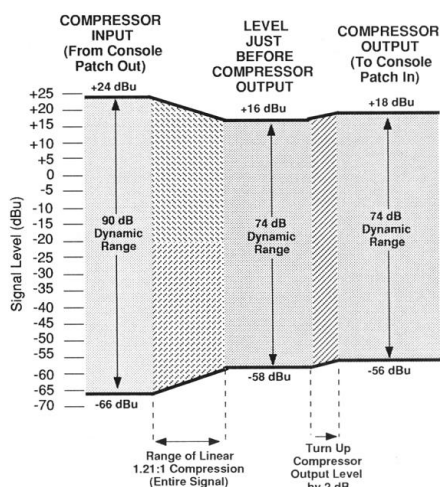
159

## Procesory dynamiki

- wpływają na zmiany wzmacnienia w torze akustycznym w zależności od poziomu sygnału wejściowego
  - **kompresor** – zmniejsza różnicę między najgłośniejszymi i najciszymi fragmentami sygnału
  - **ogranicznik** – zabezpieczenie rejestratorów i wzm. mocy przed przesterowaniami (często wykorzystywany w urządzeniach reporterskich)
  - **ekspander** – tłumi dźwięki najcisze (zmniejsza szumy i zakłócenia)
  - **bramka** – eliminuje szumy, zakłócenia, niepotrzebne dźwięki
  - **komparator** – połączenie kompresora i ekspandera
  - **de-esser** – kompresor działający w paśmie 3-6kHz

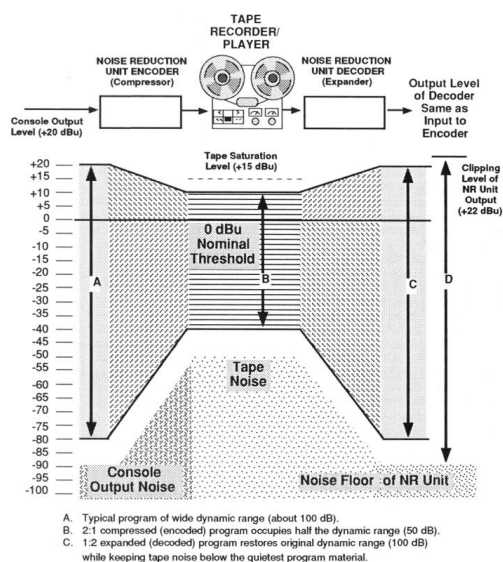
160

## Kompresja dynamiki



161

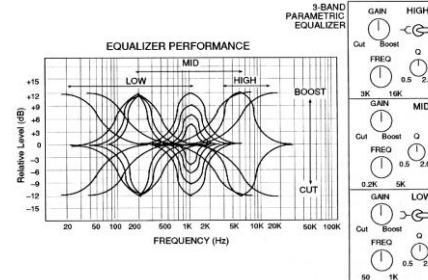
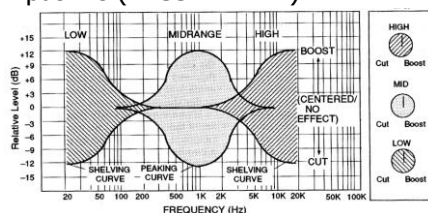
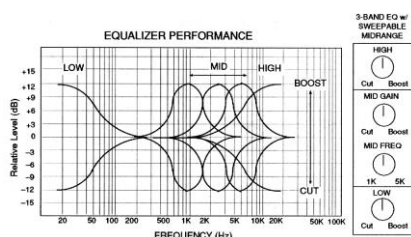
## Kompresja dynamiki



162

## Korektor barwy - rodzaje

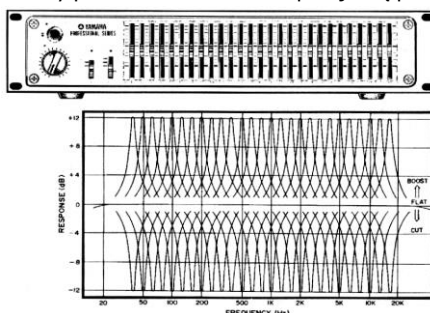
- regulacja podbicia/słumienia w określonym pasmie (BASS-TREBLE)
- j.w. + regulacja częstotliwości
- parametryczny
  - wzmocnienie
  - częstotliwość
  - dobroć



166

## Korektor barwy - rodzaje

- graficzny
  - wiele pasm
    - oktawowo – typowa korekcja toru
    - tercjowo – korekcja toru + zapobieganie sprzężeniom
    - wraz ze wzrostem liczby pasm rośnie cena i komplikuje się proces korekcji

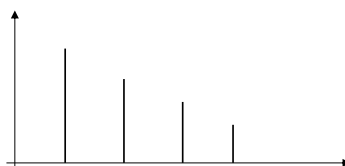


- połączenie parametrycznego i graficznego
  - do dokładnej eliminacji sprzężeń

167

## Echo

- opóźnianie sygnału o czas dłuższy niż 50-60ms i sumowanie go z sygnałem bezpośrednim
- używać z umiarem, bo zmniejsza zrozumiałość/czytelność dźwięku
- PING-PONG – różny czas opóźnienia dla kanału lewego i prawego -> dźwięk przeskakuje między głośnikami



168



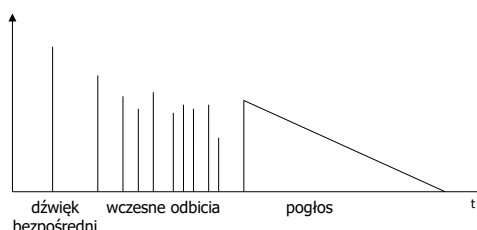
## Echo - wytwarzanie

- zapętłona taśma
  - duże szумы i zniekształcenia
  - drżenie i kołysanie
  - małe możliwości konfiguracyjne
- cyfrowa linia opóźniająca
  - bufor FIFO
  - wysoka jakość dźwięku
- analogowa linia opóźniająca
  - zbliżona do linii cyfrowej, ale przechowuje wartości napięcia, a nie próbki
  - wykorzystywane zwłaszcza w latach '70-tych ze względu na niższe koszty

169

## Pogłos

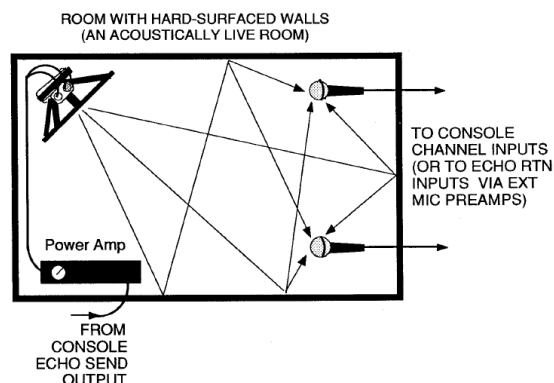
- podstawowa różnica w stosunku do echa – zagęszczenie odbić
- pozwala „zasymulować” pomieszczenie i jego przestrzeń
- wpływa na barwę
- parametry
  - czas pogłosu (decay)
  - wczesne odbicia
  - opóźnienie pogłosu (delay)
  - opóźnienie pierwszego odbicia (predelay)



170

## Pogłos - wytwarzanie

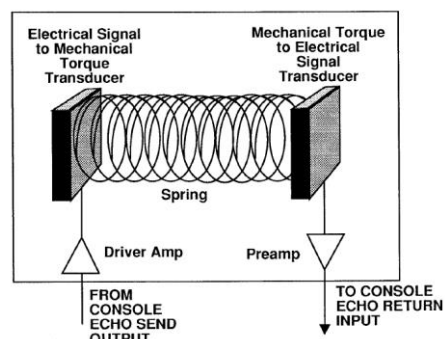
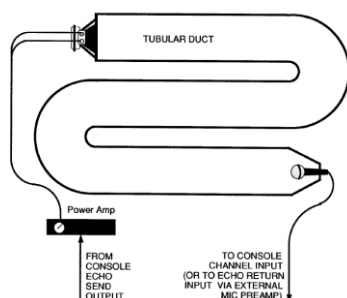
- komora pogłosowa
  - pomieszczenie z elementami odbijającymi dźwięk oraz głośnikiem i mikrofonem (mikrofonami)
  - wysokie koszty
  - spore szумы
  - problemy z zakłóceniami z zewnątrz



173

## Pogłos - wytwarzanie

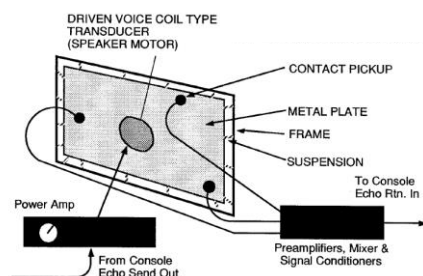
- rura pogłosowa
  - problemy z ch-ką częstotliwościową
  - brak możliwości konfiguracji
- sprężyny pogłosowe
  - konieczność użycia wielu sprężyn
  - metaliczny dźwięk przy szybkich transjentach
  - dobry dźwięk



174

## Pogłos - wytwarzanie

- płyta pogłosowa
  - wykorzystuje rozchodzenie fal dźwiękowych w metalowej płycie
  - dźwięk wysokiej jakości
  - duży ciężar
- procesory sygnałowe
  - wysoka jakość
  - czasem problemy z naturalnością
- splot



175

## Płyta pogłosowa



176

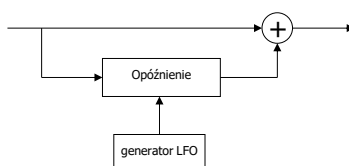
## Płyta pogłosowa



177

## Flanger i chorus

- polega na modulowaniu stałą, b. niską częstotliwością zmian czasu opóźnienia sygnału
- flanger – opóźnienie - 1-10ms
- chorus – opóźnienie - 30-60ms
- LFO - 0,25-4Hz; sinus, piła, przebieg pseudolosowy (chorus)



178



## Flanger i chorus - zastosowanie

- flanger
  - jazz, country, pop
  - dźwięk zaczyna pływać
  - występuje modulacja barwy
- chorus
  - zwielokrotnienie liczby instrumentów/głosów

179



## Pitch-shifting

- zmiana wysokości głosu/dźwięku
- realizowane w dziedzinie
  - czasu – odpowiednie przepróbkowywanie sygnału + zakładkowanie
  - częstotliwości – przesuwanie prążków widma
    - kwestia zachowania odległości między harmonicznymi
    - analogia do modulacji amplitudy

180

## Pętla masy

