

# ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТОЙНОСТТА НА КОМУТИРАЩАТА ИНДУКТИВНОСТ НА РЕЗОНАНСЕН ИНВЕРТОР С ПРИНУДИТЕЛНА КОМУТАЦИЯ

Никола Петров Градинаров\*, Николай Любославов Хинов\*, Димитър Дамянов  
Арnaudов\*\*

\*Технически университет - София, 1000 София, България, Бул. "Кл.Охридски" No.8, Бл. 1

\*\* Колеж по телекомуникации и пощи – София, 1000 София, България,  
ул. "Акад. Ст.Младенов" No 1

Телефон: 965 21 22 E-mail: n\_gradinarov@tu-sofia.acad.bg hinov@tu-sofia.acad.bg  
d\_arnaudov@yahoo.com

*Gradinarov N.P., N.L. Hinov, D.D. Arnaudov. Determination of value of commutating inductors for current-source inverter. The design of the current-source inverter can be more accurate and easier when using the extract formulas for the output current and the voltage across commutating capacitor and formulas for determination commutating inductance. In the paper are compared the results obtained by this method and the results obtained by method of first harmonic. For comparison of the results computer simulation with software Design Center 8.0 is used.*

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че инверторите на ток могат да се разглеждат като резонансни инвертори със силно принудителна комутация [1]. При използването на този подход е намерена зависимост определяща еднозначно стойността на комутиращата индуктивност  $L_k$ :

$$(1) \quad L_k = \frac{R_{(1)}}{2\delta},$$

където  $R_{(1)}$  е първата хармонична на активната съставка на последователната заместваща схема на променливотоковата верига на инвертора (най-често е паралелен резонансен товарен кръг), а  $\delta$  е затихването на еквивалентния последователен резонансен кръг.

В резултат на проведения хармоничен анализ на инверторния ток [1], са определени стойностите на коефициента на разколебаване  $k$  и на честотния коефициент  $\nu$ , при които инверторния ток е с форма близка до правоъгълната. В резултат на това са създадени методики за проектиране на резонансни инвертори, работещи както в режим на силно принудителна комутация, така и в режим с по-големи пулсации на входния ток.

Цел на настоящата работа е да се намери зависимостта между коефициента на пулсации на входния ток  $k_n$  и коефициентите  $k$  и  $\nu$ , съобразявайки се с която да бъде определена стойността на входния (комутиращ) дросел.

## 2. ТЕОРЕТИЧНА ОБОСНОВКА

Известен е израза за инверторния ток [1]:

$$i(\vartheta) = \frac{2k_1 U_d}{\omega_0 L_k} \sqrt{\left(1 - a \frac{\delta}{\omega_0}\right)^2 + a^2} e^{-\frac{\delta}{\omega} \vartheta} \sin \frac{\pi}{\lambda} (\vartheta + \psi) = I_m e^{-\frac{\delta}{\omega} \vartheta} \sin \frac{\pi}{\lambda} (\vartheta + \psi).$$

От него може да се определи неговата средна стойност:

$$I_d = -\frac{I_m}{\pi F} \left( e^{\frac{\delta \pi}{\omega}} \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} (\pi + \psi) + \alpha \right) - \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} \psi + \alpha \right) \right) = \frac{H_1}{\pi F} I_m, \text{ където}$$

$$I_m = \frac{2k_1 U_d}{\omega_0 L} \sqrt{\left(1 - a \frac{\delta}{\omega_0}\right)^2 + a^2}, \quad F = \sqrt{\left(\frac{\delta}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2}, \quad \alpha = \operatorname{arctg} \frac{\lambda}{\delta},$$

$$H_1 = \left( e^{-\frac{\delta \pi}{\omega}} \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} (\pi + \psi) + \alpha \right) - \sin \left( \frac{\pi}{\lambda} \psi + \alpha \right) \right), \text{ а } \psi \text{ е началната фаза на инверторния}$$

$$\text{ток } \psi = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{a}{1 - a \frac{\delta}{\omega_0}}; \quad k_1 = \frac{I}{1 - h e^{-\frac{\delta \pi}{\omega}}} = \frac{1}{1 - h \left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{v}}};$$

$$h = \frac{\left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{v}} - \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{k}{k-1}\right) \sin \frac{\pi}{v} - \cos \frac{\pi}{v}}{\left(\frac{k-1}{k}\right)^{\frac{1}{v}} \left(\frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{k}{k-1}\right) \sin \frac{\pi}{v} - \cos \frac{\pi}{v}\right) + 1}; \quad a = \frac{\sin \frac{\pi}{v}}{\frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{k}{k-1}\right) \sin \frac{\pi}{v} - \cos \frac{\pi}{v} + \left(\frac{k}{k-1}\right)^{\frac{1}{v}}}, \quad \omega$$

управляваща честота.

От друга страна за да се определи големината на коефициента на пулсации на входния ток  $k_n$  е необходимо да бъде направен хармоничен анализ на входния ток.

Косинусоидалната  $m_{(1)}$  и синусоидалната  $n_{(1)}$  съставки на максималната стойност на първия хармоник на входния ток са съответно:

$$m_{(1)} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_m e^{-\frac{\delta}{\omega} \vartheta} \sin \frac{\pi}{\lambda} (\vartheta + \psi) \cos 2\vartheta d\vartheta =$$

$$= \frac{I_m}{\pi A_1} \left( e^{-\frac{\delta}{\omega} \pi} \left( C_1 \cos \left( \frac{\pi^2}{\lambda} + \psi' \right) + D_1 \sin \left( \frac{\pi^2}{\lambda} + \psi' \right) \right) - C_1 \cos \psi' - D_1 \sin \psi' \right),$$

$$n_{(1)} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_m e^{-\frac{\delta}{\omega} \vartheta} \sin \frac{\pi}{\lambda} (\vartheta + \psi) \sin 2\vartheta d\vartheta =$$

$$= \frac{I_m}{\pi A_1} \left( e^{-\frac{\delta}{\omega} \pi} \left( F_1 \sin \left( \frac{\pi^2}{\lambda} + \psi' \right) - G_1 \cos \left( \frac{\pi^2}{\lambda} + \psi' \right) \right) - F_1 \sin \psi' + G_1 \cos \psi' \right),$$

където

$$A_1 = \left( \left( \frac{\pi + 2\lambda}{\lambda} \right)^2 + \left( \frac{\delta}{\omega} \right)^2 \right) \left( \left( \frac{\pi - 2\lambda}{\lambda} \right)^2 + \left( \frac{\delta}{\omega} \right)^2 \right), \quad C_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \left( \frac{\pi^2 - 4\lambda^2}{\lambda^2} + \left( \frac{\delta}{\omega} \right)^2 \right),$$

$$D_1 = \frac{2\delta}{\omega} \left( \frac{\pi^2 + 4\lambda^2}{\lambda^2} + \left( \frac{\delta}{\omega} \right)^2 \right), \quad F_1 = 4 \left( \frac{\pi^2 - 4\lambda^2}{\lambda^2} - \left( \frac{\delta}{\omega} \right)^2 \right), \quad G_1 = \frac{8\pi}{\lambda} \frac{\delta}{\omega}.$$

Максималната стойност на първия хармоник на входния ток е:

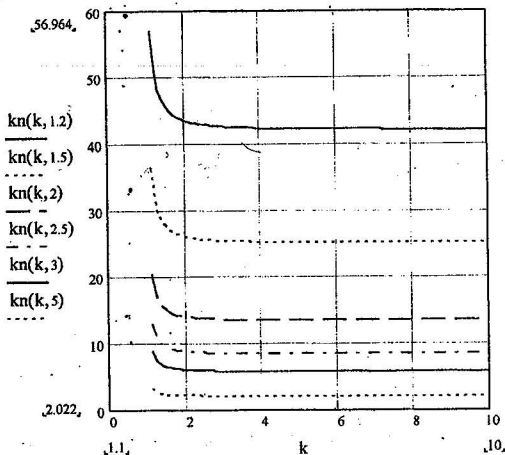
$$I_{d(1)\max} = \sqrt{m_{(1)}^2 + n_{(1)}^2}.$$

Средната стойност на входния ток е всъщност консумирания ток, който е намерен по-горе.

Тогава за коефициента на пулсации на входния ток получаваме:

$$(2) \quad k_n = \frac{I_{d(1)\max}}{I_d}.$$

Тази зависимост на  $k_n$  от коефициентите  $k$  и  $v$  е графически построена на фиг.1. От нея се вижда, че честотния коефициент  $v$ , влияе по-силно върху големината на  $k_n$ , в сравнение с коефициента на разколебаване  $k$ .



фиг.1

След избора на стойности на  $k$  и  $v$  от фиг.1, по израз (1) се определя индуктивността на комутационния дросел и се извършва по-нататъшното проектиране на инвертора на ток [4].

При анализа и проектирането на паралелния инвертор на ток по метода на основния хармоник се използва следния израз за определяне на големината на входната индуктивност  $L$ , [2,3]:

$$(3) \quad L = \frac{2.22U_d}{\omega k I_d \cos \beta} \sqrt{0.095 - 0.072 \cos^2 \beta},$$

където  $\beta$  е ъгъла на дефазирание между инверторния ток и инверторното напрежение.

Тази връзка между стойността на входната индуктивност  $L$  и коефициента на пулсации  $k_n$ , може да бъде използвана за определяне на  $L$  в случаите, когато формата на инверторния ток е близка до правоъгълната. Когато входният ток е с по-големи пулсации, определянето на индуктивността по израз (3) не осигурява предварително зададената при проектирането мощност и напрежение в товара.

Това се вижда от приведените резултати от симулационни изследвания на паралелен инвертор на ток (Табл.1). Изходните данни, при които са направени симулациите са показани в Табл.1.

### 3. СИМУЛАЦИОННИ РЕЗУЛТАТИ.

При проектирането на резонансният инвертор с принудителна комутация, когато входния ток е с по-големи пулсации ( $k_n > 10\%$ ), методът на основния хармоник е неприложим, защото разликата между заложените при проектирането параметри и действително получените при симулационните изследвания (виж Табл.1) надвишават 15%. В тези случаи трябва да се използва предложението от авторите за анализ и проектиране в съответствие с който е намерена зависимостта (2).

При този начин на определяне стойността на индуктивността на входния дросел на паралелния инвертор на ток, точността на проектирането не зависи от коефициента на пулсации. Това личи от симулационните резултати поместени в Табл.1.

Табл.1

$P_T=100kW, \cos\phi_T=0.1, f_T=2.4kHz, U_d=500V.$ Изчислени стойности на $U_{и}$ : 1) при $k_n=10\%$ $U_{и}=906,185 V$ ; 2) при $k_n=15\%$ $U_{и}=1018,55 V$ ; 3) при $k_n=20\%$ $U_{и}=1106,7 V$ ;							
изчислен $L_d$ [mH]		зададен $k_n$ [%] (измерен $k_n$ [%] *)		Измерен от симулационни резултати $I_d$ [A]		Измерен от симулационни резултати $U_{и}$ [V]	
От (1)	От (3)	За (1)	За (3)	По (1)	По (3)	По (1)	По (3)
1,359	1,565	10 (11,1*)	10 (9,8*)	198,7	186,8	903,2	875,8
1,083	1,22	15 (16,3*)	15 (14,9*)	198,3	180,4	1004,9	968
0,919	1,016	20 (21,3*)	20 (20,2*)	198,7	174,4	1102,2	1033,9

#### 4. ЛИТЕРАТУРА

1. Хинов Н. Л., Н. П. Градинаров, 1997, "Анализ на автономни резонансни инвертори с принудителна комутиция", Сборник доклади на Шестата национална научно-приложна конференция с международно участие "Електронна техника - ЕТ'97" 24-27 септември 1997г., гр. Созопол, 61-67.
2. Исаков Ю. А., А. П. Платонов, В. С. Руденко, В. И. Сенько, В. В. Трифонюк, Е. Е. Юдин. "Основы промышленной электроники", Изд. "Техника", Киев, 1976г.
3. Бобчева М., Е. Попов и др. "Ръководство за проектиране на силови електронни устройства". Техника, София, 1991.
4. Хинов Н., М. Бобчева, Н. Градинаров "Методика за проектиране на последователно-паралелен инвертор на ток", Списание Е+Е, 3-4, 2000г, стр.15-19.
5. Начев Н., Г. Малеев. Силова електроника. Техника, София, 1979.