

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

# ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΣΤΙΣ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

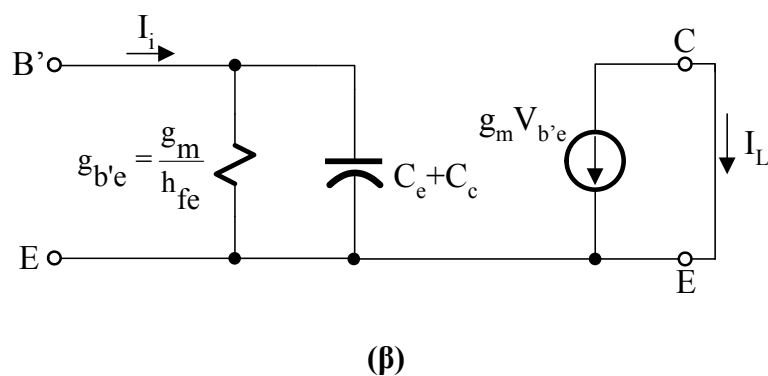
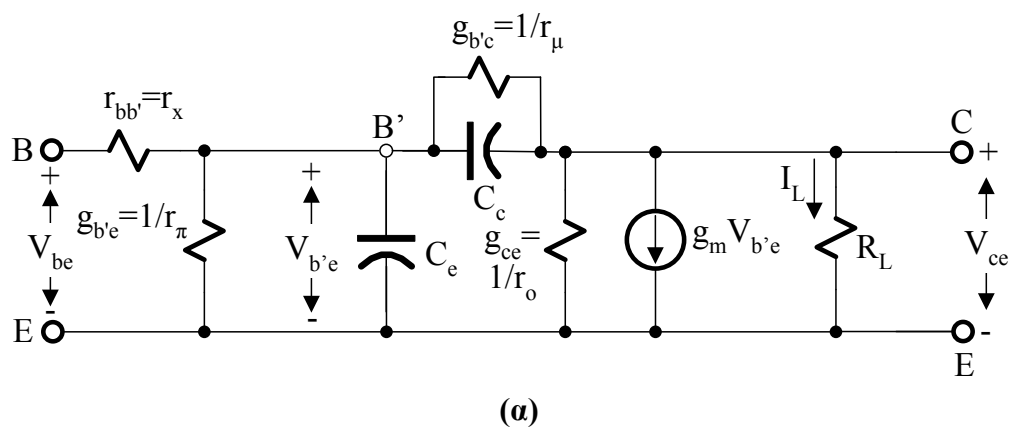
### 5.1 Εισαγωγή

#### 5.1.1 Απόκριση βαθμίδας με διπολικά τρανζίστορ

Η απόκριση στις χαμηλές συχνότητες μιας βαθμίδας με διπολικά τρανζίστορ καθορίζεται από τους εξωτερικούς πυκνωτές που χρησιμοποιούνται για σύζευξη και για παράκαμψη. Η απόκριση όμως στις υψηλές συχνότητες καθορίζεται από τις εσωτερικές χωρητικότητες του τρανζίστορ καθώς και από τις παρασιτικές χωρητικότητες του κυκλώματος.

Το ισοδύναμο κύκλωμα υβριδικού-π ενός διπολικού τρανζίστορ φαίνεται στο Σχ. 5.1(α) και από το Σχ. 5.1(β) βρίσκουμε ότι το βραχυκυκλωμένο κέρδος ρεύματος κοινού εκπομπού (ΚΕ) έχει συχνότητα 3 dB ίση με:

$$f_{\beta} = \frac{g_{b'e}}{2 \cdot \pi \cdot (C_e + C_c)} = \frac{g_m / h_{fe}}{2 \cdot \pi \cdot (C_e + C_c)} \approx \frac{g_m / h_{fe}}{2 \cdot \pi \cdot C_e} \quad (\text{επειδή συνήθως } C_e \gg C_c)$$

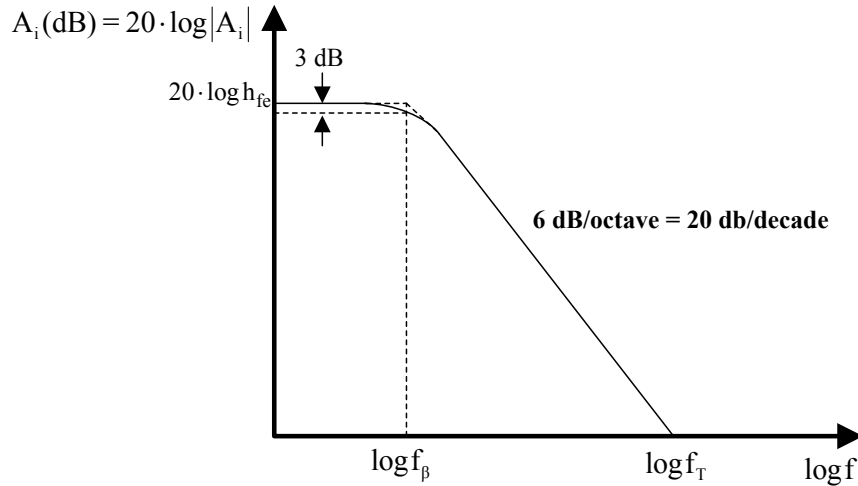


**Σχ. 5.1(α)** Το ισοδύναμο κύκλωμα υβριδικού-π υψηλών συχνοτήτων ενός διπολικού τρανζίστορ και **(β)** Υπολογισμός της συχνότητας  $f_\beta$ .

Το άνω όριο συχνότητας ενός διπολικού τρανζίστορ ορίζεται συχνά από την παράμετρο  $f_T$  η οποία είναι η συχνότητα στην οποία το βραχυκυκλωμένο κέρδος ρεύματος ΚΕ είναι ίσο με τη μονάδα και δίνεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$f_T \approx h_{fe} \cdot f_\beta$$

Η σχέση μεταξύ  $f_\beta$  και  $f_T$  φαίνεται στο Σχ. 5.2.

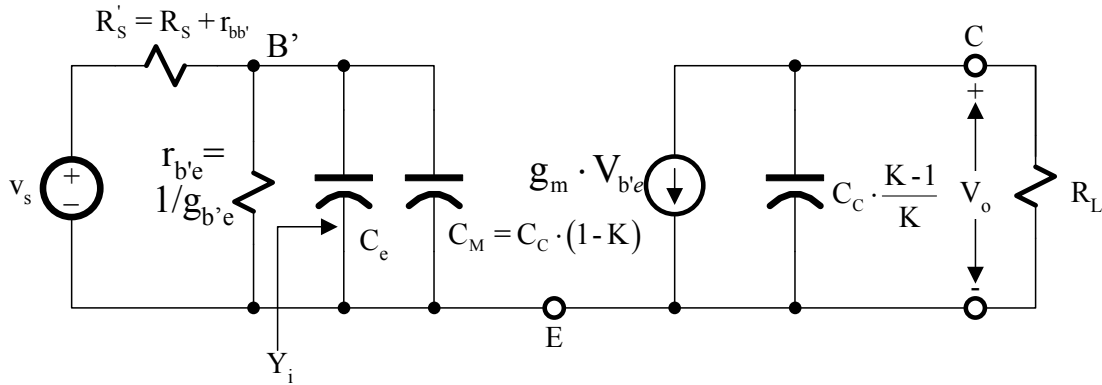


**Σχ. 5.2**

Εξαιτίας της ανάδρασης που παρέχει η χωρητικότητα  $C_c$  στο κύκλωμα του Σχ. 5.1(α), εφαρμόζοντας το θεώρημα Miller, βρίσκουμε ότι μεταξύ βάσης και εκπομπού παρουσιάζεται η χωρητικότητα,  $C_M$ , (χωρητικότητα Miller) που υπολογίζεται ως εξής:

$$C_M = C_c \cdot (1 - K) = C_c \cdot (1 + g_m \cdot R_L) \quad (\text{επειδή } K = -g_m \cdot R_L)$$

Το ισοδύναμο κύκλωμα που προκύπτει για το κύκλωμα του Σχ. 5.1(α), όπου φαίνεται η χωρητικότητα Miller, παρουσιάζεται στο Σχ. 5.3.



**Σχ. 5.3** Ισοδύναμο κύκλωμα ενισχυτή ΚΕ όπου φαίνεται η χωρητικότητα Miller.

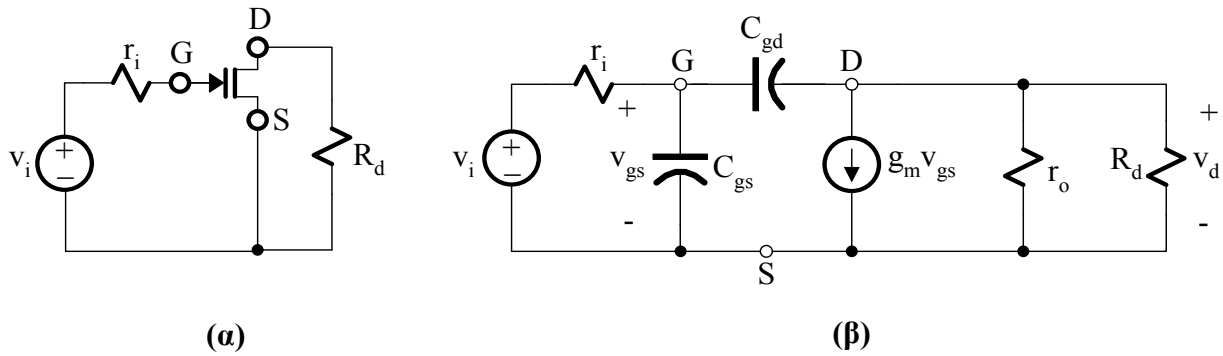
Η υψηλή συχνότητα 3 dB,  $f_H$ , για το κέρδος τάσης στο κύκλωμα του Σχ. 6.3 δίνεται από τη σχέση:

$$f_H = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

όπου  $R = (R_S + r_{bb'}) \parallel r_{b'e}$  και  $C = C_e + C_c \cdot (1 + g_m \cdot R_L)$ .

### 5.1.2 Απόκριση βαθμίδας με FET

Η βαθμίδα με FET του Σχ. 5.4(α) μπορεί να παρασταθεί στις υψηλές συχνότητες από το υβριδικό-π ισοδύναμο κύκλωμα που φαίνεται στο Σχ. 5.4(β).

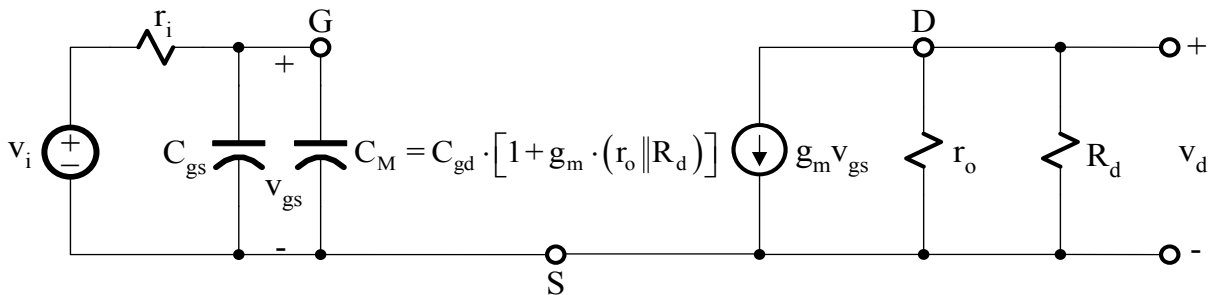


Σχ. 5.4 Το ισοδύναμο κύκλωμα του FET στις υψηλές συχνότητες.

Η ανάλυση αυτής της βαθμίδας είναι παρόμοια με αυτή για τη βαθμίδα με διπολικό τρανζίστορ. Το ισοδύναμο κύκλωμα που προκύπτει όταν εφαρμόσουμε το θεώρημα του Miller στο κύκλωμα του Σχ. 5.4(β) φαίνεται στο Σχ. 5.5. Η συχνότητα 3 dB στην οποία το κέρδος τάσεως πέφτει στην τιμή  $0.707 \cdot A_0$  είναι:

$$f_H = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot (C_{gs} + C_M)}$$

όπου  $C_M = C_{gd} \cdot [1 + g_m \cdot (r_o \parallel R_d)]$  είναι η χωρητικότητα Miller και  $r_i$  είναι η εσωτερική αντίσταση της πηγής  $v_i$  που οδηγεί τη βαθμίδα FET.



Σχ. 5.5

## 5.2 Προεργασία

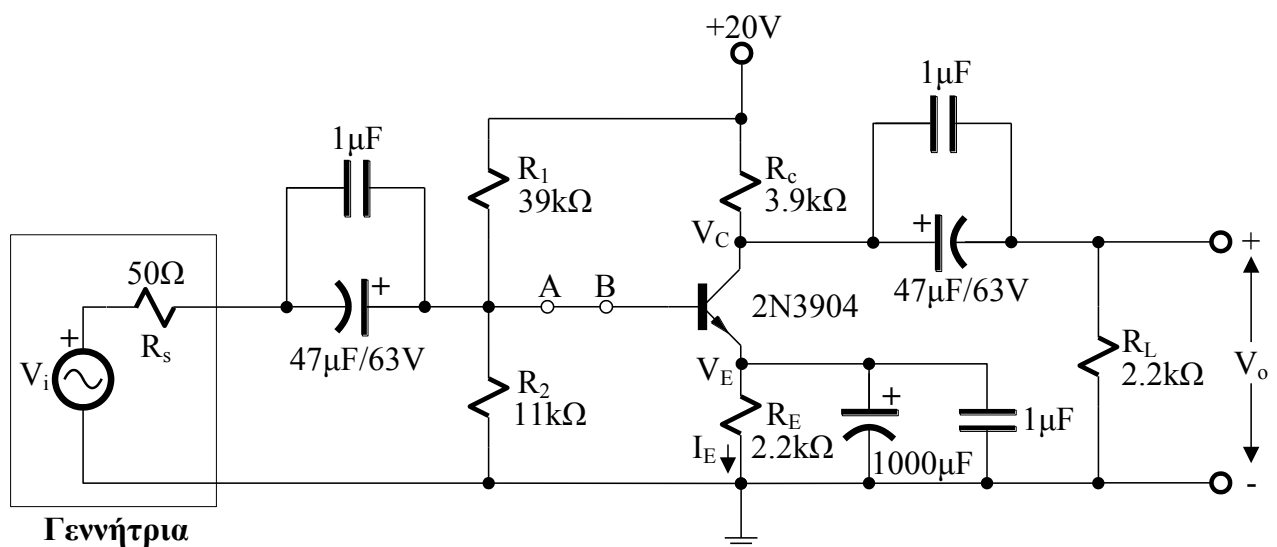
Για τη βαθμίδα ΚΕ του Σχ. 5.6(α), θεωρώντας ότι το τρανζίστορ 2N3904 έχει  $\beta \approx 130 = h_{fe}$  και  $V_{BE} = 0.65V$ , να υπολογιστούν:

- οι DC τάσεις  $V_B$ ,  $V_E$  και  $V_C$  καθώς και το DC ρεύμα  $I_E \approx I_C$ ,
- οι παράμετροι  $g_m$ ,  $g_{b'e}$  και  $r_{bb'}$  θεωρώντας ότι  $h_{ie} = 2.5k\Omega$ ,
- το κέρδος τάσης στις μεσαίες συχνότητες,  $A_o$ ,
- η υψηλή συχνότητα 3dB,  $f_H$ , της βαθμίδας θεωρώντας ότι για το τρανζίστορ 2N3904 είναι  $C_e = 8pF$  και  $C_c = 4pF$ . Η επίδραση των  $g_{b'e}$  και  $g_{ce}$  να θεωρηθεί αμελητέα.
- Να σχεδιαστεί το διάγραμμα Bode για το κέρδος τάσης  $A_v = V_o/V_i$  για τις μεσαίες και υψηλές συχνότητες.

## 5.3 Πειραματική διαδικασία

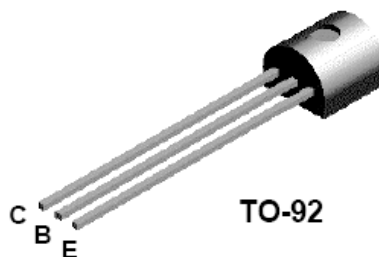
Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 5.6(α), χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ 2N3904 [Σχ. 5.6(β)].

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής πρέπει να συνδέεται πάντα με τον ακροδέκτη + στη θετική τάση και τον ακροδέκτη – στην αρνητική τάση. Αντίστροφη σύνδεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη του πυκνωτή.



(α)

## 2N3904



(β)

Σχ. 5.6

- (α) Με τάση εισόδου  $v_i=0$ , να μετρηθούν με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt] οι τάσεις  $V_B$ ,  $V_E$  και  $V_C$  ως προς τη γείωση. Στη συνέχεια να υπολογιστεί το DC ρεύμα του εκπομπού:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \approx I_C.$$

### Στην τελική αναφορά:

Να συγκριθούν οι πειραματικές με τις θεωρητικές τιμές και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

- (β) Να αντικατασταθεί το βραχυκύκλωμα μεταξύ των σημείων A και B με μια αντίσταση  $10k\Omega$ . Η συχνότητα του ημιτονοειδούς σήματος εισόδου,  $v_i$ , να τεθεί ίση με 5 kHz. Παρατηρώντας με τον παλμογράφο την διαφορική τάση μεταξύ των σημείων A και B, να αυξηθεί προοδευτικά το πλάτος της τάσης εισόδου,  $v_i$ , μέχρι η διαφορική τάση μεταξύ των σημείων A και B να γίνει ίση με 100 mV peak-to-peak. Με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να μετρηθούν peak-to-peak οι τάσεις  $V_B$  στην είσοδο και  $V_o$  στην έξοδο του τρανζίστορ. Από τις μετρήσεις αυτές να υπολογιστούν οι παρακάτω παράμετροι:

$$h_{ie} = \frac{V_B}{100\text{mV}} \cdot (10k) \text{ και } h_{fe} = \frac{V_o}{(R_L \parallel R_C)} \cdot \frac{10k}{(100\text{mV})}$$

### Στην τελική αναφορά:

Χρησιμοποιώντας την πειραματική τιμή της  $h_{ie}$ , να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων  $g_m$ ,  $g_{b'e}$  και  $r_{bb'} = h_{ie} - r_{b'e}$ . Να συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις τιμές που έχουν υπολογιστεί στο μέρος 5.2(ii) και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

- (γ) Να αντικατασταθεί η αντίσταση  $10k\Omega$  μεταξύ των σημείων A και B με βραχυκύκλωμα. Στη συνέχεια να τεθεί η συχνότητα της τάσης εισόδου,  $V_i$ , ίση με 5 kHz και να ρυθμιστεί το πλάτος της έτσι ώστε η τάση εξόδου να έχει τη μέγιστη τιμή χωρίς ψαλίδιση ή παραμόρφωση. Να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εισόδου και της τάσης εξόδου. Να διατηρηθεί το πλάτος της τάσης εισόδου σταθερό και μεταβάλλοντας τη συχνότητα της να μετρηθεί το κέρδος τάσης του ενισχυτή σε όλες τις συχνότητες που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

f	5 KHZ	10	20	50	100	200	300	500	700	1MH Z	1.5	2	3	5	10
$A_v$															

Ποια είναι η τιμή του κέρδους  $A_v=A_o$ ; Να μετρηθεί και να καταγραφεί η συχνότητα όπου  $A_v = 0.707 \cdot A_o$ . Αυτή είναι η συχνότητα  $f_H$  της βαθμίδας.

#### Στην τελική αναφορά:

- (δ) Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του παραπάνω πίνακα, να σχεδιαστεί το διάγραμμα της απόκρισης της βαθμίδας,  $A_v|_{dB}$  vs  $f$ , να συγκριθεί με το αντίστοιχο θεωρητικό και να δειχθεί επάνω στο διάγραμμα η συχνότητα  $f_H$ . Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της  $f_H$  με την τιμή που έχει υπολογιστεί στο μέρος 5.2(iv) και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές. Να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον προσομοιωτή QUCS.

## Απαιτούμενα Υλικά

### ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

1 x  $39k\Omega$ , 1 x  $10k\Omega$ , 1 x  $11k\Omega$ , 1 x  $3.9k\Omega$ , 2 x  $2.2k\Omega$

### ΠΥΚΝΩΤΕΣ

3 x  $1\mu F$ , 2 x  $47\mu F/63V$  (ηλεκτρολυτικός), 1 x  $1000\mu F$  (ηλεκτρολυτικός)

### ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

1 x 2N3904