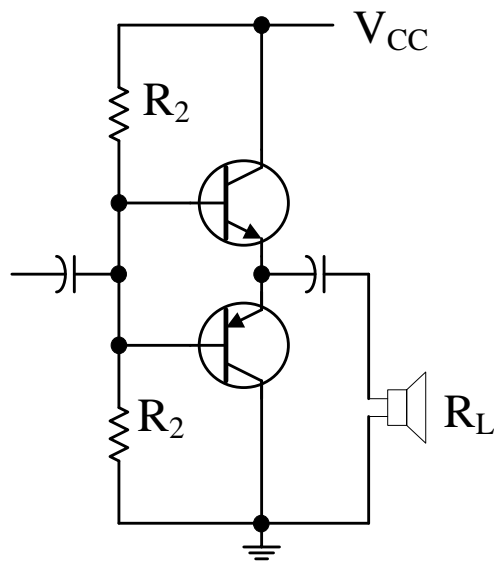
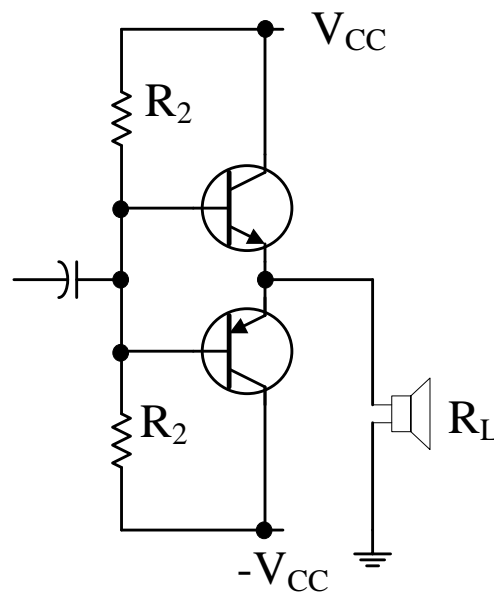


Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη Β



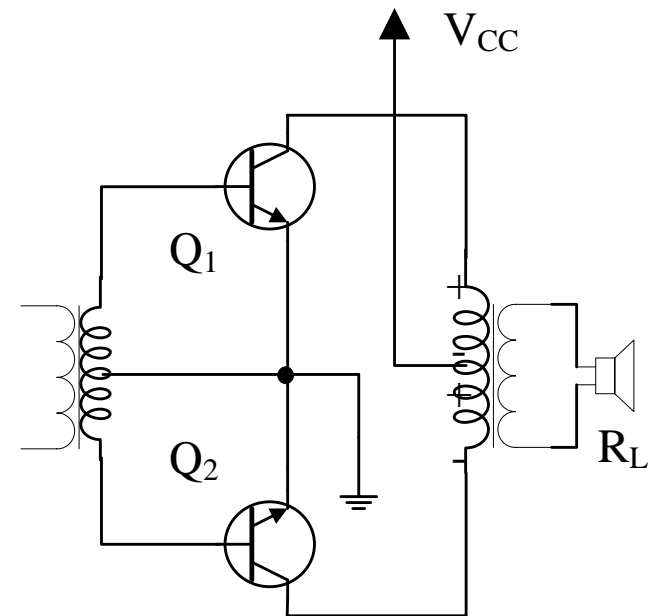
OTL Class B Power Amplifier

Output Transformer-Less



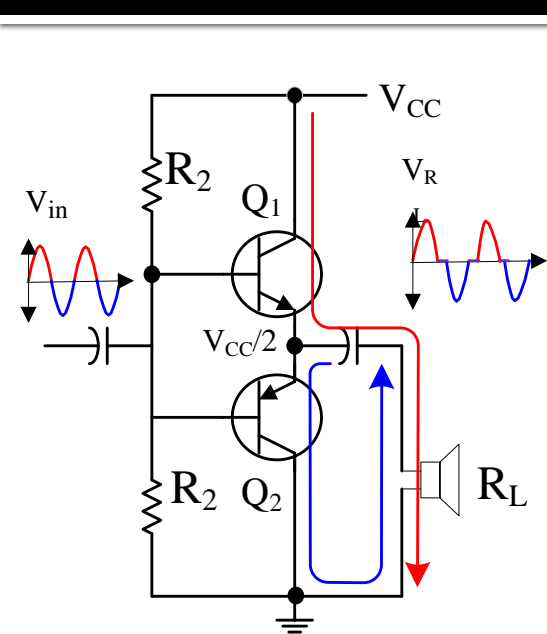
OCL Class B Power Amplifier

Output Capacitor-Less



Transformer Coupled Class B Power Amplifier

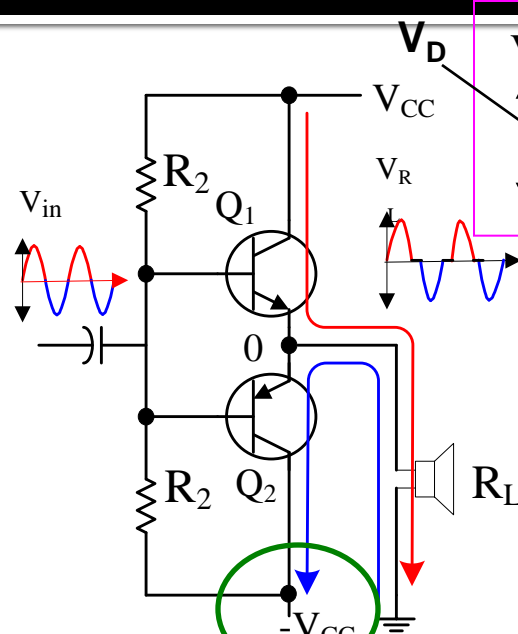
Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη B



OTL Class B Power Amplifier

Output Transformer-Less

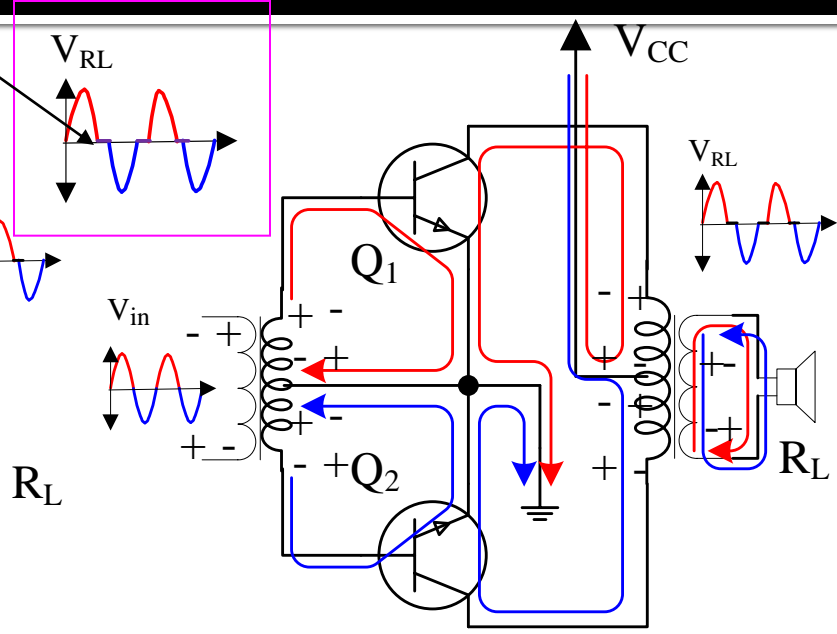
$$V_{pp}(\max) = V_{CC}$$



OCL Class B Power Amplifier

Output Capacitor-Less

$$V_{pp}(\max) = 2V_{CC}$$



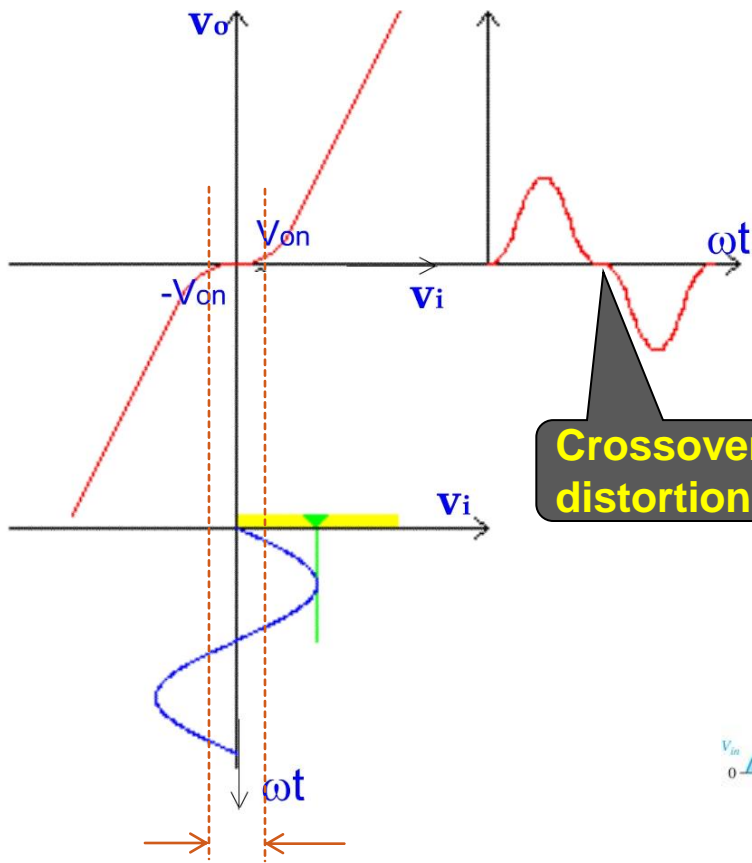
Transformer Coupled Class AB Power Amplifier

Transformer

$$V_{pp}(\max) = 2V_{CC}$$

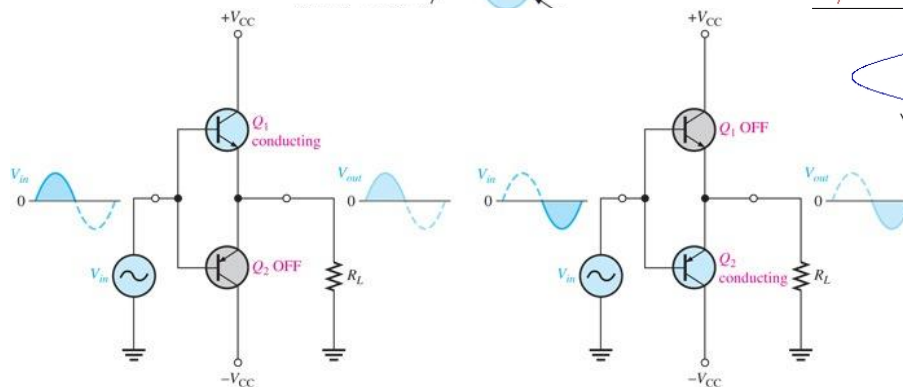
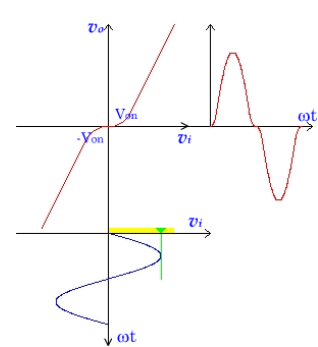
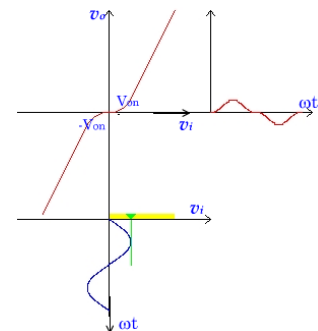
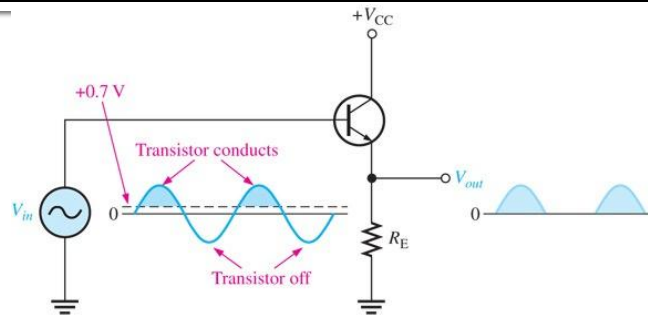
Εδώ η DC ισχύς από την V_{CC} μετατρέπεται σε AC ισχύ εξόδου επάνω στην R_L από το Q_1 στη μια (θετική) ημιπερίοδο και από το Q_2 στην άλλη (αρνητική) ημιπερίοδο.

Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη Β



Crossover distortion

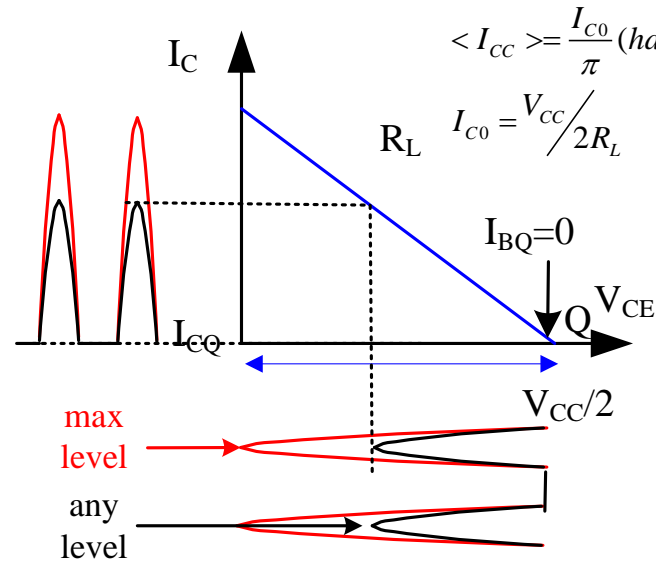
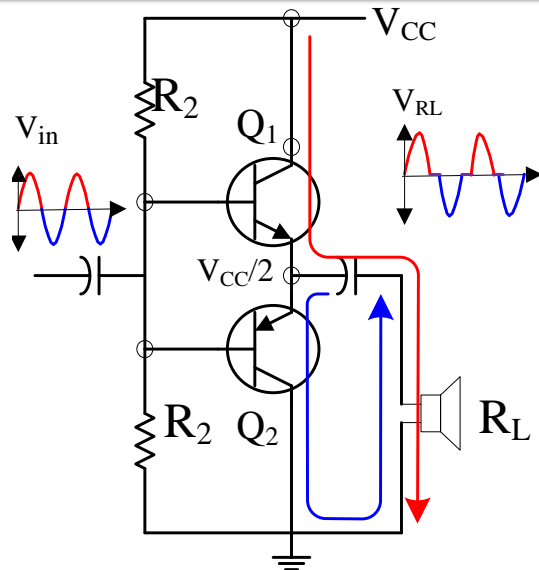
$$\sim 2V_D = 2V_{BE} = 2 \cdot 0.6V$$



(a) During a positive half-cycle

(b) During a negative half-cycle

OTL Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη Β



$$\langle I_{CC} \rangle = \frac{I_{C0}}{\pi} \text{ (half - wave)}$$

$$I_{C0} = \frac{V_{CC}}{2R_L}$$

Σημείωση:
η μέση τιμή του ρεύματος είναι συνεχώς τόση, μιας και πάντα δουλεύει ένα μόνο από τα BJTs.

Σε μέγιστο $V_o(pp)$: $V_o(pp) = V_{pp}(\max) = V_{CC}$

$$P_{ac}(\max) = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{V_{CC}^2}{8R_L}$$

$$P_{dc}(\max) = V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = V_{CC} \times \frac{V_{CC}/2R_L}{\pi} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi R_L}$$

$$\eta(\max) = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} = \frac{V_{CC}^2}{8R_L} \times \frac{2\pi R_L}{V_{CC}^2} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

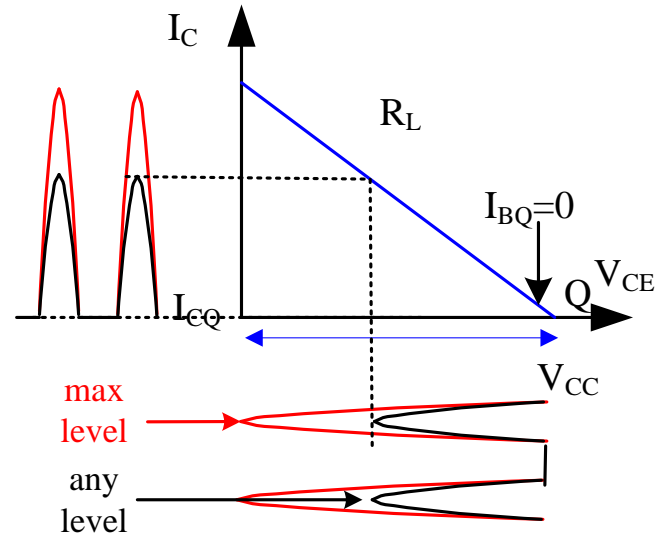
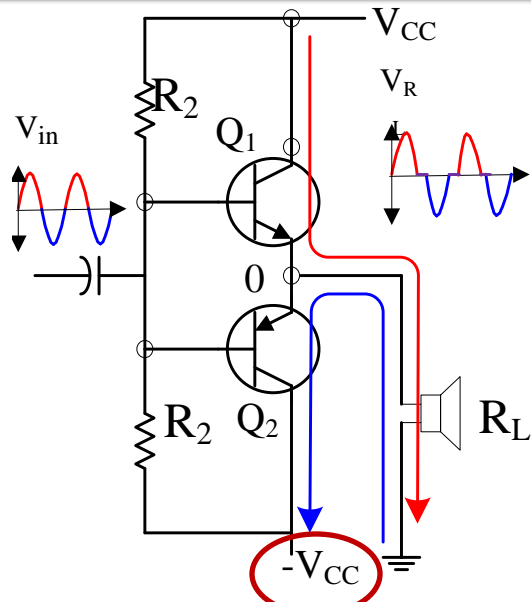
Σε οποιοδήποτε $V_o(pp) < V_{pp}(\max) \text{ level}$

$$P_{ac} = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{(V_o(pp))^2}{8R_L}$$

$$P_{dc} = V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = V_{CC} \times \frac{V_o(pp)}{2\pi R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \text{ and } P_{diss} = P_{dc} - P_{ac}$$

OCL Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη B



Σε μέγιστο $V_o(pp)$: $V_o(pp) = V_{pp}(\max) = 2V_{CC}$

$$P_{ac}(\max) = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{2V_{CC}}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

$$P_{dc}(\max) = 2V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = 2V_{CC} \times \frac{V_{CC}}{\pi R_L} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

$$\eta(\max) = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} \times \frac{\pi R_L}{2V_{CC}^2} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

Σε οποιοδήποτε $V_o(pp) < V_{pp}(\max)$ level

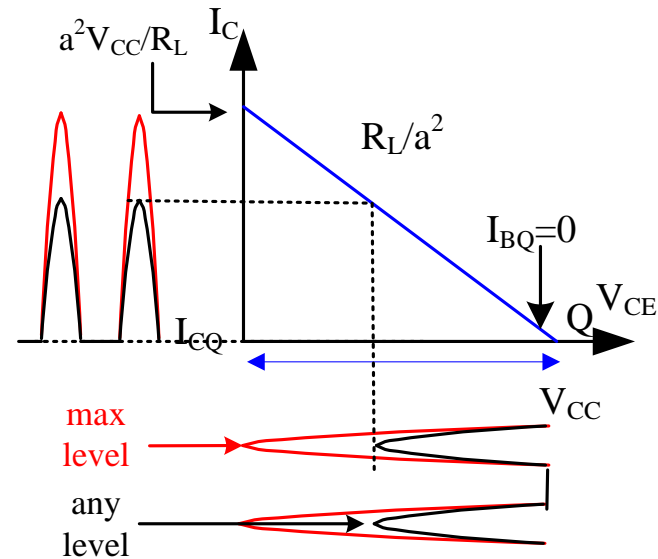
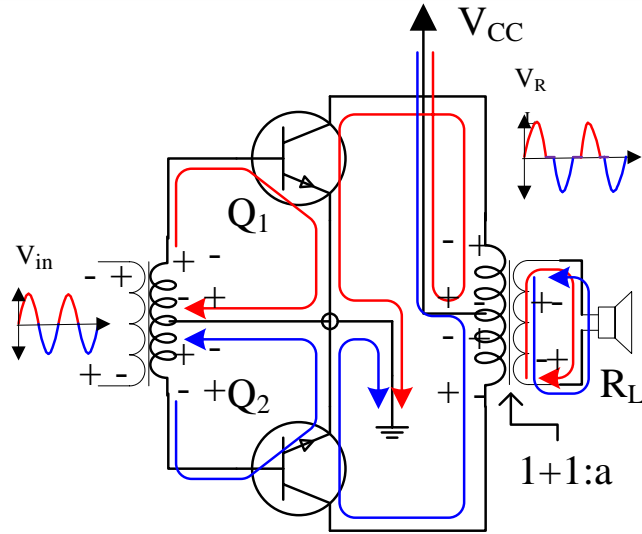
$$P_{ac} = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{(V_o(pp))^2}{8R_L}$$

$$P_{dc} = 2V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = 2V_{CC} \times \frac{V_o(pp)}{2\pi R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad \text{and} \quad P_{diss} = P_{dc} - P_{ac}$$

Διπλή Τροφοδοσία!!

Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη Β με Σύζευξη Μετασχηματιστή



Σε μέγιστο $V_o(pp)$: $V_o(pp) = V_{pp}(\max) = 2V_{CC}$

$$P_{ac}(\max) = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2 \alpha^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{2V_{CC}}{2\sqrt{2}}\right)^2 \alpha^2}{R_L} = \frac{V_{CC}^2 \alpha^2}{2R_L}$$

$$P_{dc}(\max) = V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = V_{CC} \times \frac{2V_{CC} \alpha^2}{\pi R_L} = \frac{2V_{CC}^2 \alpha^2}{\pi R_L}$$

$$\eta(\max) = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} = \frac{V_{CC}}{2n^2 R_L} \times \frac{\pi n^2 R_L}{2V_{CC}} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

Σε οποιοδήποτε $V_o(pp) < V_{pp}(\max)level$

$$P_{ac} = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2 \alpha^2}{R_L} = \frac{(V_o(pp))^2 \alpha^2}{8R_L}$$

$$P_{dc} = V_{CC} \times \langle I_{CC} \rangle = V_{CC} \times \frac{2V_o(pp) \alpha^2}{2\pi R_L} = \frac{V_{CC} V_o(pp) \alpha^2}{\pi R_L}$$

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \text{ and } P_{diss} = P_{dc} - P_{ac}$$

Πλήρες κύμα

Μέγιστη Κατανάλωση Ενισχυτών Ισχύος σε Τάξη Β

Στους ενισχυτές ισχύος σε τάξη Β, η μέγιστη κατανάλωση δε συμβαίνει τη στιγμή της μέγιστης ισχύος εξόδου. Ακολουθεί ο υπολογισμός της μέγιστης κατανάλωσης των BJT σε OTL τάξης Β ενισχυτές ισχύος.

$$(Ισχύς εξόδου σε οποιοδήποτε I_{LPX}) = $P_{OX} = \left[\frac{I_{LPX}}{\sqrt{2}} \right]^2 \times R_L$ (και τα 2 BJT)$$

$$(Είσοδος DC ισχύος σε οποιοδήποτε I_{LPX}) = $P_{CCX} = V_{CC} \times \left[\frac{I_{LPX}}{\pi} \right]$$$

$$(Κατανάλωση σε οποιοδήποτε I_{LPX}) $P_{DISSX} = P_{CCX} - P_{OX} = \frac{V_{CC} I_{LPX}}{\pi} - \frac{I_{LPX}^2 \times R_L}{2}$$$

$$\text{Όμως } P_{DISS} \text{ είναι max όταν } \frac{d}{dI_{LPX}} [P_{DISSX}] = 0$$

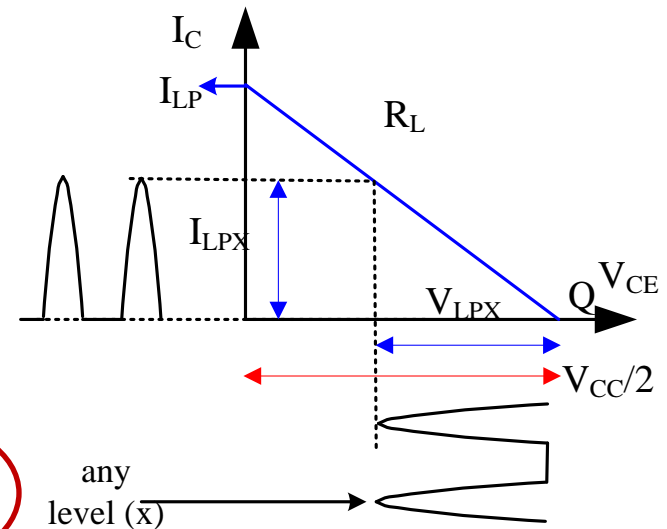
$$\text{Τότε } \frac{d}{dI_{LPX}} \left[\frac{V_{CC} I_{LPX}}{\pi} - \frac{I_{LPX}^2 \times R_L}{2} \right] = 0 \Rightarrow \frac{V_{CC}}{\pi} - \frac{2I_{LPX} R_L}{2} = 0$$

$$\text{ή } P_{DISS} \text{ είναι max όταν } I_{LPX} = \frac{V_{CC}}{\pi R_L} = \left(\frac{V_{CC}}{2R_L} \right) \times \left(\frac{2}{\pi} \right) = I_{LP} \times \frac{2}{\pi} = 0.64 I_{LP}$$

$$P_{DISS(max)} = P_{CCX} - P_{OX} = \frac{V_{CC} I_{LPX}}{\pi} - \frac{I_{LPX}^2 \times R_L}{2} \text{ αντικαθιστώντας } I_{LPX} = \frac{V_{CC}}{\pi R_L}$$

$$\Rightarrow P_{DISS(max)} = \frac{V_{CC} \left(\frac{V_{CC}}{\pi R_L} \right)}{\pi} - \frac{\left(\frac{V_{CC}}{\pi R_L} \right)^2 \times R_L}{2} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} - \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 \times 2R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi^2 R_L} = \frac{(V_{pp(max)})^2}{2\pi^2 R_L} \text{ (και τα δυο BJT)}$$

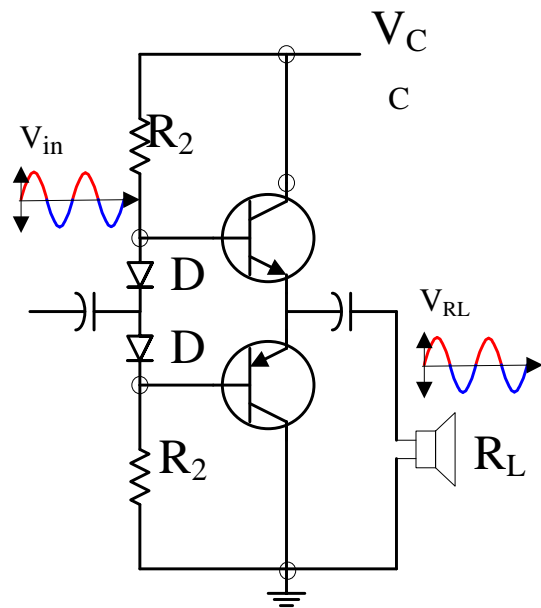
$$\langle I_{CC} \rangle = \frac{I_{LPX}}{\pi} \text{ (half-wave)}$$



Συνθήκη μέγιστης κατανάλωσης

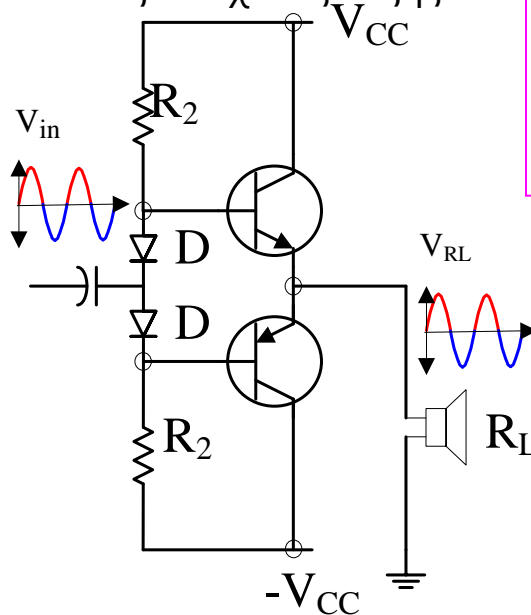
Ενισχυτές Ισχύος σε Τάξη AB

Η τάξη "AB" χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει την **παραμόρφωση διασταύρωσης** (cross-over distortion) που συμβαίνει στους ενισχυτές τάξης "B"



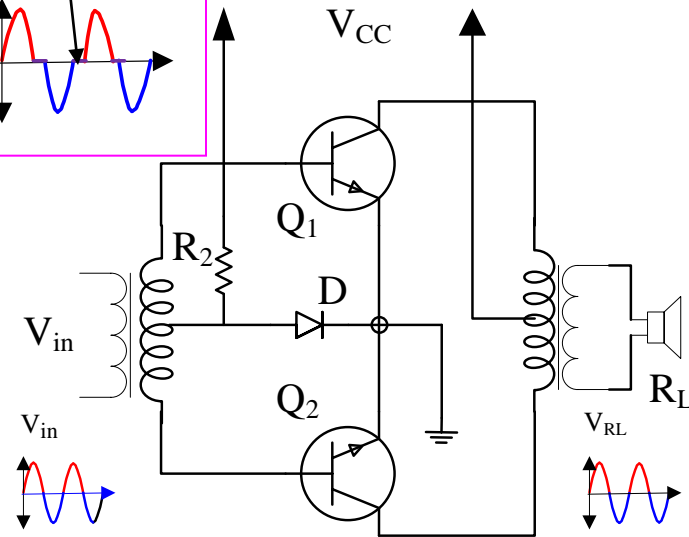
OTL Class AB Power Amplifier

Output Transformer-Less



OCL Class AB Power Amplifier

Output Capacitor-Less



Transformer Coupled Class AB Power Amplifier

Η τάξη ορθής πόλωσης των διόδων "D" (0.7V) χρησιμοποιείται για να πολώσει τις επαφές BE του κάθε BJT και λόγω του V_{BE} που εξασφαλίζει και τα δυο BJT θα έχουν ένα μικρό $I_{CQ} (\neq 0)$ για λειτουργία σε τάξη "AB".

Παράδειγμα

Σε ένα OTL ενισχυτή σε τάξη B, (a) να βρεθεί η μέγιστη κατανάλωση των BJT $P_{diss}(max)$ και η ισχύς εξόδου την ώρα της μέγιστης κατανάλωσης (b) να βρεθεί η P_{diss} των BJT (την ώρα της μέγιστης ισχύος εξόδου) και η μέγιστη ισχύς εξόδου. Έστω ότι $V_{CC}=20V$, $R_L=8\Omega$

$$(a) P_{DISS(max)} = \frac{(V_{pp}(max))^2}{2\pi^2 R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi^2 R_L} = \frac{20^2}{2\pi^2 \times 8} = 2.5W \text{ (και τα δυο BJT)} \Rightarrow \underline{\underline{1.25W \text{ (καθένα)}}}$$

ισχύς εξόδου σε μέγιστη κατανάλωση $P_{OX} = \frac{I_{LPX}^2 \times R_L}{2}$ αντικαθιστούμε $I_{LPX} = \frac{V_{CC}}{\pi R_L}$

$$\text{ή } P_{OX} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{\pi R_L}\right)^2 \times R_L}{2} = \frac{20^2}{2\pi^2 \times 8} = \underline{\underline{2.54W}}$$

(b) σε max $V_o(pp)$ level $V_o(pp) = V_{CC}$

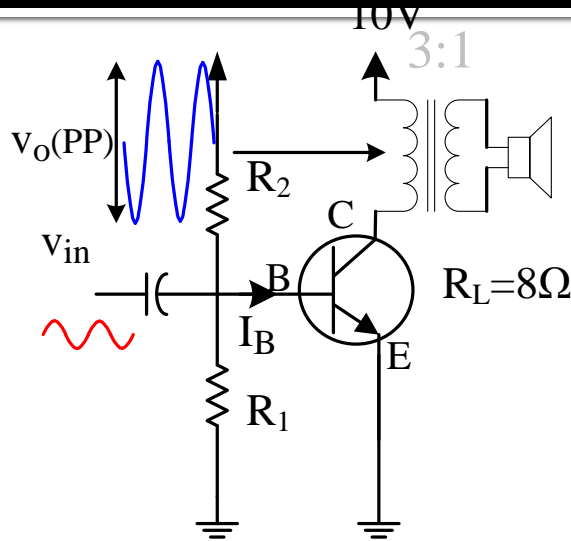
$$P_{ac}(max P_o) = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{V_{CC}^2}{8R_L} = \frac{20^2}{8 \times 8} = \underline{\underline{6.25W}}$$

$$P_{dc}(max P_o) = V_{CC} \times I_{AV} = V_{CC} \times \frac{V_{CC}/2}{\pi R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi R_L} = \frac{20^2}{2\pi \times 8} = \underline{\underline{7.96W}}$$

$$P_{diss}(max P_o) = 7.96 - 6.25 = 1.71W \Rightarrow \underline{\underline{0.855W \text{ (καθένα)}}}$$

- Αυτός ο ενισχυτής τάξης B έχει $P_{diss} = 0.885W$ μόνο! (κάθε BJT) όταν παρέχει μέγιστη ισχύ 6.25W στην έξοδο
- Όμως τα BJT έχουν μέγιστη κατανάλωση $P_{diss}(max) = 1.25W$ (το καθένα) όταν παρέχει μόνο 2.54W στην έξοδο.

Παράδειγμα



Παράδειγμα: Ενισχυτής Ισχύος τάξης Α λειτουργεί με $V_{CC}=10V$, $R_L=8\Omega$, και λόγο σπειρών μετασχηματιστή $a=1/3$. Οι μετρήσεις του V_{CE} δίνουν $V_{CE\min}=1.7V$ και $V_{CE\max}=18.3V$, και οι μετρήσεις του I_C δίνουν $I_{C\min}=25mA$ και $I_{C\max}=255mA$. Να βρεθούν (α) $V_o(pp)$, (β) $V_L(pp)$, (γ) P_{ac} , (δ) P_{dc} , και (ε) η απόδοση η υπό αυτές τις συνθήκες.

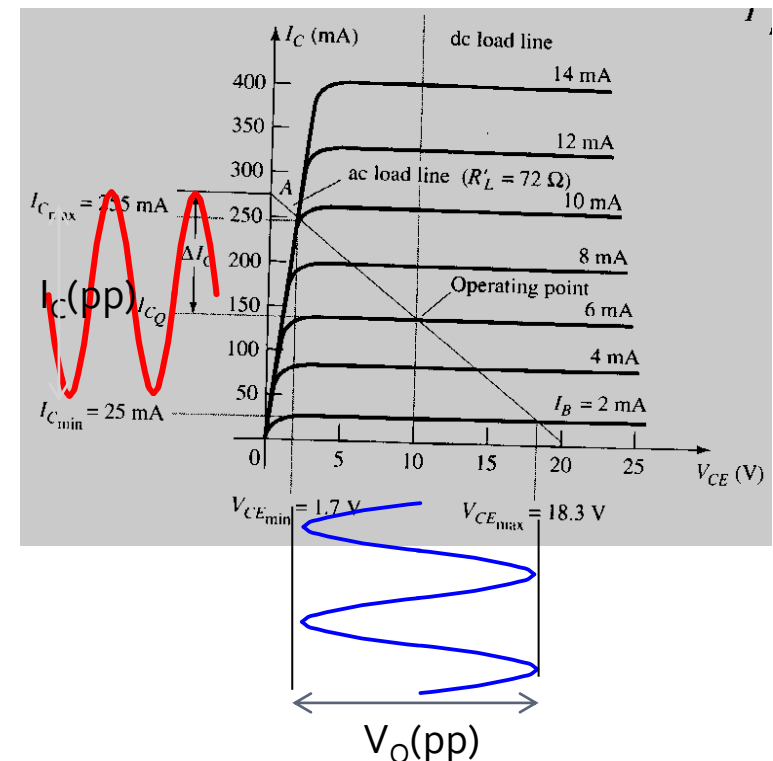
At any $V_o(pp)$ level (a) $V_o(pp) = 18.3 - 1.7 = 16.6V$

$$(b) \frac{V_L(pp)}{V_o(pp)} = \frac{1}{3} \Rightarrow V_L(pp) = \frac{16.6V}{3} = 5.53V$$

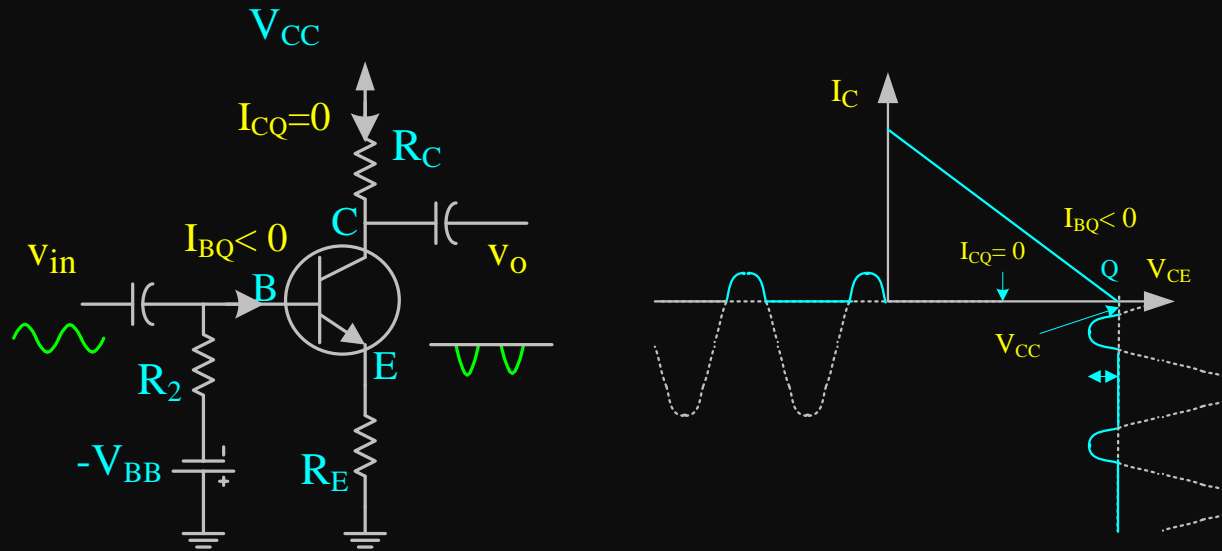
$$(c) P_{ac} = \frac{\left(\frac{V_o(pp)}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} \alpha^2 = \frac{(18.3 - 1.7)^2}{8 \times 3^2 \times 8\Omega} = \underline{\underline{0.4784W}}$$

$$(d) P_{dc} = V_{CC} \times I_{CQ} = 10 \times \left(\frac{255 - 25}{2}\right) mA = 1.15W$$

$$(e) \eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} = \frac{0.4784}{1.15} = 0.416 = 41.6\%$$



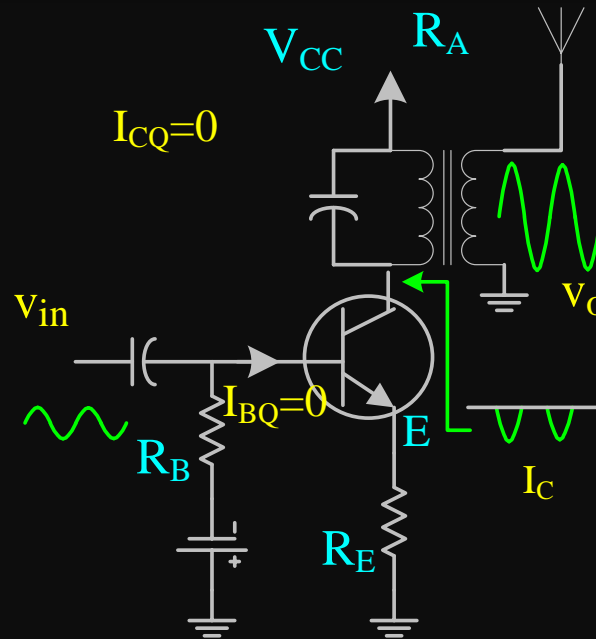
Class C operation



In Class C operation, I_C should be flowing less than half cycle ($< p$)
Q point is at below cutoff ($I_C < 0$) of the operating range. $I_{BQ} < 0$

Here R_B and $-V_{BB}$ provides required below cutoff I_{BQ} for class C operation. Q point is below the cutoff of the operating range. $I_{BQ} < 0$

Class C Power Amplifiers

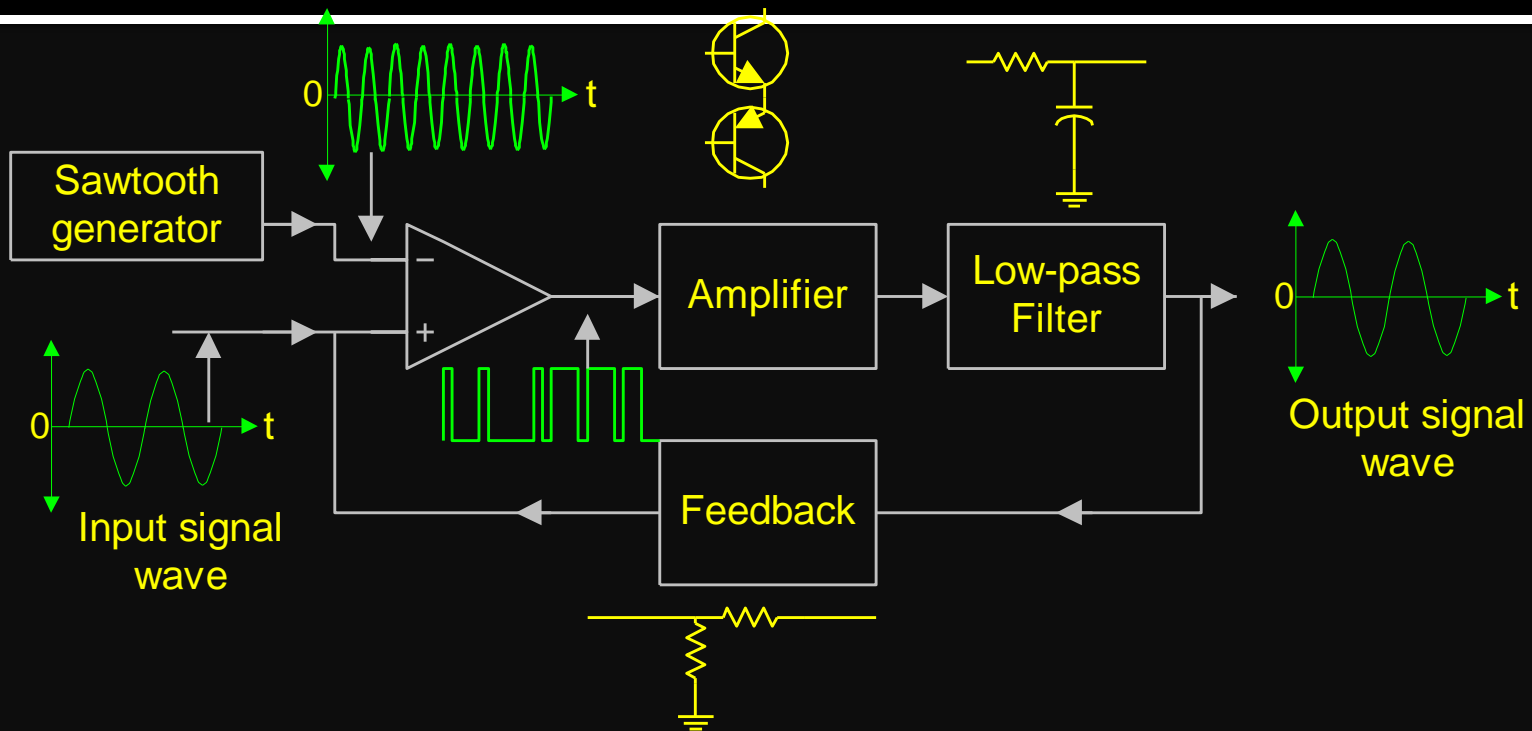


Tuned Class C RF
Power Amplifier

Radio Frequency Amplifier

Here dc power from V_{CC} is converted into ac output power in R_L

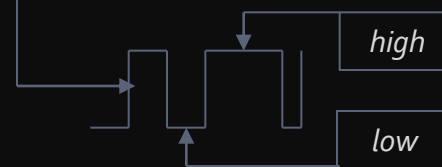
Class D Power Amplifiers



IC conducting only when digital version of the input wave is high ---- CLASS-D operation.

Efficiency is very high = over 90%

digital switching of the input wave



Παραμόρφωση

- Οι μετρήσεις παραμόρφωσης βασίζονται στη λογική του ότι **εάν στην είσοδο ενός ενισχυτή εισαχθεί ένας απλός αρμονικός τόνος** (π.χ. μια τέλεια ημιτονοειδής τάση) **στην έξοδο θα πρέπει επίσης να αναπαραχθεί ένας απλός αρμονικός τόνος.**
- **Εάν στην έξοδο αναπαραχθεί ένα άλλο σήμα, ακόμη και αν αυτό είναι περιοδικό, δηλ. σύνθετος τόνος, τότε θεωρείται ότι υπάρχει παραμόρφωση: άλλος τύπος σήματος εισέρχεται στον ενισχυτή και άλλος εξέρχεται.**
- Ενώ ο σκοπός ενός ενισχυτή είναι απλώς να παρέχει μια ενίσχυση στο πλάτος και το πολύ, αν αυτό είναι ανεκτό, μια ολίσθηση φάσης.

Παραμόρφωση

- Έχουν καθιερωθεί διάφορα μέτρα εκτίμησης του ποσού παραμόρφωσης που εισάγει ένας ενισχυτής,
 - είτε **τροφοδοτώντας τον με έναν απλό αρμονικό τόνο** (τη **θεμελιώδη συχνότητα**) και **ελέγχοντας εάν παράγονται πολλαπλάσιας συχνότητας (αρμονικές)** συνιστώσες, λαμβάνοντας υπόψη ή όχι το θόρυβο,
 - είτε **τροφοδοτώντας τον με δυο απλούς αρμονικούς τόνους** και **ελέγχοντας εάν παράγονται άλλες συχνότητες εκτός των εισαγομένων**.
- Υπάρχουν βέβαια και πιο περίπλοκες περιπτώσεις μελέτης της παραμόρφωσης, όπως μελέτη της **μεταβατικής παραμόρφωσης αλληλοδιαμόρφωσης** (ή ενδοδιαμόρφωσης) (**TIM: Transient Intermodulation Distortion**) που περιγράφει κυρίως την παραμόρφωση λόγω πεπερασμένου ρυθμού ανόδου (slew rate) που εμφανίζεται για σήματα μεγάλου πλάτους και έντονα υψίσυχνου περιεχομένου (γρήγορης μεταβολής μεγάλου πλάτους), που δε θα μας απασχολήσει ξεχωριστά εδώ.

Παραμόρφωση - Ορισμοί

- F είναι η RMS τιμή πλάτους της θεμελιώδους συχνότητας
- K είναι η μέγιστη αρμονική που λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της παραμόρφωσης $K > 2$
- H_i είναι η RMS τιμή πλάτους της i -οστής αρμονικής ($i = 2, 3, \dots, K$)
- N είναι η RMS τιμή του θορύβου

- **Με βάση αυτές ορίζονται:**
- η συνολική στάθμη αρμονικών ως:

$$\sqrt{\sum P_{Harmonics}} = \sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_K^2}$$

- η συνολική στάθμη αρμονικών συν θόρυβο ως:

$$\sqrt{\sum P_{Harmonics} + P_{Noise}} = \sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_K^2 + N^2}$$

- η συνολική στάθμη του σήματος εξόδου ως:

$$\sqrt{\sum P_{Total}} = \sqrt{F^2 + H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_K^2 + N^2}$$

Παραμόρφωση – THD

- Ολική αρμονική παραμόρφωση (THD: Total Harmonic Distortion)

$$THD = \frac{\sqrt{\sum P_{Harmonics}}}{F}$$

$$THD_{\%} = THD \cdot 100\%$$

$$THD_{dB} = 20 \log THD$$

- Ο σωστός τρόπος να τη δηλώσουμε είναι δηλώνοντας παράλληλα:
 - τη συχνότητα της θεμελιώδους συχνότητας ή τη συχνοτική περιοχή μελέτης
 - τη στάθμη της θεμελιώδους συχνότητας
 - τη μέγιστη αρμονική που λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της παραμόρφωσης
 - τις συνθήκες ενίσχυσης του ενισχυτή
- π.χ. “ (5th-order) less than 0.01% (or -80dB), +4 dBu, 20-20 kHz, unity gain”

Παραμόρφωση – THD+N

- Ολική αρμονική παραμόρφωση συν θόρυβος (THD+N)

$$THD + N = \frac{\sqrt{\sum P_{Harmonics} + P_{Noise}}}{F}$$

- Καμιά φορά ορίζεται διαφορετικά (που υποεκτιμά το ποσό παραμόρφωσης συν θόρυβο) ως:

$$THD + N = \frac{\sqrt{\sum P_{Harmonics} + P_{Noise}}}{\sqrt{\sum P_{Total}}}$$

- Ο σωστός τρόπος να τη δηλώσουμε είναι δηλώνοντας παράλληλα τις συνθήκες μέτρησης, π.χ. “ less than 0.01% (or -80dB), +4 dBu, 20-20 kHz, unity gain, 20 kHz BW”

Παραμόρφωση – SINAD

- Σήμα εντός θορύβου και παραμόρφωσης (Signal in Noise and Distortion (SINAD))

$$SINAD = \frac{\sqrt{\sum P_{Total}}}{\sqrt{\sum P_{Harmonics} + P_{Noise}}}$$

- Ο σωστός τρόπος να τη δηλώσουμε είναι δηλώνοντας παράλληλα τις συνθήκες μέτρησης, π.χ. “ more than 73.4dB, +4 dBu, 20-20 kHz, unity gain, 20 kHz BW”

Παραμόρφωση – IMD

- Παραμόρφωση αλληλοδιαμόρφωσης (Intermodulation Distortion (IMD))
- Η παραμόρφωση αλληλοδιαμόρφωσης (πολύ συχνά μεταφραζόμενη ως παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης) είναι μέτρο της παραμόρφωσης λόγω μη-γραμμικότητας του ενισχυτή.
- Διαφέρει από τα προηγούμενα μέτρα παραμόρφωσης → δε χρησιμοποιεί σα σήμα διέγερσης ένα απλό αρμονικό τόνο αλλά **δυο** f_1 και f_2 .
- Εάν στην έξοδο ανιχνεύονται αθροίσματα και διαφορές τους και των αρμονικών τους, δηλαδή σε συχνότητες $f = m \cdot f_2 \pm n f_1$, όπου m, n ακέραιοι έχουμε παραμόρφωση αλληλοδιαμόρφωσης.
- Δυο είναι οι τύποι μέτρησης που αναδεικνύει την παραμόρφωση αλληλοδιαμόρφωσης:
 - ο πρώτος ακολουθεί τα στάνταρ SMPTE/DIN, χρησιμοποιείται συνήθως για να ελέγξει μηχανισμούς παραμόρφωσης χαμηλών συχνοτήτων, όπως θερμική παραμόρφωση σε ενισχυτές ισχύος,
 - ο δε δεύτερος ακολουθεί το στάνταρ ITU-R, χρησιμοποιείται συνήθως για να ελέγξει παραμόρφωσης κλίσης (της χαρακτηριστικής μεταφοράς εισόδου-εξόδου), όπως για παράδειγμα σε ADC & DAC.

Παραμόρφωση – IMD

- **IMD (SMPTE)**
- Χρησιμοποιείται ένας υψίσυχνος φέρων τόνος f_2 ο οποίος διαμορφώνεται από ένα χαμηλόσυχο τόνο f_1 (οι δυο τόνοι δεν πρέπει να έχουν αρμονική σχέση), ανιχνεύονται δε προϊόντα αλληλοδιαμόρφωσης της μορφής $f = f_2 \pm nf_1$.
- Η αναλογία πλατών των δυο αθροιζόμενων τόνων διέγερσης είναι συνήθως 4:1. Οι τόνοι που χρησιμοποιούνται κατά SMPTE είναι $f_2 = 7kHz$ και $f_1 = 60Hz$, ενώ κατά DIN είναι $f_2 = 8kHz$ και $f_1 = 250Hz$, αντίστοιχα.
- Το αποτέλεσμα:
 - είτε φαίνεται στην οθόνη ενός αναλυτή συχνότητας, σαν πλευρικοί λοβοί γύρω από τον υψίσυχο τόνο
 - είτε εκφράζεται αριθμητικά μετά την RMS άθροιση των προϊόντων διαμόρφωσης (όπως με τις αρμονικές στην περίπτωση του υπολογισμού του THD) και του υπολογισμού τους σαν ποσοστό %, ή σε στάθμη dB σε σχέση με το την RMS τιμή του πλάτους του υψίσυχνου τόνου
- Ο σωστός τρόπος να δηλώσουμε την είναι δηλώνοντας παράλληλα:
 - τις συχνότητες των δυο τόνων διέγερσης
 - την αναλογία πλατών τους και τη στάθμη του χαμηλόσυχου τόνου
- π.χ. " less than 0.01%, 60Hz/7kHz, 4:1, +4 dBu"

Παραμόρφωση – IMD

- **IMD (ITU-R)**

- Στη μέθοδο αυτή ως διέγερση χρησιμοποιούνται δυο τόνοι στην άνω περιοχή του φάσματος διέλευσης του ενισχυτή με μικρή διαφορά συχνότητας μεταξύ τους (συνήθως 1kHz), οπότε μιας και τα προϊόντα αλληλοδιαμόρφωσής τους που προκύπτουν από το άθροισμά τους βγαίνουν πάνω από το φάσμα διέλευσης, ανιχνεύονται προϊόντα αλληλοδιαμόρφωσης της μορφής:

$$f = k \cdot (f_2 - f_1)$$

(προϊόντα αλληλοδιαμόρφωσης 2^{ης} τάξης)

- αλλά και λόγω των αρμονικών των τόνων διέγερσης που εμφανίζονται λόγω αρμονικής παραμόρφωσης ανιχνεύονται και ανώτερης τάξης προϊόντα αλληλοδιαμόρφωσης της μορφής:

3 ^{ης} τάξης	$f = k \cdot (2f_2 - f_1)$	$f = k \cdot (2f_1 - f_2)$
4 ^{ης} τάξης	$f = k \cdot (2f_2 - 2f_1)$	$f = k \cdot (2f_1 - 2f_2)$
5 ^{ης} τάξης	$f = k \cdot (3f_2 - 2f_1)$	$f = k \cdot (3f_1 - 2f_2)$

κ.λπ.

Παραμόρφωση – IMD

- **IMD (ITU-R)**
- Η αναλογία πλατών των δυο αθροιζόμενων τόνων διέγερσης είναι συνήθως 1:1. Οι τόνοι που χρησιμοποιούνται κατά ITU-R είναι: $f_2 = 12\text{kHz}$ και $f_1 = 11\text{kHz}$, $f_2 = 15\text{kHz}$ και $f_1 = 14\text{kHz}$, $f_2 = 20\text{kHz}$ και $f_1 = 19\text{kHz}$, ενώ χρησιμοποιούνται και άλλοι συνδυασμοί όπως: $f_2 = 4\text{kHz}$ και $f_1 = 3\text{kHz}$, $f_2 = 8\text{kHz}$ και $f_1 = 6\text{kHz}$, $f_2 = 16\text{kHz}$ και $f_1 = 12\text{kHz}$
- Τα αποτελέσματα, όπως και στην περίπτωση του *IMD(SMPTE)*, δίνονται είτε γραφικά με φασματική ανάλυση, είτε αριθμητικά με τη λογική που συζητήθηκε πιο πάνω
- π.χ. “ less than 0.01%, 19 kHz/20kHz, 1:1, +4 dBu”