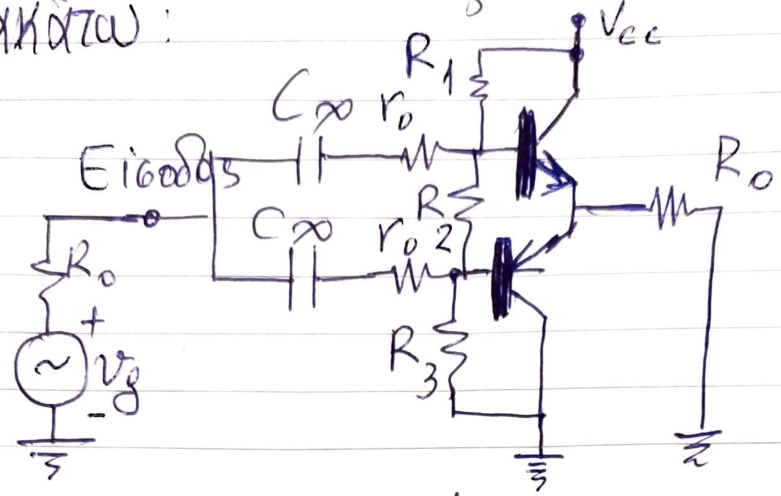
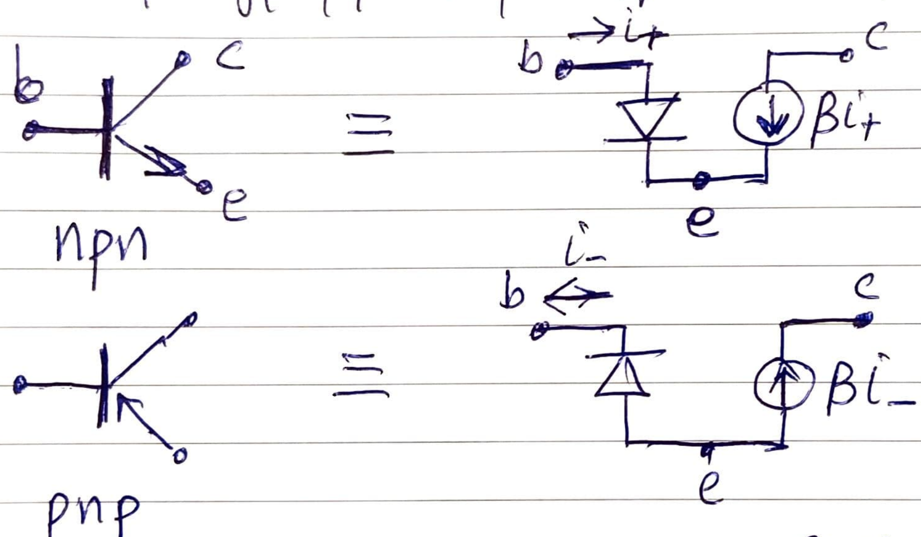
αρχή ότι όταν η τάση εισόδου είναι

2) Να εφαρμοστεί η μη-γραμμική ανάλυση ισορροπίας αρμονικών στην διάταξη ενίσχυσης που δίνεται παρακάτω:

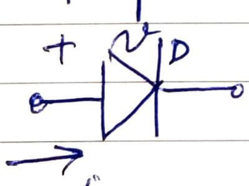



$R_0 = 50\Omega$

Τα μη-γραμμικά μοντέλα των τρανζίστορ είναι




$\beta = 100$




$$\equiv \quad i_D = I_0\left(e^{\eta v_D} - 1\right)$$

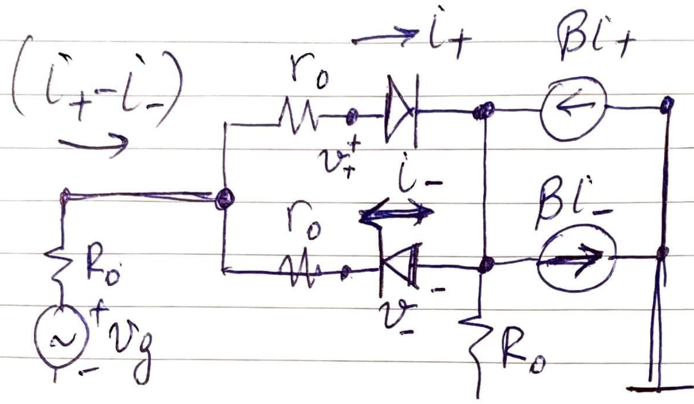
$$\eta = 0.5 \;,\; I_0 = 10^{-3} A$$

$$v_D = \frac{1}{\eta}\ln(i_D/I_0 + 1)$$

Θεωρούμε τις αντιστάσεις $R_1, R_2, R_3$ πολύ μεγάλες

Η λειτουργία του ενισχυτή βασίζεται στην αρχή ότι όταν η τάση εισόδου είναι στον θετικό κύκλο ενισχύει το τρανζίστορ npn ενώ αντίθετα το pnp στον αρνητικό κύκλο.

Θεωρούμε για τις συχνότητες λειτουργίας ότι οι πυκνωτές $C_\infty$ έχουν αρκετά μεγάλη τιμή οπότε είναι βραχυκυκλωμένοι.
Με τα δεδομένα αυτά έχουμε το κύκλωμα




Γράφουμε τις δύο εξισώσεις

$$v_g = R_0(i_+ - i_-) + r_0 i_+ + \frac{1}{\eta}\ln\left(\frac{i_+}{I_0}+1\right) + R_0(\beta+1)(i_+ - i_-) \quad (1)$$

$$v_g = R_0(i_+ - i_-) - r_0 i_- - \frac{1}{\eta}\ln\left(\frac{i_-}{I_0}+1\right) + R_0(\beta+1)(i_+ - i_-) \quad (2)$$

και στον κλειστό βρόχο

$$r_0 i_+ + \frac{1}{\eta}\ln\left(\frac{i_+}{I_0}+1\right) + \frac{1}{\eta}\ln\left(\frac{i_-}{I_0}+1\right) + r_0 i_- = 0 \quad (3)$$

Θεωρούμε δεδομένο $v_g = V_0 \cos(\omega t)$

αναπτύσσουμε τα ρεύματα $i_+, i_-$ σε σειρές Fourier

$$i_+(t) = A_{+1}\cos(\omega t+\varphi_{+1}) + A_{+2}\cos(2\omega t+\varphi_{+2}) + \dots$$

$$i_-(t) = A_{-1}\cos(\omega t+\varphi_{-1}) + A_{-2}\cos(2\omega t+\varphi_{-2}) + \dots$$

Αθροίζουμε τις εξ. (1)+(2):

$$v_g = \overbrace{(R_0(\beta+2)+r_0)}^{R}(i_+-i_-)+\frac{1}{\eta}\ln\left(\frac{i_++I_0}{i_-+I_0}\right) \quad (4)$$

$$r_0(i_++i_-)+\frac{1}{\eta}\ln\left(\left(\frac{i_+}{I_0}+1\right)\cdot\left(\frac{i_-}{I_0}+1\right)\right)=0 \quad (5)$$

$$i_+(t)=\sum_{n=1}^{N} A_{+n}\cos(n\omega t+\varphi_{+n}) \quad (6)$$

$$i_-(t)=\sum_{n=1}^{N} A_{-n}\cos(n\omega t+\varphi_{-n}) \quad (7)$$

Αντικαθιστούμε τις εξ (6)+(7) στις (4) και (5) και πολλαπλασιάζοντας με $\cos(m\omega t)$, $\sin(m\omega t)$:

$$\delta_{m0} = \begin{cases} 0 \text{ при } m \neq 1 \\ 1 \text{ при } m = 1 \end{cases}$$

$$\delta_{m1} V_0 \frac{1}{2} = R \frac{1}{2} \left( A_{+m} \cos(\varphi_{+m}) - A_{-m} \cos(\varphi_{-m}) \right)$$
$$+ \int_0^T dt \cos(m\omega t) \frac{1}{\eta} \ln \left( \frac{\sum_{n=1}^{N} A_{+n} \cos(n\omega t + \varphi_{+n}) + I_0}{\sum_{n=1}^{\infty} A_{-n} \cos(n\omega t + \varphi_{n}) + I_0} \right)$$

(A)

$$0 = r_0 \left( A_{+m} \cos(\varphi_{+m}) + A_{-m} \cos(\varphi_{-m}) \right)$$
$$+ \int_0^T dt \cos(m\omega t) \frac{1}{\eta} \ln \left( \left( \sum_{n=1}^{N} A_{+n} \cos(m\omega t + \varphi_{+n}) / I_0 + 1 \right) \left( \sum_{n=1}^{N} A_{+n} \cos(m\omega t + \varphi_{-n}) / I_0 + 1 \right) \right)$$

(B)

$\Gamma_1 \alpha \sin(m\omega t)$

$$0 = R \frac{1}{2} \left( A_{+m} \sin(\varphi_{+m}) - A_{-m} \sin(\varphi_{-m}) \right)$$
$$+ \int_0^T dt \sin(m\omega t) \frac{1}{\eta} \ln \left( \quad \right)$$

(Г)

$$0 = r_0 \left( A_{+m} \sin(\varphi_{+m}) - A_{-m} \sin(\varphi_{-m}) \right)$$
$$+ \int_0^T dt \sin(m\omega t) \frac{1}{\eta} \ln \left( (\quad)(\quad) \right)$$

(Δ)

Για δεδομένες τιμές $A_{+\omega}$, $A_{-\omega}$ τα ολοκλη-
ρώματα πρέπει να υπολογιστούν
αριθμητικά σε υπολογιστή.
Οι εξ. (A), (B), (Γ), (Δ) είναι

$$\frac{V_0}{2}\delta_m = \frac{R}{2}\left(A_{+\omega}\cos(\varphi_{+\omega}) - A_{-\omega}\cos(\varphi_{-\omega})\right) + I_A(A_{+\omega}, A_{-\omega}, \varphi_{+\omega}, \varphi_{-\omega})$$

$$0 = r_0\left(A_{+\omega}\cos(\varphi_{+\omega}) + A_{-\omega}\cos(\varphi_{-\omega})\right) + I_B(A_{+\omega}, A_{-\omega}, \varphi_{+\omega}, \varphi_{-\omega})$$

$$0 = \frac{R}{2}\left(A_{+\omega}\sin(\varphi_{+\omega}) - A_{-\omega}\sin(\varphi_{-\omega})\right) + I_\Gamma(A_{+\omega}, A_{-\omega}, \varphi_{+\omega}, \varphi_{-\omega})$$

$$0 = r_0\left(A_{+\omega}\sin(\varphi_{+\omega}) + A_{-\omega}\cos(\varphi_{-\omega})\right) + I_\Delta(A_{+\omega}, A_{-\omega}, \varphi_{+\omega}, \varphi_{-\omega})$$

Ορίζουμε $X_{\pm\omega} = A_{\pm\omega}\cos(\varphi_{\pm\omega})$

$$Y_{\pm\omega} = A_{\pm\omega}\sin(\varphi_{\pm\omega})$$

$$
\begin{pmatrix}
R/2 & -R/2 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
0 & 0 & R/2 & -R/2 & \cdots & 0 \\
r_0 & r_0 & 0 & \cdots & & 0 \\
0 & 0 & r_0 & r_0 & 0 \; 0 & \cdots \\
- & - & - & - & - &
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
X_{+1} \\ X_{-1} \\ Y_{+1} \\ Y_{-1} \\ X_{+2} \\ X_{-2} \\ \vdots
\end{pmatrix}
+ \underbrace{\begin{pmatrix}
I_A(X_{+1}, Y_{+1}, X_{-1}, Y_{-1}) \\
I_\Gamma(X_{+1}, Y_{+1}, X_{-1}, Y_{-1}) \\
I_B( \cdots ) \\
I_\Delta( \cdots ) \\
- - - \\
- - -
\end{pmatrix}}_{\text{Μη-γραμμικότητα}}
=
\begin{pmatrix}
V_0/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0
\end{pmatrix}
$$

Το σύστημα λύνεται με διαδοχικές μεθόδους π.χ. θεωρούμε τον μη-γραμμικό όρο μηδέν, οπότε λύνουμε το γραμμικό σύστημα και ακολουθούμε την μέθοδο διαδοχικών αντικαταστάσεων.