

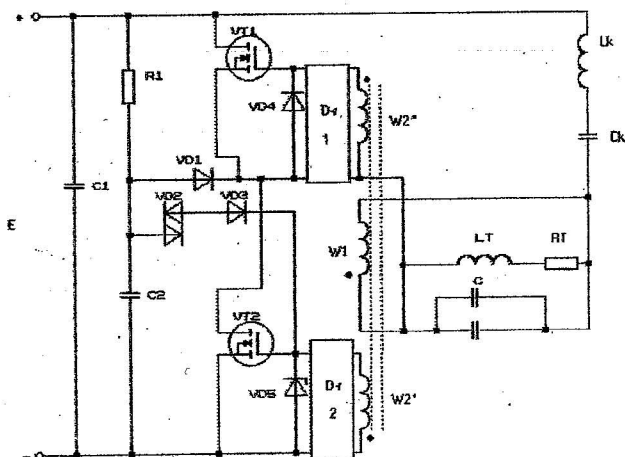
Съображения и методика за проектиране на несиметричен автоколебателен инвертор

Ст.ас.инж. Петър Томчев Иванов – e-mail: tomchev@tugab.bg
Проф. Тодор Стойков Тодоров
Технически Университет-Габрово, 5300 Габрово, ул. "Х.Димитър" 4

Considerations and methods for designing of non-symmetric self-oscillating inverter

Важно условие за масовото използване на дадена схема се явява наличието на достъпна и добре систематизирана методика за нейното проектиране. Създаването на методика за проектиране на автономни инвертори е свързано със задълбочено познаване на принципите на действие, времедиаграмите и особеностите на работа, както и на специфичните изисквания, произтичащи от конкретното приложение.

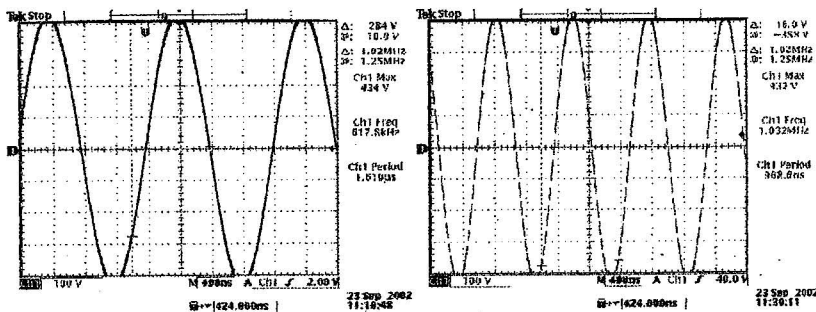
В настоящия доклад е представена методика за оразмеряване на несиметричен автоколебателен инвертор с широк честотен диапазон, показан на фиг. 1.



Фиг. 1.

За основа на разработената методика е използван методът на хармоничния анализ, доразвит с някои енергийни съображения и формули, произтичащи от тях. Важни особености и съображения, дали основания за този избор са:

• Добра синусоидална форма на товарното напрежение U_t . Реални осцилограми за U_t са показани на фиг.2.



Фиг.2.

• Инверторът е с обратни диоди и работи в режим на кондензаторна разстройка. Следователно първо провежда ток диода, а след това – транзистора. Това налага използването на метода на квазиграничния режим. Наличието на ток през обратните диоди води до деформация във формата му спрямо синусоидалата. Това в методиката е отразено с въвеждането на ъгъл ϕ_1 .

• По-специфичните функции на кондензаторът C_k , определящи го като енергиен, налагат въвеждането на допълнителни енергийни зависимости при изчисляването му. Така се постига еднозначност в методиката.

• Широкият честотен диапазон, при това в мегагерцовия обхват, създават трудности при точното отчитане на паразитните индуктивности, капацитети и съпротивления, а също така налагат многократно пресмятане и проверки при различни честоти. Поради това е за предпочитане използването на опростена методика за сметка на точността.

• Изискване за постоянна стойност на L_k и C_k в целия честотен диапазон. Това налага разделяне на методиката в две части: проектиране за минимална работна честота f_{min} и проектиране за честоти по-високи от f_{min} . При f_{min} се изчисляват L_k и C_k , а за другите честоти те са изходни данни, но се правят проверки за работния режим на инвертора (за t_0).

Проектиране при минимална работна честота

Изходни данни:

P_0 (Pt); E ; f ; L_t ; $\cos\phi$; t_0

1) По задания $\cos\phi$ на товара се изчислява активното му съпротивление

$$R_t = \omega * L_u * ctg\phi \quad (1)$$

2) По зададената мощност и параметрите на товара се определя напрежението U_{tm} , ъгъл ψ , разстройката ξ_0 и капацитета C

$$U_{tm} = \frac{\sqrt{2 * P_t * R_t}}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{2 * P_o * \eta * R_t}}{\cos \varphi} \quad (2)$$

$$\cos(\psi - \varphi_1) = \frac{\pi * E}{4 * U_{tm}} \quad (3)$$

за ъгъла φ_1 приемаме $\angle \varphi_1 = 1,3 - 1,5^\circ$

$$\xi_0^2 = \frac{tg \varphi + ctg \varphi}{tg \varphi + tg \psi} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{\xi_0^2 * \omega^2 * L_u} \quad (5)$$

3) По зададената мощност се изчислява капацитета C_k

$$C_k = \frac{P_o}{E^2 * f} \quad (6)$$

4) Определя се относителната стойност на активното еквивалентно съпротивление R_v на товарния кръг и ъглите δ и φ_1 .

$$R_v = \frac{\xi_0^2 * ctg \varphi}{(1 - \xi_0^2)^2 + ctg^2 \varphi} \quad (7)$$

$$tg \delta = \frac{C}{C_k * R_v} + tg \psi \quad (8)$$

$$tg \varphi_1 = \frac{4}{\pi^2} * tg \delta - \sqrt{\frac{16}{\pi^4} * tg^2 \delta - \frac{\pi^2 - 8}{\pi^2}} \quad (9)$$

5) Изчислява се U_{tm} и се прави проверка за U_{tm}

$$U_{tm} = \frac{\pi * E}{4 * \cos(\delta - \varphi_1)} \quad (10)$$

$$U_{tm} = U_{tm} * \frac{\cos \delta}{\cos \psi} \quad (11)$$

Получената стойност за пълното напрежение U_{tm} върху товарния триъгълник по формула (11) се сравнява с изчислената предварително стойност по формула (2). При голяма разлика се налага извършване на няколко итерации, т.е. преизчисляване на ъгъла ψ .

6) Определя се абсолютната стойност на активното еквивалентно съпротивление R_e на товарния кръг.

$$R_e = \frac{R_r}{\omega * C} \quad (12)$$

7) Проверка за мощността P_t и КПД

$$P_{tm} = \frac{U_m^2 * \cos^2 \psi}{2 * R_e} \quad (13)$$

$$\eta = \frac{P_t}{P_o} \quad (14)$$

8) По зададената пауза t_o се изчислява отношението $\omega_{ок}/\omega$

$$\frac{\omega_{ок}}{\omega} = \frac{\pi}{\pi - t_o + t_o'}, \quad \text{където } t_o' = (0,2 + 0,4) * t_o \quad (15)$$

9) Определя се качественият фактор Q на еквивалентната схема на инвертора

$$Q = \frac{1}{2} * \left(\frac{\omega}{\omega_{ок}} \right)^2 * \left[\operatorname{tg} \delta + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta - \left(\frac{\omega_{ок}}{\omega} \right)^2} \right] \quad (16)$$

10) Изчислява се стойността на комутиращата индуктивност L_k

$$L_k = \frac{Q * R_e}{\omega} \quad (17)$$

11) Максималната стойност на първата хармонична на променливия ток е

$$I_{m(1)} = \frac{U_{rm}}{R_e} * \cos \delta = \frac{U_{rm}}{R_e} * \cos \psi \quad (18)$$

12) Средната стойност на тока на ключовите прибори и на обратните диоди, се изчисляват съответно по изразите.

$$I_{окн} = \frac{E}{8 * \omega * I_k} * \left[\operatorname{tg}(\delta - \varphi_1) * (\cos t_o + 1) - \sin t_o - \frac{t_o^2}{\pi} + t_o \right] \quad (19)$$

$$I_{оод} = \frac{E}{2 * \omega * L_k} * \left[\operatorname{tg}(\delta - \varphi_1) * (1 - \cos t_o) + \sin t_o + \frac{t_o^2}{\pi} - t_o \right] \quad (20)$$

Проектиране за честоти по-високи от f_{\min}

При такива честоти методиката е аналогична до формула (15). В този случай S_k и L_k са входни данни и са със стойностите, изчислени за f_{\min} , а за режима на инвертора (t_0), се прави проверка.

13) Изчислява се на еквивалентния капацитет на паралелния трептящ кръг $X_{\text{екв}} L_k$

$$X_{\text{екв}} L_k = R_e * \text{tg} \psi, \quad C_{\text{екв}} L_k = \frac{1}{X_{\text{екв}} L_k * \omega} \quad (16')$$

14) Определя се еквивалентния капацитет C_{Σ} на колебателния контур.

$$C_{\Sigma} = \frac{C_{\text{екв}} L_k * C_k}{C_{\text{екв}} L_k + C_k} \quad (17')$$

15) Определя се $\omega_{\text{ск}}$, $f_{\text{ск}}$ и $T_{\text{ск}}$

$$\omega_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{L_k * C_{\Sigma}} - \frac{R_e^2}{4 * L_k^2}} \quad (18')$$

$$f_{\text{ск}} = \frac{\omega_{\text{ск}}}{2 * \pi}, \quad T_{\text{ск}} = \frac{1}{f_{\text{ск}}} \quad (19')$$

16) Определя се паузата t_0

$$t_0 = \frac{T_y - T_{\text{ск}}}{2} \quad (20')$$

17) По изчислената пауза се определя отношението $\omega_{\text{ск}}/\omega$

$$\frac{\omega_{\text{ск}}}{\omega} = \frac{\pi}{\pi - t_0 * \omega} \quad (21')$$

18) Определя се качественият фактор Q на еквивалентната схема на инвертора.

$$Q = \frac{1}{2} * \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ск}}} \right)^2 * \left[\text{tg} \delta + \sqrt{\text{tg}^2 \delta - \left(\frac{\omega_{\text{ск}}}{\omega} \right)^2} \right] \quad (22')$$

19) Проверка за комутиращата индуктивност L_k

$$L_k = \frac{Q * R_e}{\omega} \quad (23')$$

20) Максималната стойност на първата хармонична на променливия ток на инвертора и средната стойност на тока на ключовите прибори и на обратните диоди се изчисляват съответно по формули (18), (19) и (20)

По представената методика е оразмерен несиметричен автоколебателен инвертор за пет различни честоти от 500 до 1500 kHz. Получените стойности за елементите L_k , C_k и C , и за величините U_{tm} , U_{gm} и P_t са сравнени със съответните елементи и величини от реализиран лабораторен макет. Получените разлики са в границите от 8 до 14%. Това е допустима точност на методиката, особено като се имат в предвид високите работни честоти.

Литература

1. Тодоров Т., Н. Маджаров, Д. Алексиев, П. Иванов, "Автономни инвертори", Габрово, 1996 г.
2. Todorov T., Ivanov P., Milichevich M., Madjarov N., Iliev D., Aleksiev D., "Specialised high frequency power supplies for induction heating applications", Padua, International Seminar, september 2001