Tape Bias Lab rev3 FIXED

Instrukcja obsługi i przewodnik po demonstracji zapisu magnetycznego

1. Przeznaczenie wtyczki

Tape Bias Lab rev3 FIXED jest edukacyjną wtyczką JSFX przeznaczoną do demonstracji podstawowych zjawisk występujących podczas analogowego zapisu dźwięku na taśmie magnetycznej.

Jej głównym zadaniem jest pokazanie znaczenia **wysokoczęstotliwościowego prądu podkładu AC Bias**, który w rzeczywistym magnetofonie jest dodawany do sygnału audio podczas zapisu.

Wtyczka pozwala usłyszeć i przeanalizować:

- nieliniowość zapisu wynikającą z histerezy materiału magnetycznego,
- występowanie obszaru małej czułości wokół punktu zerowego,
- wpływ szerokości pętli histerezy,
- linearyzujące działanie prądu podkładu,
- wpływ poziomu zapisu na nasycenie taśmy,
- ograniczenie pasma przez głowicę odczytującą,
- zanik najniższych częstotliwości w torze odczytu,
- różnicę między sygnałem wejściowym a sygnałem po przejściu przez model taśmy.

Wtyczka **nie jest emulacją konkretnego magnetofonu ani konkretnego typu taśmy**. Jej model został celowo uproszczony tak, aby w czytelny sposób prezentować najważniejsze zjawiska fizyczne.

---

2. Schemat działania

Tor sygnałowy wtyczki można przedstawić następująco:

sygnał audio → poziom zapisu → dodanie AC Bias → materiał magnetyczny z histerezą → nasycenie → głowica odczytująca / ograniczenie pasma → filtr dolnych częstotliwości → wyjście

Prąd podkładu występuje wyłącznie w torze zapisu. Nie jest po prostu dodawany do dźwięku na wyjściu.

W modelu zastosowano **ośmiokrotny oversampling**, dzięki czemu generator biasu może pracować z częstotliwościami znacznie przekraczającymi zakres słyszalny.

---

3. Instalacja

Tape Bias Lab jest standardową wtyczką **JSFX dla programu REAPER**.

1. W REAPER wybierz:

Options → Show REAPER resource path in Explorer/Finder

2. Otwórz katalog:

Effects

3. Skopiuj do niego plik:

Tape_Bias_Lab_rev3_FIXED.jsfx

4. Odśwież listę efektów lub ponownie otwórz okno FX.

Wtyczka powinna pojawić się wśród efektów JS.

---

4. Regulatory

AC Bias

Zakres: OFF / ON

Włącza lub wyłącza wysokoczęstotliwościowy prąd podkładu.

OFF

Sygnał audio trafia bezpośrednio na model materiału magnetycznego.

Przy małych poziomach sygnału duża jego część może znajdować się wewnątrz obszaru histerezy, w którym zmiany pola nie powodują proporcjonalnych zmian namagnesowania.

Efektem mogą być:

- bardzo silne zniekształcenia,
- zanikanie małych sygnałów,
- nieciągłość przebiegu,
- bardzo mały poziom odtwarzanego dźwięku.

ON

Do sygnału audio podczas zapisu dodawany jest sygnał ultradźwiękowy.

Powoduje on ciągłe przemieszczanie punktu pracy materiału magnetycznego po obu stronach pętli histerezy. Po odfiltrowaniu częstotliwości biasu pozostaje znacznie bardziej liniowo zapisany sygnał audio.

To najważniejszy regulator całego eksperymentu.

5. Bias current (% nominal)

Zakres: 0–200%

Określa amplitudę prądu podkładu.

100% odpowiada nominalnej wartości biasu dobranej do aktualnego ustawienia parametru **Hysteresis width**.

W tym modelu wartości w okolicy 100% najlepiej pokazują efekt linearyzacji zapisu.

0%

Brak skutecznego podkładu. Nawet przy włączonym AC Bias układ zachowuje się praktycznie jak zapis bez biasu.

Około 100%

Obszar najbardziej czytelnej linearyzacji.

Powyżej 100%

Materiał jest coraz silniej przemagnesowywany sygnałem podkładu. Można obserwować zmianę poziomu i charakteru zapisu.

Należy pamiętać, że wtyczka nie symuluje kompletnego procesu strojenia magnetofonu i nie należy interpretować wartości 100% jako konkretnego prądu wyrażonego w amperach czy miliamperach.

---

6. Bias frequency (kHz)

Zakres: 30–150 kHz

Określa częstotliwość generatora prądu podkładu.

W magnetofonach częstotliwość biasu znajduje się znacznie powyżej zakresu akustycznego. Typowe konstrukcje korzystają z częstotliwości rzędu kilkudziesięciu lub ponad 100 kHz.

Wtyczka pozwala eksperymentować w zakresie:

30–150 kHz

Częstotliwość jest automatycznie ograniczana, jeśli przy danej częstotliwości próbkowania DAW przekroczyłaby bezpieczny zakres wewnętrznego, ośmiokrotnie nadpróbkowanego toru.

Zmiana tego parametru ma przede wszystkim charakter demonstracyjny.

7. Record level (dB)

Zakres: –24 do +18 dB

Reguluje poziom sygnału kierowanego na model zapisu magnetycznego.

Nie jest to regulator końcowej głośności.

Zwiększając **Record level**, zwiększamy amplitudę pola zapisującego, a więc stopień wykorzystania charakterystyki magnetycznej materiału.

Małe poziomy

Bez AC Bias sygnał może znajdować się głównie w nieliniowym obszarze pętli histerezy.

Duże poziomy

Sygnał zaczyna wchodzić w obszar nasycenia magnetycznego.

Pozwala to zademonstrować, że prawidłowy zapis na taśmie wymaga zarówno linearyzacji małych sygnałów, jak i unikania nadmiernego nasycenia materiału.

---

8. Hysteresis width

Zakres: 0,05–0,80

Reguluje szerokość modelowanej pętli histerezy materiału magnetycznego.

Wyższa wartość oznacza większy obszar, w którym zmiana pola zapisującego nie powoduje proporcjonalnej zmiany trwałego namagnesowania.

Przy dużej wartości **Hysteresis width** zapis bez biasu staje się szczególnie problematyczny.

Domyślne ustawienie:

0,35

dobrano tak, aby działanie prądu podkładu było łatwe do zaobserwowania.

Model wykorzystuje cztery równoległe elementy histerezowe o różnych szerokościach, których sygnały są następnie sumowane. Pozwala to uzyskać znacznie bardziej płynną charakterystykę niż w przypadku pojedynczego progu.

---

9. Magnetic saturation

Zakres: 0,60–3,00

Określa stopień nieliniowości związanej z nasyceniem materiału magnetycznego.

Domyślna wartość:

1,40

Przy zwiększaniu tego parametru charakterystyka materiału staje się coraz bardziej nieliniowa przy dużych poziomach namagnesowania.

Efekt najlepiej obserwować przy jednoczesnym zwiększaniu **Record level**.

Parametr ten nie reprezentuje konkretnej wartości indukcji nasycenia wyrażonej w teslach. Jest bezwymiarowym parametrem modelu.

---

10. Repro head bandwidth (kHz)

Zakres: 8–22 kHz

Symuluje ograniczone pasmo głowicy odczytującej i toru korekcji odczytu.

Za modelem materiału magnetycznego znajduje się filtr dolnoprzepustowy czwartego rzędu.

Pełni on dwie funkcje:

1. symuluje spadek odpowiedzi wysokoczęstotliwościowej głowicy i toru odczytu,
2. usuwa pozostałości ultradźwiękowego sygnału biasu przed powrotem do częstotliwości próbkowania programu DAW.

Zmniejszenie wartości pozwala łatwo usłyszeć utratę wysokich częstotliwości.

Przy niższych częstotliwościach próbkowania maksymalna rzeczywista częstotliwość filtru jest automatycznie ograniczana do bezpiecznej wartości.

---

11. Repro LF cutoff (Hz)

Zakres: 10–100 Hz

Określa dolną granicę pasma symulowanego toru odczytu.

W rzeczywistym magnetofonie odpowiedź w zakresie bardzo niskich częstotliwości nie rozciąga się do napięcia stałego. Głowica odczytująca reaguje na zmiany strumienia magnetycznego.

Wtyczka reprezentuje to zjawisko za pomocą filtru górnoprzepustowego.

10 Hz

Praktycznie pełne pasmo basowe.

100 Hz

Wyraźne osłabienie najniższych częstotliwości.

Do demonstracji najlepiej wykorzystać wbudowany generator **100 Hz sine**.

---

12. Test signal

Wtyczka posiada własny generator sygnałów testowych.

Dostępne są:

- **Input**
- **1 kHz sine**
- **100 Hz sine**
- **10 kHz sine**

Input

Wtyczka przetwarza sygnał przychodzący ze ścieżki REAPER-a.

1 kHz sine

Najlepszy sygnał do demonstracji działania histerezy i prądu podkładu.

100 Hz sine

Przydatny do badania parametru **Repro LF cutoff**.

10 kHz sine

Przydatny do demonstracji ograniczonego pasma głowicy odczytującej.

Po wybraniu generatora sygnał z wejścia wtyczki jest zastępowany sygnałem testowym.

---

13. Test level (dBFS)

Zakres: –60 do 0 dBFS

Określa poziom wbudowanego generatora.

Domyślna wartość:

–24 dBFS

została dobrana celowo.

Przy domyślnej szerokości histerezy tak niski sygnał zapisany **bez AC Bias** znajduje się w dużej mierze w obszarze nieliniowym materiału.

Dzięki temu różnica pomiędzy:

AC Bias OFF

i

AC Bias ON

jest bardzo wyraźna.

---

14. Wet (%)

Zakres: 0–100%

Pozwala porównać sygnał nieprzetworzony z sygnałem po przejściu przez cały model magnetycznego zapisu i odczytu.

0%

Sygnał źródłowy.

100%

Wyłącznie sygnał po modelu taśmy.

Do pomiarów oraz demonstracji wpływu poszczególnych parametrów zalecane jest:

Wet = 100%

Ustawienia pośrednie mogą służyć do odsłuchowego porównywania sygnału oryginalnego i przetworzonego.

Ze względu na filtry znajdujące się w torze przetworzonym mieszanie sygnału Wet i Dry może również powodować interferencje fazowe. Dlatego ustawienie 50% nie powinno być traktowane jako obiektywna metoda pomiarowa.

15. Output trim (dB)

Zakres: –18 do +18 dB

Reguluje poziom końcowego sygnału wyjściowego.

Nie wpływa na sposób magnesowania materiału ani na stopień nasycenia.

Do eksperymentów z poziomem zapisu należy używać **Record level**, natomiast **Output trim** służy jedynie do wyrównania głośności po przetworzeniu.

---

16. Najważniejszy eksperyment — po co stosuje się AC Bias?

Ustaw:

- **AC Bias:** OFF
- **Bias current:** 100%
- **Bias frequency:** 100 kHz
- **Record level:** 0 dB
- **Hysteresis width:** 0,35
- **Magnetic saturation:** 1,40
- **Repro head bandwidth:** 20 kHz
- **Repro LF cutoff:** 25 Hz
- **Test signal:** 1 kHz sine
- **Test level:** –24 dBFS
- **Wet:** 100%
- **Output trim:** 0 dB

Uruchom odtwarzanie.

Przy **AC Bias OFF** niski sygnał testowy nie jest w stanie prawidłowo pokonać obszaru histerezy materiału. Odtwarzany przebieg będzie bardzo słaby, silnie zdeformowany albo praktycznie zaniknie.

Następnie przełącz:

AC Bias → ON

Generator 100 kHz zaczyna przemagnesowywać materiał w obu kierunkach wokół jego charakterystyki.

Po odfiltrowaniu składowej 100 kHz pozostaje znacznie bardziej liniowa reprezentacja sygnału 1 kHz.

Jest to podstawowa demonstracja mechanizmu, który w latach 30. i 40. XX wieku umożliwił osiągnięcie wysokiej jakości zapisu magnetycznego.

---

17. Eksperyment: dobór poziomu biasu

Pozostaw generator:

1 kHz / –24 dBFS

oraz:

AC Bias = ON

Następnie zmniejsz:

Bias current → 0%

i powoli zwiększaj wartość do 200%.

W zakresie małych wartości zapis pozostaje silnie nieliniowy.

W miarę zwiększania biasu sygnał staje się coraz lepiej odwzorowany. Okolice **100%** zostały w tym modelu dobrane jako najbardziej czytelny punkt demonstracyjny.

Eksperyment ten pokazuje, dlaczego w rzeczywistym magnetofonie poziom biasu musiał być prawidłowo ustawiony dla konkretnego rodzaju taśmy.

Nie należy jednak traktować tego modelu jako symulacji profesjonalnej procedury **overbias**. Rzeczywista zależność biasu, czułości, zniekształceń i charakterystyki wysokoczęstotliwościowej taśmy jest bardziej złożona.

---

18. Eksperyment: szerokość histerezy

Ustaw:

AC Bias = OFF

i zmieniaj **Hysteresis width** od 0,05 do 0,80.

Przy niewielkich wartościach nawet stosunkowo mały sygnał może powodować zmianę namagnesowania.

Przy zwiększaniu wartości coraz większa część sygnału znajduje się w obszarze histerezy i zapis staje się bardziej zniekształcony.

Następnie włącz:

AC Bias = ON

i ponownie wykonaj eksperyment.

Prąd podkładu w znacznej mierze kompensuje problem, ponieważ jego amplituda nominalna jest we wtyczce automatycznie powiązana z szerokością pętli histerezy.

---

19. Eksperyment: nasycenie taśmy

Włącz AC Bias i wybierz:

Test signal = 1 kHz

Następnie zwiększaj **Record level**.

Przy niewielkim poziomie zapis powinien być stosunkowo liniowy.

W miarę zwiększania poziomu materiał zbliża się do granicy swojego namagnesowania i pojawia się charakterystyczna kompresja oraz zniekształcenie przebiegu.

Działanie można dodatkowo uwydatnić regulatorem:

Magnetic saturation

Eksperyment pokazuje różnicę między dwoma rodzajami nieliniowości:

- nieliniowością małych sygnałów wynikającą z histerezy,
- nieliniowością dużych sygnałów wynikającą z nasycenia materiału.

Prąd podkładu pomaga przede wszystkim w pierwszym przypadku. Nie może natomiast sprawić, że materiał magnetyczny będzie miał nieograniczony zakres zapisu.

---

20. Eksperyment: pasmo głowicy

Wybierz:

Test signal = 10 kHz sine

oraz:

Wet = 100%

Zmieniaj:

Repro head bandwidth

od 22 kHz w kierunku 8 kHz.

Wraz z obniżaniem częstotliwości granicznej poziom sygnału 10 kHz zacznie maleć.

W ten sposób można zademonstrować wpływ ograniczonego pasma głowicy oraz toru odczytu na wysokie częstotliwości.

---

21. Eksperyment: odpowiedź niskoczęstotliwościowa

Wybierz:

Test signal = 100 Hz sine

Następnie zmieniaj:

Repro LF cutoff

od 10 do 100 Hz.

Przy ustawieniu zbliżonym do 100 Hz sygnał testowy zostanie wyraźnie osłabiony.

Pozwala to pokazać, że tor głowicy odczytującej nie zachowuje się jak idealne połączenie przenoszące sygnały od 0 Hz.

---

22. Użycie z analizatorem widma i oscyloskopem

Tape Bias Lab szczególnie dobrze nadaje się do współpracy z narzędziami pomiarowymi REAPER-a.

Za wtyczką można umieścić:

- oscyloskop,
- analizator FFT,
- miernik THD,
- analizator harmonicznych.

Najbardziej interesujące jest porównanie przebiegu 1 kHz przy niskim poziomie.

Bez biasu

Przebieg może być silnie zdeformowany, a jego poziom niewielki.

Z prawidłowym biasem

Przebieg zaczyna znacznie bardziej przypominać sinusoidę.

Na analizatorze FFT powinno być widoczne zmniejszenie udziału harmonicznych związanych z nieliniowością zapisu.

23. Ważne ograniczenia modelu

Tape Bias Lab jest **modelem dydaktycznym**, a nie kompletnym modelem fizycznym magnetofonu.

Wtyczka nie symuluje między innymi:

- konkretnego składu warstwy magnetycznej,
- domen magnetycznych w skali mikroskopowej,
- prędkości przesuwu taśmy,
- szerokości szczeliny głowicy zapisującej,
- grubości warstwy magnetycznej,
- efektu odległości głowica–taśma,
- nierównomierności przesuwu wow & flutter,
- szumu własnego taśmy,
- print-through,
- modulacji szumu,
- pełnych charakterystyk NAB, IEC lub CCIR,
- rzeczywistej procedury regulacji bias/overbias,
- zależności optymalnego biasu od częstotliwości i rodzaju taśmy.

Model histerezy jest aproksymacją opartą na czterech równoległych elementach typu **play operator**, zbliżonych ideowo do modeli Prandtla–Ishlinskii.

Jego celem nie jest wierne odtworzenie określonej taśmy, lecz pokazanie najważniejszej zasady:

bez prądu podkładu pętla histerezy materiału powoduje bardzo silną nieliniowość zapisu małych sygnałów; odpowiednio dobrany podkład wysokoczęstotliwościowy pozwala wykorzystać materiał magnetyczny w znacznie bardziej liniowy sposób.

24. Zalecane ustawienie początkowe

Do podstawowej prezentacji działania wtyczki:

Parametr	Wartość
AC Bias	ON
Bias current	100%
Bias frequency	100 kHz
Record level	0 dB
Hysteresis width	0,35
Magnetic saturation	1,40
Repro head bandwidth	20 kHz
Repro LF cutoff	25 Hz
Test signal	1 kHz sine
Test level	–24 dBFS
Wet	100%
Output trim	0 dB

Najbardziej efektownym sposobem prezentacji jest pozostawienie tych parametrów bez zmian i przełączanie wyłącznie:

AC Bias: OFF ↔ ON

Różnica pokazuje istotę działania prądu podkładu praktycznie natychmiast.

---

25. Podsumowanie

Tape Bias Lab pozwala w prostym eksperymencie usłyszeć zjawisko, które było jednym z najważniejszych przełomów w historii zapisu magnetycznego.

Sam materiał magnetyczny nie posiada liniowej zależności pomiędzy polem głowicy zapisującej a pozostającym na taśmie namagnesowaniem. Szczególnie problematyczny jest obszar niewielkich wartości pola w pobliżu środka pętli histerezy.

Dodanie do sygnału audio silnego pola przemiennego o częstotliwości znacznie przekraczającej zakres słyszalny powoduje cykliczne przechodzenie materiału przez charakterystykę magnetyczną. Po uśrednieniu tych zmian otrzymujemy znacznie bardziej liniową zależność pomiędzy sygnałem audio a pozostającym namagnesowaniem.

Właśnie tę różnicę ma przede wszystkim demonstrować **Tape Bias Lab rev3 FIXED**.

W kodzie jest jeszcze kilka elementów, które można bardzo dobrze wykorzystać dydaktycznie — zwłaszcza fakt, że przy domyślnym **–24 dBFS i Hysteresis Width 0,35 sygnał bez biasu znajduje się poniżej progów wszystkich czterech głównych elementów histerezy**. Dzięki temu przełączenie OFF/ON jest celowo wyjątkowo spektakularne, a nie przypadkowe.

Opracowanie: 0dB.pl, Tomasz Wróblewski