

А. Салах, Ст. Табаков, П. Горанов

РЕЗЮМЕ:

В работата е направен анализ на различни по структура изходни филтри на автономните инвертери на напрежение (АИН) с цел получаване на оптимални предавателни характеристики. Анализът е направен за случаите, когато регулирането на изходното напрежение в мостовите АИН става по методите на еднополярна и двуполярна ШИМ.

Предложен е обобщен модел на най-разпространените филтри на напрежение, като са изчислени основните им параметри, чрез които е възможен избора на оптимален схематичен вариант при съответна форма на напрежението на АИН и при зададени изкривявания в изхода.

КЛЮЧОВИ ДУМИ:

инвертор на напрежение, еднополярна и двуполярна широчинно - импулсна модулация, филтър на напрежение, хармоничен анализ, оптимизация

ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ:

АИН = автономен инвертор на напрежение

ШИМ = широчинно - импулсна модулация

$T_c = 2\pi/\omega_c = 1/f_c$: период на комутация на ключовите прибори на АИН

t_k = средата на (продължителност на съответния импулс на комутация)

$V_{i,n}$ = ефективната стойност на входното напрежение за хармоника номер

U_d =

$\alpha_{2k-1}, \alpha_{2k}$ = началния и крайния ъгъл на комутация импулс с номер

$N/2$ = броят на импулси за четвърт период от изходната честота

T_{HD} = коефициент на хармонични изкривявания

n_{max} = най - големия номер на хармоника, който се взема в предвид

$V_{o,n}$ = ефективна стойност на изходното напрежение за хармоника

номер n

$Y_{T,n} = g_T + j(\chi_{CT,n} - \chi_{LT,n})$ = проводимост на товара

$I_{i,n}$ = ефективна стойност на входния ток за хармоника номер n

$I_{o,n}$ = ефективна стойност на изходния ток за хармоника номер n

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ = относителни разстройки на 1-ви, 2-ри и 3-ти серийни и паралелни контура

\mathcal{E}_F = нормализирана мощност на филтъра

$M = 0 \dots 1$ = дълбочина на модулация

ПОСТАНОВКА НА ПРОБЛЕМА:

За подобряване хармоничния състав на изходното напрежение в АИН често се използва методът на еднополярна и двуполярна широчинно - импулсна модулация.

Обикновено към изхода на инвертора се включват филтри, които подобряват качеството на изходното напрежение независимо от характера и големината на товара.

I - РЕШЕНИЕ НА ПОСТАВЕНИЯТ ПРОБЛЕМ:

I - А - ХАРМОНИЧЕН АНАЛИЗ НА ВХОДНОТО НАПРЕЖЕНИЕ НА ФИЛТЪРА:

На фиг. 1 е показана схемата на мостов инвертор в изхода на който е включен филтър.

При синусодален закон на ШИМ (фиг. 2,3) продължителността на импулса с определен номер К се изразява по следния начин:

$$\tau_k = T_c M \sin \omega t_k \quad (1)$$

Ефективната стойност на еднополярното ЕИМ сигнал е:

$$V_{i,m} = \frac{4U_d}{\sqrt{2}\pi} \sum_{k=1}^{N/2} \int_{\alpha_{2k-1}}^{\alpha_{2k}} \sin \alpha d\alpha = \frac{4U_d}{\sqrt{2}\pi} \sum_{k=1}^{N/2} (\cos \alpha_{2k-1} - \cos \alpha_{2k}) \quad (2)$$

За двуполярната ШИМ ефективната стойност на напрежение се получава:

$$V_{i,m} = \frac{4U_d}{\sqrt{2}\pi} \left[\sum_{k=1}^{N/2} 2(\cos \alpha_{2k-1} - \cos \alpha_{2k}) - 1 \right] \quad (3)$$

I - В - ОПТИМИЗАЦИЯ НА ФИЛТРИТЕ:

На базата на използваните разновидности на променливите филтри на напрежение (фиг.4) се предлага обобщена схема (фиг.5).

Качеството на напрежението се характеризира с коефициента на хармонични съставлящи, който се определя като

$$THD = \sqrt{\sum_{n=3}^{n_{max}} V_{(n)}^2} / V_{(1)} \quad (4)$$

За предварителна функция на тези филтри се получава

$$H(n) = |V_{o,n} / V_{i,n}| = 1/\Delta = |1 / (z_{1,n} z_{2,n} z_{3,n} Y_{T,n})| = |1/z_{1,n} [y_{2,n}(z_{3,n} Y_{T,n} + 1) + Y_{T,n}] + z_{3,n} Y_{T,n} + 1|^{-1} =$$
$$H(n) = \left(1 / \left[1 - z_{1,n}' [1 - z_{3,n}'' (y_{c1,n} - y_{L1,n}) + (y_{c1,n} - y_{L1,n})] - z_{3,n}'' (y_{c1,n} - y_{L1,n})^2 + \left\{ g_{T1} [z_{1,n}' \Delta_1 + z_{3,n}'' \Delta_3 - z_{1,n}' z_{3,n}'' \Delta_1 \Delta_3] \right\}^2 \right]^{1/2} \right) \quad (5)$$

Хармоничният ток на входа на филтъра

$$I_{i,n} = U_{i,n} / Z_{e,i,n} = U_{i,n} H(n) |y_{2,n}(z_{3,n} Y_{T,n} + 1) + Y_{T,n}| =$$

$$I_{i,n} = U_{i,n} H(n) \sqrt{\left\{ g_{T1} [1 - y_{c1,n}'' \Delta_3] \right\}^2 + \left\{ y_{c1,n}'' \Delta_2 + z_{1,n}' \Delta_1 - z_{1,n}' z_{3,n}'' \Delta_1 \Delta_3 \right\}^2} \quad (6)$$

следователно, хармоничният изходен ток се намира с :

$$I_{o,m} = U_{o,m} / Z_{T,m} \quad (8)$$

Нормализираната мощност за 1-ви, 2-ри, 3-ти, 4-ти и 6-ти филтър има следния вид:

$$\mathcal{E}_{F_{1,2,3,4,6}} = \frac{I_{\lambda,1}^2 \omega_0 L_1 + V_{\lambda,1}^2 \omega_0^2 C_2 + (V_{\lambda,1} - I_{\lambda,1} \omega_0 L_1 - V_{\lambda,1})^2 \omega_0^2 C_1 + (I_{\lambda,1} - V_{\lambda,1} \omega_0 C_2 - I_{\lambda,1})^2 \omega_0 L_2}{V_{o,1} I_{o,1} \cos \Theta_{(1)}} \quad (9)$$

До като за и нормализираната мощност се изчислява по следния израз:

$$\mathcal{E}_{F_{5,7}} = \frac{I_{\lambda,1}^2 \omega_0 L_1 + I_{\lambda,1}^2 \omega_0 L_2 + (V_{\lambda,1} - I_{\lambda,1} \omega_0 L_1 - V_{\lambda,1})^2 \omega_0^2 (C_1 + C_2) + (I_{\lambda,1} - V_{\lambda,1} \omega_0 C_2 - I_{\lambda,1})^2 \omega_0 L_2 + (V_{\lambda,1} - I_{\lambda,1} \omega_0 L_1)^2 \omega_0^2 C_2}{V_{o,1} I_{o,1} \cos \Theta_{(1)}} \quad (10)$$

I - B - РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗА НА ФИЛТРИТЕ:

Някои от резултатите от хармоничния анализ са предоставени както следва:

На фиг.6 - Спектър на хармоници преди и след F_1 , за честота на комутация $F_c = 1000 \text{ Hz}$ и коефициент на модулация $M = 0,8$

На фиг.7 - Обратните криви на напрежение на входа и изхода на за хармониците от фиг.6

На фиг.8 зависимост на $\mathcal{E}_{F_1} = F(L_1)$ за F_1

На фиг.9 зависимост $\mathcal{E}_{F_2} = F(C_2)$ и $\text{TND}_{F_2} = F(C_2)$ за F_1

Таблица едно показва как се променят изкривяванията в зависимост от M при еднополярен ШИМ сигнал подаден на входа F_1

При $M = 0,8$ се получават най - добри резултати за коефициента на хармонично изкривяване след филтриране (F_1)

От връзката между стойностите на компонентите на F_1 и товара, колто се дава с израза:

$$\omega_c L_1 = 1 / \omega_c C_1 = a_{F_1} Z_T \quad (11)$$

се получава $a_{F_1} = 1,05$

В таблица две е направено сравнение на получените резултати за еднополярен и двуполярен ШИМ сигнала при едни и същи параметри ($M = 0,8$, $L_1 = 8 \text{ mH}$, $F_c = 1000 \text{ Hz}$, $F_0 = 50 \text{ Hz}$, $m_{\text{max}} = 51$)

При вторият филтър F_2 , трябва да има компромис при подбора на L_1 и C_2 , защото намаляването на L_1 води до увеличаване на TND и намаляване на \mathcal{E}

Таблица три показва зависимостта на \mathcal{E}_{F_2} и TND_{F_2} от L_1 при зададена стойност на кондензатора C_2 .

Таблица четири показва зависимостта на \mathcal{E}_{F_2} и TND_{F_2} във функция от C_2 при постоянна стойност на L_1 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

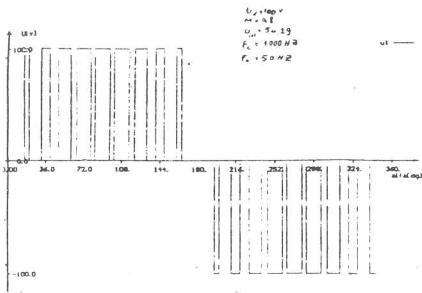
При необходимост от получаване на изходно променливо напрежение с постоянно ниво, добър коефициент на полезно действие на преобразователя и ниско съдържание на хармонични съставлящи, успешно може да се приложи синусоидалната широчинно - импулсна модулация, като на входа на инвертора се включва един от филтрите в зависимост от условията на работа.

Чрез разработената програма успешно може да се намери оптималния входен сигнал и филтър с оптимални параметри за даден товар с определен характер.

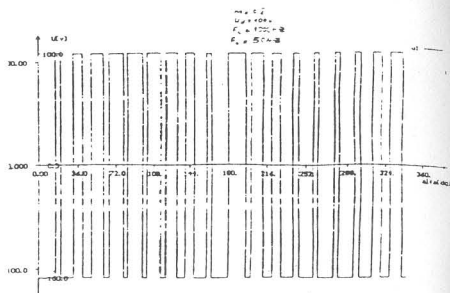
Работата може да се разшири за други филтри с друга конфигурация и с по-голям ред, за други по форма напрежения на входа на филтъра и до определяне на всички коефициенти свързващи параметрите на филтъра и товара.

ЛИТЕРАТУРА:

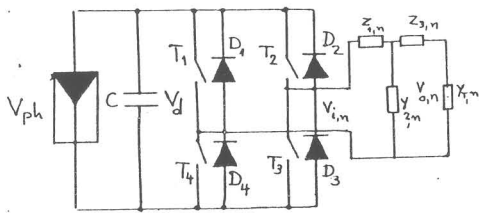
1. Parakash H. Nayak, and Richard G. Koft, "Optimizing the PWM waveform of a Thyristor inverter", IEEE Trans. Ind. Appl., Sept./October 1975, pp. 526 ÷ 530
2. А. Манолов, В. Сотиров, Ст. Първанов, "Нов принцип за организиране на източници за променливо напрежение", "Трета национална конференция", "Далекосъобщения 82".
3. Yone H. Kim and Mehrdad Ehsani, "Discussion of an Algebraic Algorithm For Microcomputer based inverter PWM", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 24, No 6, Nov./Dec. 1988, pp. 998 ÷ 1003
4. P. Enjeti, J.F. Lindsay, "Solving nonlinear equations of harmonic Elimination PWM in Power control", Electronics Letter, 4th June 1987, vol. 23, No 12, pp. 656 ÷ 657
5. Parasad N. Enjeti, Phoivos D. Ziogas, "Programmed PWM techniques to eliminate harmonics", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 26, No 2, March/April 1990, pp. 302 ÷ 315
6. Giuseppe S. Buja, "Optimum output waveforms in PWM inverters", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-16, No 6, Nov./Dec. 1980, pp. 830 ÷ 836
7. Phoivos D. Ziogas, "Optimum voltage and harmonic control PWM techniques for 3-phase static UPS systems", IEEE Trans. Ind. Ap. vol. IA-16, No 4, Jul/Aug. 1980, pp. 542 ÷ 546
8. S. B. Dewan, P. D. Ziogas, "Optimum filter design for single phase solid-state UPS system", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-15, No 6, Nov./Dec. 1979, pp. 664 ÷ 669



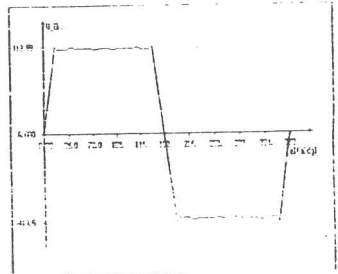
Фиг. 2 Еквивалентен ШИМ сигнал



Фиг. 3 Акумулаторен ШИМ сигнал

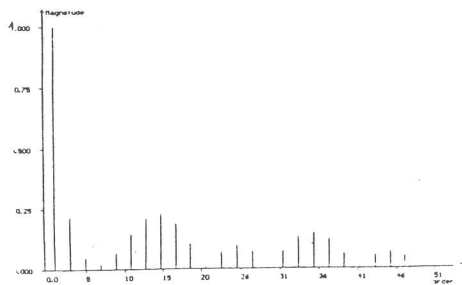


Фиг. 1

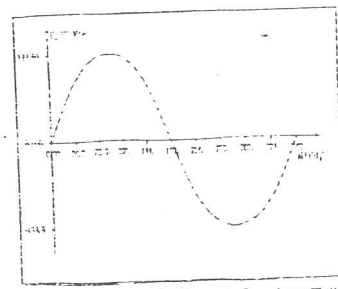


Фиг. 4

Еквивалент на хармониците преди филтриране

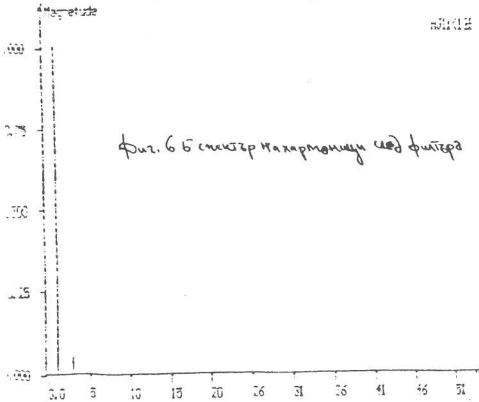


Фиг. 5 Спектр на хармониците преди филтриране

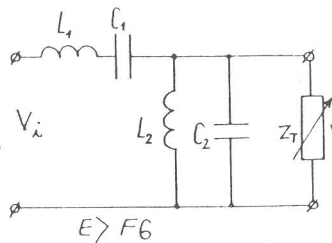
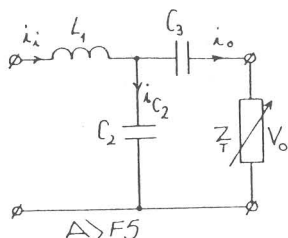
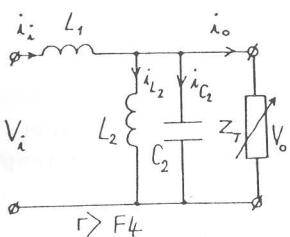
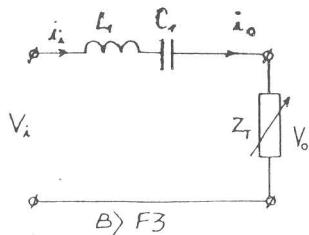
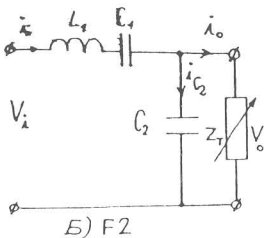
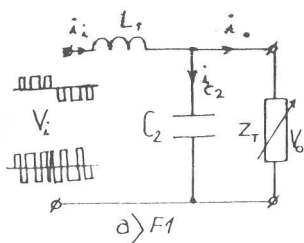


Еквивалент на хармониците след филтриране

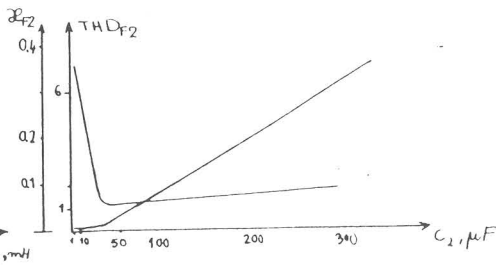
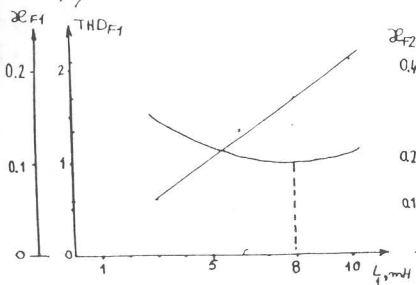
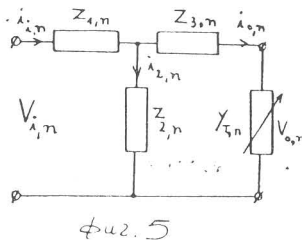
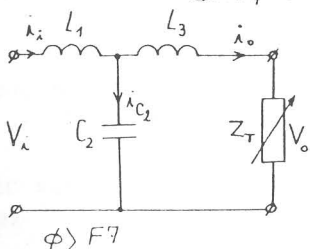
Фиг. 7Б



Фиг. 6 Б Спектр на хармониците след филтриране



Фиг. 4. F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7



M	1	0.9	0.87	0.85	0.8	0.75	0.7
THD	111.07	123.9	127.1	129.33	135.2	141	148.2
THD_{F1}	1.65	1.72	1.73	1.75	1.78	1.81	1.83

L_1, mH	10	8	6	3
Q_{F1}	0.102	0.100	0.104	0.150
THD_{F1}	2.10	1.70	1.35	0.60

Таб. 3

Сигнал	Внутренний ШИМ	Внешний ШИМ
Q_{F1}	0.1	0.1219
THD_{F1}	1.78	2.58

Таб. 1

Таб. 3

C_2, μF	1	10	50	100	200	300	400
THD_{F2}	6.04	1.32	1.62	1.67	1.70	1.71	1.71
Q_{F2}	0.05	0.05	0.08	0.13	0.21	0.30	0.38

Таб. 4