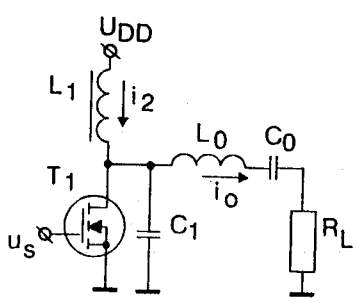


## Работа в режим клас "Е" при крайна стойност на захранващия гресел и променлив коефициент на запълване.

доц. д-р инж. Илия Нейков Немизенчев  
ст.ас. инж. Владимир Иванов Алексиев  
Технически университет - Габрово

A theoretical method is proposed to describe class "E" HF power amplifiers with finite DC - Feed inductance and variable duty cycle of the switch. The amplifier circuit parameters are given according of the circuit components.

Изследванията през последните години [1,2,3,4] показват редица предимства при използването на режим клас "Е" в мощните високочестотни устройства.



Фиг.1

В настоящата работа се предлага теоретично изследване на мощен високочестотен преобразовател, работещ в режим клас "Е", при отчитане индуктивността на хранващия гресел и променлив коефициент на заълване управляващите импулси.

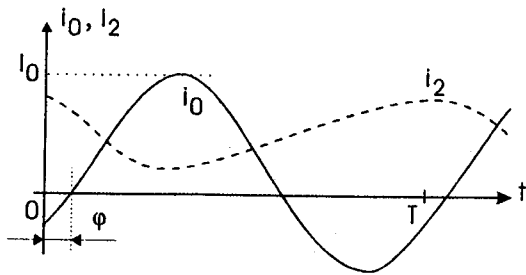
При изследването на усилвателя - фиг.1, се извършват следните допускания:

- Висок Q-фактор на изходната верига, осигуряващ протичането на синусоиден ток - фиг.2а;
- Липса на загуби в ключа, чиито изходен капацитет е включен в шунтиращия капацитет C1 - фиг.2б.

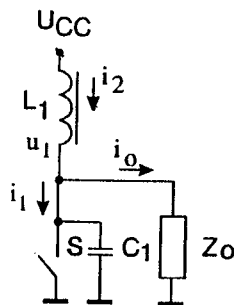
За получената заместваща схема е в сила зависимостта

$$(2) \quad u_1 = U_{CC} - L_1 \frac{di_2}{dt}$$

За установен режим на работа на схемата се въвеждат два полупериода:



а



б

Фиг.2

- \* първи полупериод -  $0 < t \leq 2\pi DS/\omega$ , по време на изключено състояние на ключа ;
- \* втори полупериод -  $2\pi DS/\omega < t \leq 2\pi/\omega$ , по време на включено състояние на ключа.

Заместващата схема за първия полупериод е показана на фиг.3,а . За нея е в сила

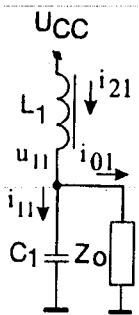
$$(3) \quad i_{21} - i_{11} = i_0, \text{ където}$$

$$(4) \quad i_{11} = C_1 \frac{du_{11}}{dt} = -C_1 L_1 \frac{di_{21}}{dt}$$

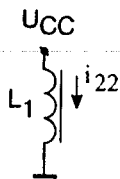
След заместване на (1) и (4) в (3) се получава уравнението

$$(5) \quad \frac{di_{21}}{dt^2} + \omega_1^2 i_{21} = I_0 \omega_1^2 \sin(\omega t + \varphi_0), \text{ с решение :}$$

$$(6) \quad i_{21}(t) = A \cos\left(\frac{\omega}{K_1} t\right) + B \sin\left(\frac{\omega}{K_1} t\right) + \frac{I_0}{1 - K_1^2} \sin(\omega t + \varphi_0),$$



а



б

Фиг.3

$$\text{където : } K_1 = \frac{\omega}{\omega_1}.$$

За втория полупериод - фиг.3,б

$$(7) \quad u_{12} = 0,$$

при което от (2) следва

$$(8) \quad \frac{di_{22}}{dt} = \frac{U_{CC}}{L_1},$$

с решение:

$$(9) \quad i_{22}(t) = \frac{U_{CC}}{L_1} \left( t - \frac{2\pi DS}{\omega} \right) + C$$

Начални условия:

\* непрекъснатост на тока през дросела

$$(10) \quad i_{21}(0) = i_{22}\left(\frac{2\pi}{\omega}\right), \quad i_{21}\left(\frac{2\pi DS}{\omega}\right) = i_{22}\left(\frac{2\pi DS}{\omega}\right);$$

\* начално напрежение на кондензатора

$$(11) \quad u_{11}(0) = 0.$$

При заместване на (6) и (8) в (10) и (11) и решение на системата спрямо коефициентите се получава:

$$A = \frac{\left( -\sin(f_0) + \sin\left(2\pi DS + f_0\right) - Kl \sin\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \cos(f_0) \right) I_0}{\left( -1 + \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \right) \left( -1 + Kl^2 \right)} - \frac{\left( Kl \sin\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) + 2\pi - 2\pi DS \right) U_{CC}}{\omega Ll \left( -1 + \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \right)}$$

$$B = \frac{Kl \cos(f_0) I_0}{-1 + Kl^2} + \frac{U_{CC} Kl}{Ll \omega}$$

$$C = \frac{\left( -\sin(f_0) \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) + \sin\left(2\pi DS + f_0\right) - Kl \sin\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \cos(f_0) \right) I_0}{\left( -1 + \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \right) \left( -1 + Kl^2 \right)} + \frac{\left( -Kl \sin\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) - 2\pi \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) + 2\pi DS \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \right) U_{CC}}{\omega Ll \left( -1 + \cos\left(2\frac{\pi DS}{Kl}\right) \right)}$$

Останалите неизвестни  $I_0$  и  $\varphi_0$  се определят от условията за оптимален режим [1]:

$$(9) \quad u_{11}\left(\frac{2\pi D}{\omega}\right) = 0 \quad \text{и} \quad \frac{du_{11}}{dt}\left(\frac{2\pi D}{\omega}\right) = 0$$

и имат вида

$$(10)$$

$$f_{10} = -\arctan\left(\frac{-cE2 cS1 + cS2 cE1}{-cS1 cF2 + cS2 cF1}\right) \quad I_0 = -\frac{-cE2 cS1 + cS2 cE1}{(-cE2 cF1 + cF2 cE1) \sin(f_{10})}$$

където:

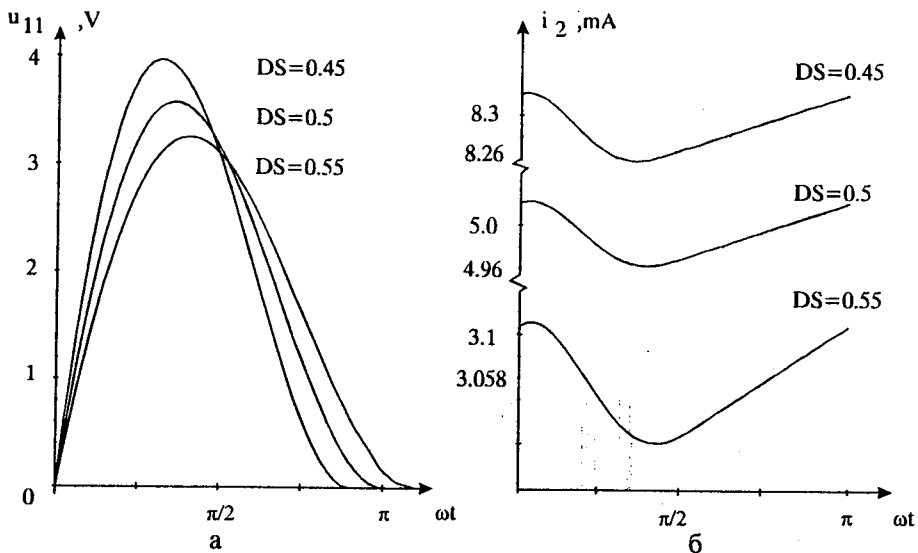
(11)

$$\begin{aligned}
 cE1 = & \left( \left( 2 \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 2 \right) KI \cos(\pi DS)^2 \right. \\
 & + \left( -2 \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + 2 \right) KI \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \\
 & \left( -2 \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI + 2 \sin(\pi DS) \cos(\pi DS) \right) \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \\
 & \left. \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \right) LI w / \left( KI \right. \\
 & \left. \left( -\cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 KI^2 + 1 - KI^2 \right) \right) \\
 cF2 = & \left( \left( -2 \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + 2 \right) KI^2 \cos(\pi DS)^2 \right. \\
 & + \left( -2 + 2 \cos(\pi DS)^2 \right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \left( \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 1 \right) KI^2 + 1 \\
 & \left. - \cos(\pi DS)^2 \right) LI w^2 / \left( KI^2 \right. \\
 & \left. \left( -\cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 KI^2 + 1 - KI^2 \right) \right) \\
 cF1 = & \left( \left( -2 \sin(\pi DS) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + 2 \sin(\pi DS) \right) KI \cos(\pi DS) \right. \\
 & + \left( -2 + 2 \cos(\pi DS)^2 \right) \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \left. \right) LI w / \left( KI \right. \\
 & \left. \left( -\cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 KI^2 + 1 - KI^2 \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$cS1 = \left( \left( -2 U_{cc} \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + 2 U_{cc} \right) KI \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \right. \\ \left. \left( -2 U_{cc} \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI - 2 U_{cc} \pi + 2 U_{cc} \pi DS \right) \right. \\ \left. \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) + \left( 2 U_{cc} \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 2 U_{cc} \right) KI \right) / \left( \right. \\ \left. \left( \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 1 \right) KI \right)$$

$$cE2 = \left( \left( -2 \sin(\pi DS) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + 2 \sin(\pi DS) \right) KI^2 \cos(\pi DS) + \right. \\ \left. \left( -2 \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI + 2 \sin(\pi DS) \cos(\pi DS) \right) \right. \\ \left. \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \left( 2 \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 2 \right) KI \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \right. \\ \left. - \sin(\pi DS) \cos(\pi DS) + \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI \right) L1 w^2 / \left( KI^2 \right. \\ \left. \left( -\cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 + \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 KI^2 + 1 - KI^2 \right) \right)$$

$$cS2 = \left( \left( -2 U_{cc} \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI - 2 U_{cc} \pi + 2 U_{cc} \pi DS \right) \right. \\ \left. \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 \right. \\ \left. + \left( 2 U_{cc} \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 2 U_{cc} \right) KI \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \right. \\ \left. - U_{cc} \pi DS + U_{cc} \sin\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right) KI + U_{cc} \pi \right) w / \left( \right. \\ \left. \left( \cos\left(\frac{\pi DS}{KI}\right)^2 - 1 \right) KI^2 \right)$$



Фиг.4

След заместване на (12) и (8) в (2), (6) и (8) се получава аналитичен израз за тока през захранващия гресел и напрежението върху ключа, функция на работната честота, коефициента на запълване, стойността на гресела и отношението  $K_1$ .

Графичния вид на изменението на двете функции от коефициента на запълване на управляващите импулси са показани съответно на фиг.4,а и фиг.4,б при стойности:

$$U_{CC} = 1V, L_1 = 100mH, f_0 = 1MHz, K_1 = \frac{\omega}{\omega_1} = 10.$$

#### Литература:

1. Socal N.O., Socal A.D., Class E - a new class of high-efficiency tuned single-ended switching power amplifiers, IEEE Journal of Solid State Circuits, vol.SC-10, no. 3, June 1975.
2. Raab F.H., Idealized operation of the class E tuned power amplifier, IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. CAS-24, no. 12, Dec. 1977.
3. Kasimerczuk M., Exact analysis of class E tuned power amplifier with only one inductor and one capacitor in load network, IEEE Journal of Solid State Circuits, vol. 18, 1985, pp. 214+221.
4. Albullet, M., An explicit design criterion for the RF choke reactance, on the class E power amplifiers and frequency multipliers, Transactions of the South African Institute of, Electrical Engineers, Band 85 (1994) Heft 2, pp. 37-42.