

SIEMENS

SINAMICS 整流模块谐波分析

Sinamics infeeds harmonic effects on supply system

Getting started

Edition (08-04)

摘要 电网上所带的装置如发电机、变压器、补偿装置、变频器以及电机等，对于电网来说都有不同程度的影响或干扰，因此必须对装置谐波指数进行限制，目前国际上有很多针对电网谐波的标准，如欧标: **EN 61000-2-2, EN 61000-2-4**; 美标: **IEEE 519** 等。而国内也在对此逐步建立约束机制。因此我们有必要对 **SINAMICS** 产品的谐波特性进行掌握和了解。

关键词 谐波，整流模块

Key Words Harmonic, infeed, sinamics

电网上所带的装置如发电机、变压器、补偿装置、变频器以及电机等，对于电网来说都有不同程度的影响或干扰，因此必须对装置谐波指数进行限制，目前国际上有很多针对电网谐波的标准，如欧标: **EN 61000-2-2, EN 61000-2-4**；美标: **IEEE 519** 等。而国内也在对此逐步建立约束机制。因此我们有必要对产品的谐波特性进行掌握和了解。

谐波标准不但提出了各次谐波含量的要求，同时也提出总的谐波含量 THD 的规定，其中包括 THD(I)与 THD(V)。影响谐波含量的因素通常有以下几种：

1. 电网上装置的容量与数目
2. 装置在运行状态的功率输出
3. 整流装置的类型（如 6 脉动整流，带滤波器的 6 脉动整流，12 脉动整流等）
4. 进线电抗的数据
5. 变压器数据(如功率，以及相对的短路电压 U_k 等)
6. 供电系统的数据(如短路容量等)

SINAMICS S120 有三种整流单元，即 BLM（基本型电源模块）；SLM（智能型电源模块）；ALM（主动型电源模块）。由于硬件组成结构与工作方式不同，三种整流模块对电网谐波影响也不相同。

➤ **BLM (G130, G150, S120)**

硬件属性：整流单元由可控硅或二极管组成，因此只能工作在第一、二象限，不能实现能量向电网回馈，直流电容上多余能量仅能靠制动单元与制动电阻消耗掉。为了抑制电网谐波，BLM 前面必须安装相对短路电压为 2%的输入电抗器。

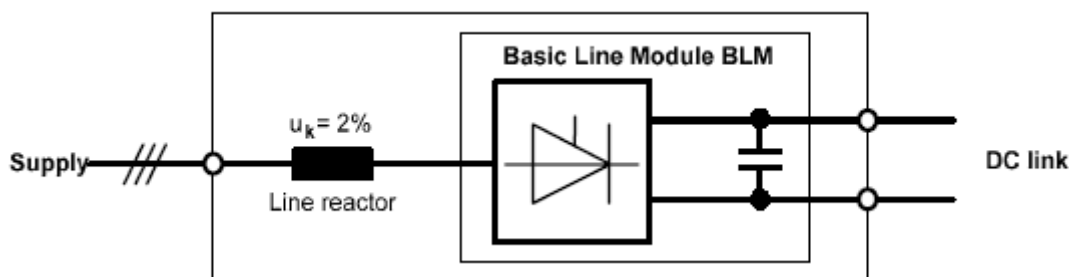


图 1 BLM 进线回路

直流电压:

BLM产生的直流母线电压波动大，同时受负载的影响比较大，通常全负载情况下，直流母线电压为三相输入电压的1.35倍。（ $V_{DCLink} \approx 1.35 \cdot V_{Line}$ ）

功率范围:

目前功率范围从 200KW 至 1500KW, 电压分为 380-480V 以及 660-690V 两个等级。

电压类型	功率 (kw)			输入电流 (A)		母线电流 (A)			效率 η	+24V 消耗 $I_{max}(A)$	最大电 缆长度 (m)**	订货号	尺寸(mm) (宽 x 高 x 深)	尺寸 代码
	额定 P_n	最大 P_{max}	功耗	额定 I_n	最大 I_{max}	额定 I_n	重载 I_H	最大 I_{max}						
3AC 380-480V	200	300	1.9	365	547	420	328	630	0.991	1.1	1500	6SL3330-1TE34-2AA0	305x1160x351	FB
	250	375	2.1	460	690	530	413	795	0.991	1.1	1500	6SL3330-1TE35-3AA0		
3AC 660-690V	250	375	1.5	260	390	300	234	450	0.994	1.1	1500	6SL3330-1TH33-0AA0	305x1160x351	FB

表 1 200-250 KW BLM 整流模块数据

书本型 BLM 功率范围，如下表所示:

冷却类型	内部风冷	冷板
20kW (内置制动单元)	6SL3130-1TE22-0AA0	6SL3136-1TE22-0AA0
40kW(内置制动单元)	6SL3130-1TE24-0AA0	6SL3136-1TE24-0AA0
100kW	6SL3130-1TE31-0AA0	6SL3136-1TE31-0AA0

表 2 书本型 BLM 整流模块订货号

谐波特性:

由于是6脉动的三相整流桥，BLM对电网有很高的谐波噪声，线电流中含次数为 $h = n * 6 \pm 1$ ，其中n为1, 2, 3等整数。总谐波电流畸变率THD(I)大约为30%-45%，可以通过安装滤波器LHF或12脉动的方式来减少谐波含量，最小谐波电流含量可以达到10%。下面展开详细论述:

根据短路容量的大小可以将供电系统分为强、中、弱供电系统。如下图所示:
其中

$$RCS = PCC \text{分界处短路容量} / \text{变频器容量}。$$

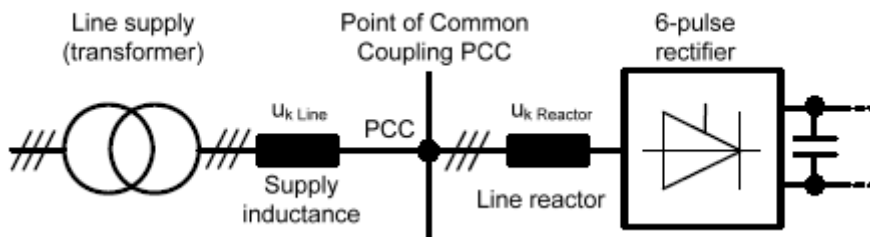


图 2 供电系统回路

从下表可以看出，对于不同的RCS, 得到供电系统的谐波含量不同。可以看出对于弱电网来说，其总谐波含量最小。

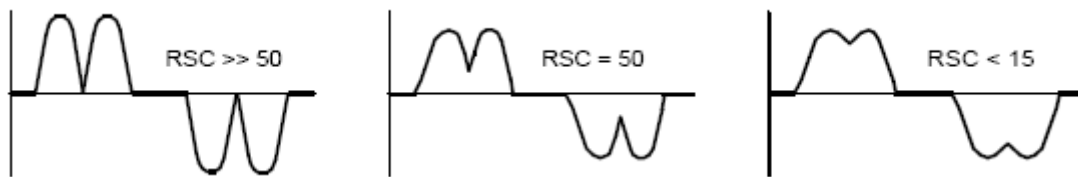


图 3 三种 RCS 进线电流波形

Supply system with high relative short-circuit power (RSC >> 50): "Strong supply system"										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	45.8 %	21.7 %	7.6 %	4.6 %	3.4 %	1.9 %	1.9 %	1.1 %	51.7 %
Supply system with average relative short-circuit power (RSC = 50)										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	37.1 %	12.4 %	6.9 %	3.2 %	2.8 %	1.9 %	1.4 %	1.3 %	40.0 %
Supply system with low relative short-circuit power (RSC < 15) "Weak supply system"										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	22.4 %	7.0 %	3.1 %	2.5 %	1.3 %	1.0 %	0.8 %	0.7 %	23.8 %

Typical harmonic currents of 6-pulse rectifier with line reactors $u_k = 2\%$

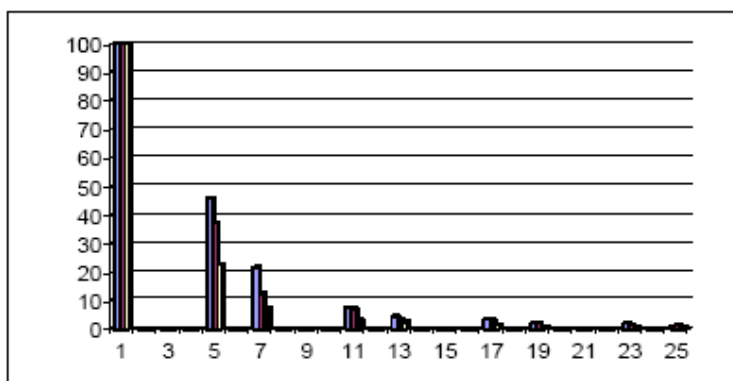


图 4 BLM 谐波含量数据

在安装了LHF之后，总的谐波电流畸变率大大减小，对于强、中、弱电网的总谐波含量如下表所示：

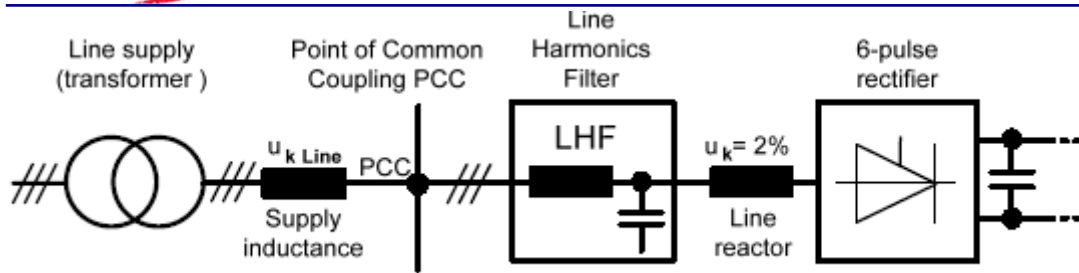


图 5 带有进线滤波器 BLM 电源回路

Supply system with high relative short-circuit power (RSC >> 50): "Strong supply system"										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I _h	100 %	4.5 %	4.7 %	2.8 %	1.6 %	1.2 %	0.9 %	0.6 %	0.5 %	7.5 %
Supply system with average relative short-circuit power (RSC = 50)										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I _h	100 %	4.2 %	4.4 %	2.6 %	1.4 %	1.2 %	0.8 %	0.6 %	0.5 %	7.0 %
Supply system with low relative short-circuit power (RSC < 15): "Weak supply system"										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I _h	100 %	2.9 %	3.1 %	1.8 %	1.3 %	1.1 %	0.7 %	0.6 %	0.5 %	5.0 %

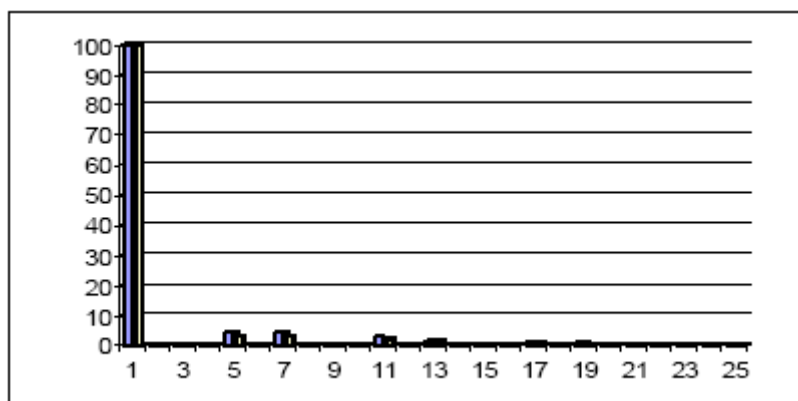


图 6 带有网侧谐波滤波器 BLM 谐波数据

可以看出，增加了网侧谐波滤波器后，电网谐波含量大大减小，三种供电系统都达到了10%以下。安装LHF之后的进线电流波形如下图

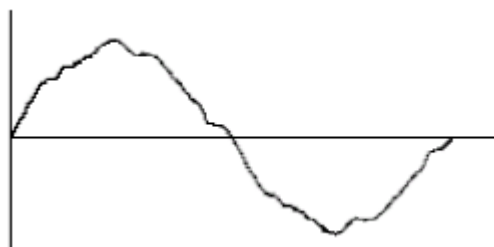
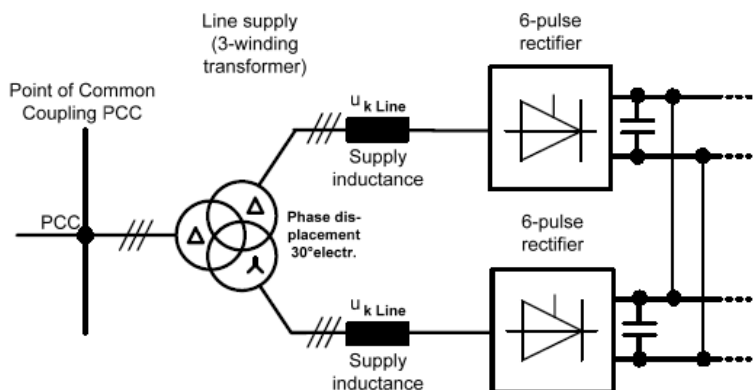


图 7 带有进线滤波器 BLM 进线电流

通过12脉动的方式来减小进线谐波含量：



其测试结果如下：

Supply system with low to medium relative short-circuit power (RSC = 15 ... 25): "Weak supply system"										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	3.7 %	1.2 %	6.9 %	3.2 %	0.3 %	0.2 %	1.4 %	1.3 %	8.8 %

Harmonic currents of 12-pulse rectifier circuits with separate three-winding transformer without line reactor

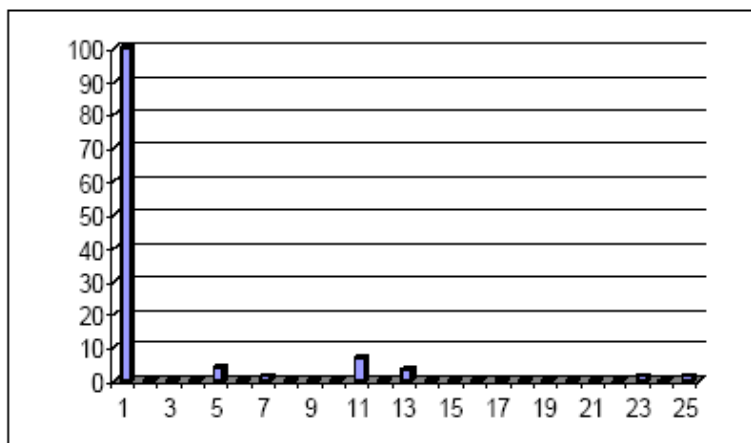


图 8 12 脉冲 BLM 谐波数据

由此可以看出，对于BLM, 通过上述两种方式都可以降低电网的谐波含量。

➤ **SLM (智能型电源模块或称非调节型电源模块)**

硬件属性：整流单元由 IGBT 组成，当变频器处于电动状态时，IGBT 不起整流作用，通过 IGBT 内部集成的二极管进行整流，当变频器处于发电状态时，IGBT 导通，与线电压保持同步，回馈电网，保证变频器四象限运行。SLM 前端需要安装短路电压为 4%的进线电抗器。

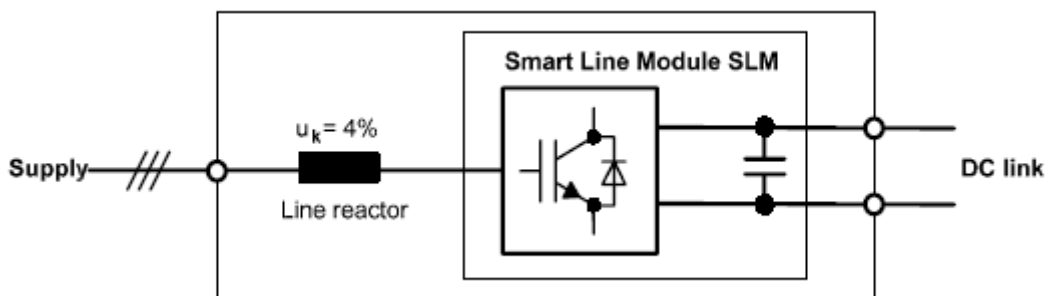


图 9 SLM 供电回路

直流电压：

SLM产生的直流母线电压是波动的，受负载的影响较大，在无负载的情况下，直流母线电压可以达到进线电压的峰值即 $V_{DCLink} = 1.41 \cdot V_{Line}$ ，但是在有负载的情况下，由于4%电抗器的压降，SLM的直流电压要低于BLM，通常 $V_{DCLink} \approx 1.32 \cdot V_{Line}$ 。

功率范围：

对于5KW与10KW的SLM模块，没有Drive-CliQ接口，不需与CU进行通讯控制，可以通过X22.2来定义是否实现能量回馈；对于16KW以上的SLM模块，需要通过参数来定义是否能量回馈。电压等级仅为380-480V。

谐波分析：

由于是6脉动的三相整流桥，SLM对电网有很高的谐波噪声，线电流中含次数为 $h = n \cdot 6 \pm 1$ ，其中n为1, 2, 3等整数。当变频器处于电动状态时，由SLM产生的谐波电流有与BLM一样的频谱分布，谐波总含量THD(I)大约为30%-45%。当变频器处于能量回馈状态时，5次谐波含量会明显减小，而其它高次数谐波含量会略微增加，总的谐波含量会减小几个百分点。如下表：

Current harmonics in rectifier operation (motor operation)										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	37.1 %	12.4 %	6.9 %	3.2 %	2.8 %	1.9 %	1.4 %	1.3 %	40.0 %
Current harmonics in regenerative operation										
h	1	5	7	11	13	17	19	23	25	THD(I)
I_h	100 %	20 %	16 %	11 %	8 %	7 %	6 %	5 %	4 %	32 %

表 3 SLM 谐波数据

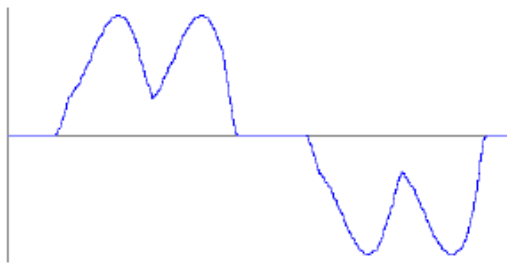


图 10 整流时进线电流波形

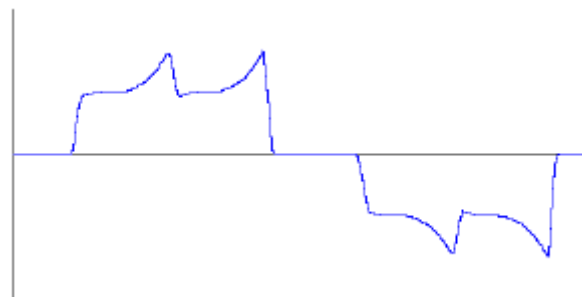


图 11 回馈时进线电流波形

由于整流与能量回馈时电流谐波分布频谱不一样，因此不能在 SLM 前面安装谐波滤波器 LHF。但是我们通过 12 脉动的方式来减少谐波电流。谐波可以减小到 10%。

➤ **ALM (S150, S120 DC-AC)**

硬件属性：整流单元由IGBT构成，高速开断的IGBT提供了一个可调、稳定的直流母线电压，而纯净电源滤波器使得回馈电网的电压波形接近于正弦波。实际应用中，在电网和ALM 之间必须安装与其功率相对应的电抗器与滤波器。对于大于或等于**36KW** 的**ALM**，必须使用与其相配的**AIM**模块。

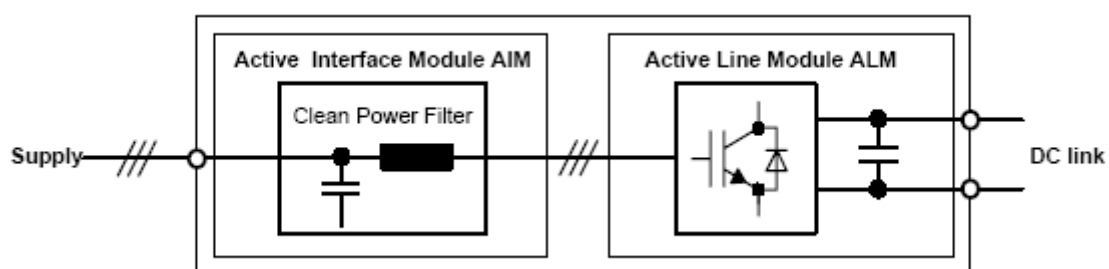


图 12 ALM 供电回路

直流电压:

ALM是电压可调型整流模块，其母线电压要高于进线端的峰值电压，即 $V_{DCLink} > \sqrt{2} \cdot V_{Line}$ ，通常情况下，直流母线电压可以进行设定，工厂的缺省值为 $V_{DCLink} = 1.50 \cdot V_{Line}$ 。最大 $V_{DCLink max}$ ，可以参考下表。注：应考虑电机的绝缘及耐压。

Line supply voltage V_{Line}	Maximum permissible DC link voltage in continuous operation $V_{DCLink max}$	Maximum attainable output voltage with space vector modulation $V_{Out max SVM}$	Maximum attainable output voltage with pulse-edge modulation $V_{Out max PEM}$
380 V – 480 V 3AC	720 V	503 V	538 V
660 V – 690 V 3AC	1100 V	770 V	822 V

表 4 ALM 最大直流电压

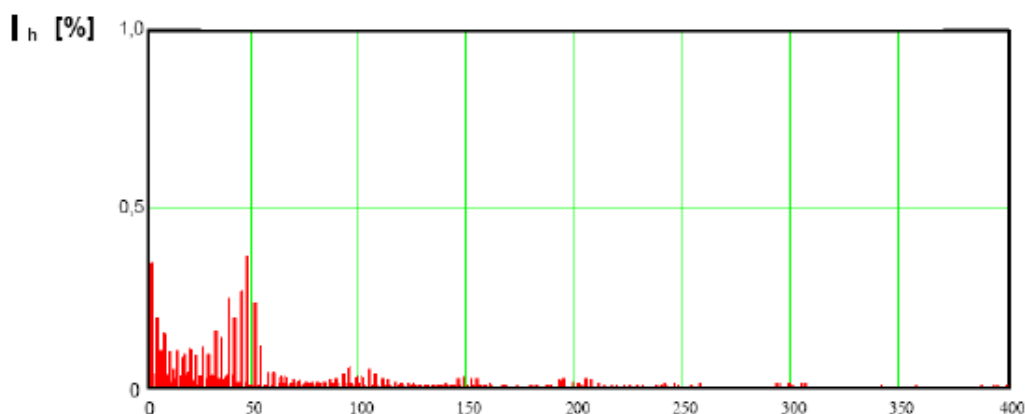
当进线电压较高时，例如高于416V时，直流电压要降低到进线电压的1.35倍，ALM工作在Smart模式。

功率范围:

ALM通常分为书本型与装机装柜型，书本型的功率为16-120KW，电压为380-480V；而装机装柜功率为132-900KW(380-480V)与560-1400KW(660-690V)。

谐波分析:

如果ALM配有纯净电源滤波器，软件设计上也提供了谐波控制器，对电网谐波影响几乎不存在，各次谐波电流、电压的含量都低于1%，总的电流谐波畸变率THD(I)与电压谐波畸变率THD(V)如下表。



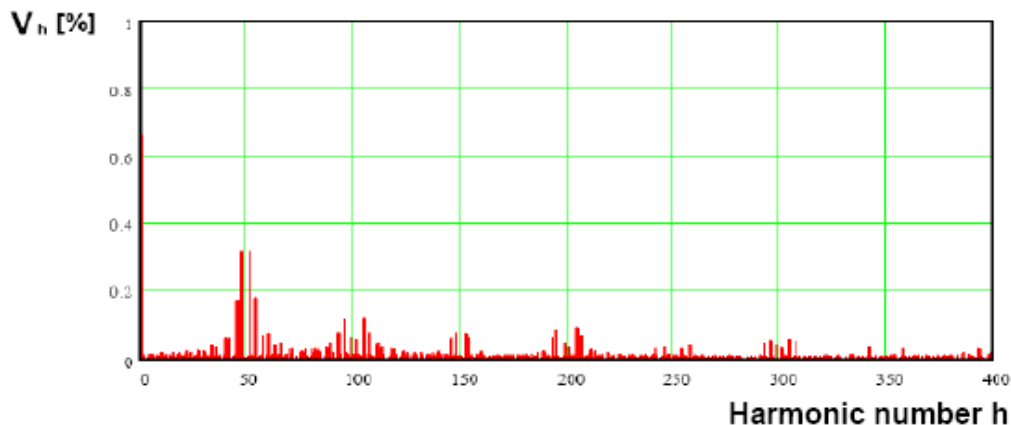


图 14 ALM 各次谐波含量分布

对于强、中、弱电网的总谐波含量如下表所示：

	Total distortion factor current THD(I)	Total distortion factor voltage THD(V)
Supply system with high relative short-circuit power (RSC >> 50): "Strong supply system"	< 4.1 %	< 1.8 %
Supply system with average relative short-circuit power (RSC = 50)	< 3.0 %	< 2.1 %
Supply system with low relative short-circuit power (RSC = 15) "Weak supply system"	< 2.6 %	< 2.3 %

表 5 ALM 总谐波含量

总结：

对于国际上的谐波标准，例如欧标: **EN 61000-2-2, EN 61000-2-4**；美标: **IEEE 519**等，BLM与SLM在不加滤波器的情况下，只有在RCS满足一定的条件下才可以达到。如果采用12脉动的供电方式或加装了LHF（仅BLM）滤波器，谐波会达到标准。而对于ALM, 均可以达到标准。

附录一 推荐网址

Drive

西门子（中国）有限公司

自动化与驱动集团 客户服务与支持中心

网站首页: <http://www.ad.siemens.com.cn/Service/>

专家推荐精品文档: <http://www.ad.siemens.com.cn/Service/recommend.asp>

驱动技术常问问题: <http://support.automation.siemens.com/CN/view/zh/10803928/133000>

“找答案” 驱动技术版区:

<http://www.ad.siemens.com.cn/service/answer/category.asp?cid=1038>

MC

西门子（中国）有限公司

自动化与驱动集团 客户服务与支持中心

网站首页: www.ad.siemens.com.cn/Service

专家推荐精品文档: <http://www.ad.siemens.com.cn/Service/recommend.asp>

SIMOTION常问问题:

<http://support.automation.siemens.com/CN/view/zh/10805436/133000>

SINUMERIK 常问问题:

<http://support.automation.siemens.com/CN/view/zh/10805517/133000>

“找答案” 运动控制系统版区:

<http://www.ad.siemens.com.cn/service/answer/category.asp?cid=1043>