

$$a_k=\frac{4}{k\pi}[1+2\sum_{j=1}^M(-1)^j\cos(k\alpha_j)] \tag{7}$$

式中可以设定的 α 值有 M 个(见图 1),有 M 个自由度,由 7 式可以列出 M 个方程,为保证基波的大小,令 a_1 =设定值,而剩下的 $M-1$ 个方程

令其等于零即

$$f(\alpha)=\begin{cases} a_1=\text{设定值} \\ a_k=0 \quad k=5,7\dots \end{cases} \tag{8}$$

由(8)式解出 M 个 α 值(开关角),用这 M 个开关角进行控制,可消除 $M-1$ 个谐波.

3 方程组的解法

(8)式是非线性超越方程组,一般用牛顿迭代等数值解法求解,

先赋予 α 初值: $\vec{\alpha}_0=[\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0]$ (9)

计算 $\vec{f}(\alpha_0)=\vec{f}^0$ (10)

线性处理 $\vec{f}^0+[\frac{\partial f}{\partial \alpha}] \vec{\alpha}=0$ (11)

式中
$$\frac{\partial f}{\partial \alpha}=\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_m} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial \alpha_1} & \frac{\partial f_m}{\partial \alpha_2} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial \alpha_m} \end{bmatrix} \rightarrow \vec{\alpha}=\vec{\alpha}^0$$

用高斯消元法解方程组(11),用 $\vec{\alpha}^1=\vec{\alpha}^0+d\vec{\alpha}^0$ 代替 $\vec{\alpha}^0$ 初值重复计算,直到满足一定的精度为止.

正确的解须满足 $0<\alpha_1<\alpha_2\dots\alpha_m<\pi/2$,解的收敛和初值的选取关系很大.在 $M\leq 40$, $\alpha_1=0.2\sim 1$ 范围内,以 $\Delta\alpha=60/M$ 等间隔的赋予初值,解都能收敛,表一给出了 $M=40$ 的一组解.

4 解的一些规律

经过大量计算,得到按谐波抑制原理形成 PWM 波的一些规律,

表二是开关角确定 ($M=40$), a_1 分别为 1.1, 1, 0.8, 0.5 时的谐波分布情况,可以看出随着 a_1 的减少,其谐波分量增加, $a_1=0.8$ 时 $a_{41}=0.665$,若设负载为纯电阻,计算表明基波功率占总功率 59%,而谐波功率占总功率 40%,逆变效率很低,谐波的峰值也很大.利用改变 a_1 调压的方法不是好的方案,从提高效率和减小谐波峰值的角度考虑,应该采用 α 大的一组开关角工作,调压应探讨新的方案.

表三可以看出,未消去的最低次谐波振幅相当大,尤其在 α_1 较小的情况下($a_1<1$),在有些应用场合会出现问题^[6].须平息谐波的最大峰值.在 $M=40$ 的情况下,可设 $a_{21}\sim a_{23}=0.24$.设定后谐波最大峰值出现在 61 次, $a_{61}=0.231$,比没有设定以前谐波的最大峰值 $a_{41}=0.455$ 减小了一半,这种方法少消去了几个谐波(a_{21}, a_{22}, a_{23}).

表四给出了开关角分别为 10、20、40 角, $a_1=1$ 时的谐波分布,可以看出 a_1 确定的情况下,谐波的峰值和开关角的多少无关.在可能情况下应该选多开关角,可以消除更多的谐波,同时使所剩谐波频率提高,利于滤波.

5 结 论

通过计算和分析说明:在需要调压的逆变器中,例如: VVVF、CVCF 逆变器中,应采用 $\alpha_1\geq 1$ 的固定组态,探讨各种新的调压方案.在条件允许的情况下应该采用多开关角的方案.可以消去较多的谐波成分,剩余的谐波分量频率相应的提高,有利于滤波.本文对如何分配谐波能量降低谐波的最大幅值作了初步探讨.

表 1 基波 $a_1=1$ 精度 0.001 解

1.289	2.869	4.271	5.746	7.257	8.628	10.243	11.516
13.231	14.408	16.220	17.307	19.201	20.211	22.202	23.122
25.196	26.040	28.192	28.965	31.190	31.898	34.191	34.840
37.194	37.790	40.201	40.750	43.211	43.719	46.224	46.698
49.239	49.686	52.256	52.682	55.274	55.685	58.290	58.695

表 2 $M=40$ 精度 0.001 基波 a_1 等于不同值时谐波分布

	第一次谐波峰	第二次谐波峰	第三次谐波峰
$a_1=11$	$a_{41}=0.330$	$a_{82}=0.147$	$a_{122}=0.112$
$a_1=1$	$a_{41}=0.454$	$a_{81}=0.222$	$a_{120}=0.114$
$a_1=0.8$	$a_{41}=0.665$	$a_{82}=0.180$	$a_{123}=0.113$
$a_1=0.5$	$a_{41}=0.670$	$a_{81}=0.282$	$a_{122}=0.09$

表 3 $M=40$ 精度 0.001

a_1	$a_2\sim a_{40}=0$		
	第一峰值	第二峰值	第三峰值
	$a_{41}=0.455$	$a_{81}=0.222$	$a_{120}=0.114$
a_1	$a_{21}\sim a_{23}=0.240$	$a_2\sim a_{20}=0$	$a_{24}\sim a_{40}=0$
	第一峰值	第二峰值	第三峰值
	$a_{41}=0.191$	$a_{61}=0.231$	$a_{103}=0.152$

表 4 各组 $\alpha_1=1$ 精度 0.001 各次谐波波峰值

	第一次谐波峰	第二次谐波峰	第三次谐波峰
$M=40$	$a_{41}=0.454$	$a_{81}=0.222$	$a_{120}=0.114$
$M=20$	$a_{21}=0.454$	$a_{41}=0.222$	$a_{60}=0.114$
$M=10$	$a_{11}=0.454$	$a_{21}=0.222$	$a_{30}=0.114$

参考文献:

[1] 胡永煊,佟为明,等.特定消谐 PWM 技术中非线性方程组解法的研究.现代电源技术(1),中国电源学会主编,科学出版社,1997,2;136~142.

[2] 佟为明,陈向阳,等.变频电源特定消谐技术中非线性方程组解法的研究[J].中国电机工程学报,1998,(5);54~57.

[3] 周青苗,马瑞卿,吴 斌.按谐波抑制原理形成 PWM 的新方法[J].电力电子技术,1997,(3);72~73.

[4] 陈 新,谢少军.用开关点预置 SHEPWM 控制方案实现变换器调压[J].电力电子技术,2000,(2);19~22.

[5] 佟为明,陈向阳,等.一种输出高质量正弦波的变频电源[J].低压电器,1998,(2)8~9.

[6] 高 桥.电力变换装置 PWM 制御方式[M].电气学会东京支部大会(昭 60).

[7] 王兆安,张良金,译.电力半导体变流电路[M].北京:机械工业出版社,1993,1,156~160.

[8] 张 立,赵勇健.现代电力电子技术[M].北京:科学出版社,1992,9,216~222.

Study on the Method of Producing PWM Waveforms According to Harmonic-suppressing Theory

LIU Fu-zhi, LIAO Yu-bo, WANG Liang

(School of Nature Science, East China Jiaotong Uni., Nanchang 330013, China)

Abstract: Through researching the rule of producing PWM waveforms according to Hammonic-suppressing theory, this pa-per puts forth the existing problem and direction of improving SHE technique.

Key words: hammonic-suppressing; PWM wave; problem

(上接第 125 页)

参考文献:

[1] 李盘杆,王天明,译.组合学导引[M].武汉:华中工学院出版社,1982.

[2] 李 庆,关 治,白峰杉,编.数值计算原理[M].北京:清华大学出版社,2000.

Expression and Application of the Function Defference Matrixes

ZHANG Ai-ping, CHEN Zhi-bing

(Hunan Metallurgical and Technical Institute, Zhuzhou 412000, China)

Abstract: The paper makes use of the knowledge of mutrixes, and the vector of function row that expresses the every grade difference of function as the vector is made into the product of function row and a matrix, which, thereby, bring light the internal relation of function difference and function, increases knowledge of function difference list.

Key words: function-row; difference-vector; edge of elements