

基于复合判据的谐波/间谐波源识别方法

王建勋^{1,2}, 刘会金¹, 刘春阳¹

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 武汉第二船舶设计研究所, 湖北 武汉 430064)

摘要: 提出一种基于多种判据进行组合判别的谐波/间谐波源识别方法。在对有功功率符号进行分析的同时将无功功率与有功功率之比作为参考, 判断功率角测量的可信性。在此基础上, 根据负荷阻抗通常远大于系统阻抗的事实, 追加绝对阻抗对不可信的数据进行补充判断, 并利用有功功率大小关系判断是否有背景谐波/间谐波源共同存在的复杂情况。提出一种时域测量法提取谐波和间谐波参数, 保证可获取更多的数据样本。对于间谐波源, 利用间谐波成对存在的特点增加了补充判据。仿真实例证明, 将各种方法结合在一起进行复合判断, 能增强谐波/间谐波源识别的稳健性。

关键词: 谐波/间谐波源; 识别; 有功功率; 无功功率; 绝对阻抗; 间谐波对; 谐波分析

中图分类号: TM 727; TM 714

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.07.011

0 引言

谐波/间谐波源识别问题一直是电能质量研究领域的重点和难点问题^[1-11]。各种形式的非线性负荷接入电网, 会向电网注入谐波和间谐波电流, 当谐波和间谐波电流流经系统阻抗时, 会在各母线上形成谐波和间谐波电压, 从而影响电网中其他负荷的正常工作。采取有效的激励措施来抑制电网中的谐波和间谐波水平是现代智能电网所要求的, 所以很有必要对引起污染的谐波/间谐波源进行相应惩罚, 并准确合理地划分各谐波/间谐波源的污染责任, 而实现责任划分的前提是识别出各谐波/间谐波源, 很多学者展开了这方面的研究。

现有的谐波/间谐波源识别方法大致可以分为如下 2 种: 一种是基于谐波功率潮流的方法, 这种方法是作为谐波潮流问题的逆问题提出的, 如有功功率法^[2-4]和无功功率法^[5]等; 一种是基于谐波阻抗的方法, 如临界阻抗法^[6-7]、最小二乘法^[8]、波动量法^[9-10]和线性回归法^[11]等。前者主要是定性分析, 而后者则需要一定量化参数。这 2 种方法中基于谐波功率潮流的方法直观明了又简单, 因此应用较为普遍。其中有功功率法利用谐波有功功率符号的正负来识别谐波源的位置, 但由于受到功率角的影响, 该方法容易失效; 无功功率法同样也是基于功率符号, 其假设谐波阻抗呈感性, 在无功功率符号为负时能直接判断负荷侧为主要谐波源, 但当无功功率符号为正时无法判断。基于谐波阻抗的方法中, 临界阻抗法的实现前提也是对谐波阻抗有着先验的知识, 最小二乘法则主要是将非线性负荷从线性负荷中分离出来, 波动量法和线性回归法能通过计算谐波发射水平来

判断主要谐波源是系统侧还是负荷侧, 但其在负荷侧含谐波源时不能判断出谐波负荷的具体位置。

谐波源识别是个较为定性的问题, 只要能通过简单的定性指标达到识别目的即可。为此, 本文考虑将多种定性方法结合在一起进行综合判断, 在对有功功率符号进行分析的同时将无功功率与有功功率之比作为参考, 大致判断可能出现的场合。在此基础上, 根据负荷阻抗通常远大于系统阻抗的事实, 追加绝对阻抗对不可信的数据进行补充判断, 并利用有功功率大小关系判断是否有背景谐波/间谐波源共同存在的复杂情况。针对这些参数的特点, 提出了一种时域方法来提取这些谐波参数, 可增加所取样本量。对于间谐波源, 还利用间谐波成对存在的特点增加了补充判据。最后通过仿真实例证明, 将各种方法结合在一起, 能增强谐波/间谐波源识别的可信性, 做好谐波/间谐波责任分摊的前提工作。

1 有功功率法识别谐波/间谐波源的原理

一般量测量为公共连接点(PCC)的进出线电流以及 PCC 的电压, 该测量过程可用图 1 表示。

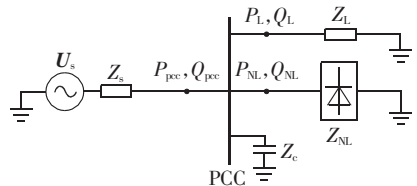


图 1 典型测量点结构图

Fig.1 Typical structure of measuring point

图中 U_s 和 Z_s 分别表示系统基波电压和系统阻抗, Z_L 、 Z_{NL} 和 Z_c 分别代表接至母线的线性负荷、非线性负荷以及无功补偿装置, 实心小点代表测量点。分别用 U_{pcc} 、 I_{pcc} 、 I_L 和 I_{NL} 表示 PCC 电压、系统电流、流入线性负荷和非线性负荷的电流, 由这些量即可得图示各功率, 下文中谐波、间谐波参数将分别加下

收稿日期: 2012-03-14; 修回日期: 2013-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177112)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51177112)

标 h 、 ih 表示。谐波有功功率被定义为:

$$P_{\text{pech}} = \text{Re}[U_{\text{pech}} I_{\text{pech}}^*] = |U_{\text{pech}}| |I_{\text{pech}}| \cos \varphi_{\text{pech}} \quad (1)$$

谐波无功功率定义为:

$$Q_{\text{pech}} = \text{Im}[U_{\text{pech}} I_{\text{pech}}^*] = |U_{\text{pech}}| |I_{\text{pech}}| \sin \varphi_{\text{pech}} \quad (2)$$

其中, φ_{pech} 为谐波电压相量和电流相量之间的相位差, $|U_{\text{pech}}|$ 和 $|I_{\text{pech}}|$ 分别为测得的电压和电流幅值。同理也可定义间谐波有功功率、无功功率。

仅以系统侧的谐波参数来说明,有功功率方向的结论如下:如果 $P_{\text{pech}} > 0$, 谐波或间谐波分量从上游来,表明系统侧为主要谐波源;如果 $P_{\text{pech}} < 0$, 谐波或间谐波分量从下游来,表明负荷侧为主要谐波源。将这个判据扩展到图 2 所示的多负荷系统,亦可根据功率方向判断谐波或间谐波源所位于的出线。理论上,功率方向法总是能够正确地识别占主导地位的谐波和间谐波源,但因有功功率中含余弦项,实际中功率角接近 90° 时,由于各方面的误差影响,在连续监测时 P_{pech} 的符号可能在正负之间振荡,所以可能发生误判。

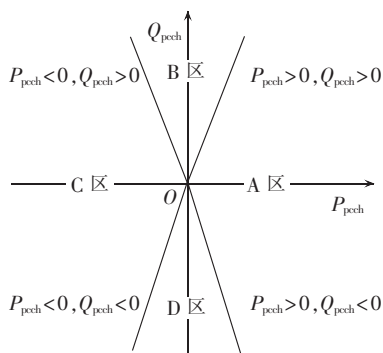


图 2 功率关系图

Fig.2 Schematic diagram of power relation

2 谐波/间谐波源识别的判据

2.1 无功功率

将无功功率也引入对谐波源的识别,按照各功率符号情况对相应数据进行分区得图 2。

图 2 所示按照误判盲区对理想情况进行了重新划分,通过 A 区数据可直接判断系统侧为主要谐波源,通过 C 区的数据可直接判断负荷侧为主要谐波源,但图示 B 区、D 区的功率参数满足功率角绝对值接近 90° 的条件,所以处于 B 区或 D 区的谐波功率参数既可能来自 A 区也可能来自 C 区,会发生谐波源的误识别。下面结合有功功率和无功功率之间的关系详细分析各区的特点。

A 区:测得的有功功率符号可信,根据有功功率的符号能判断出系统侧为主要谐波源,但负荷侧是否含有谐波源未知。

B 区: $|P_{\text{pech}}| \ll |Q_{\text{pech}}|$, 测得的有功功率符号不可信,但此时 $Q_{\text{pech}} > 0$ 。如果在 A 区,表明负荷侧阻抗主

要呈感性,如果在 C 区,表明系统侧阻抗主要呈容性。因系统阻抗在谐波或间谐波状态下呈感性,难以满足容性较重,所以数据属于 A 区,系统侧为主要谐波或间谐波源的概率较大。

C 区:测得的有功功率符号可信,表明负荷侧为主要谐波源,但系统侧是否含有谐波源未知。

D 区: $|P_{\text{pech}}| \ll |Q_{\text{pech}}|$, 测得的有功功率符号不可信,但此时 $Q_{\text{pech}} < 0$ 。如果在 A 区,表明负荷侧阻抗在谐波或间谐波状态下主要呈容性,如果在 C 区,表明系统侧阻抗在谐波状态下主要呈容性。因负荷阻抗在谐波或间谐波状态下多数呈感性,很少能满足容性较重的要求,所以数据属于 C 区,负荷侧为主要谐波或间谐波源的概率较大,这种情况经常对应于负荷侧含谐波/间谐波源而系统侧基本无背景谐波的情况。

根据以上分析及电力系统的实际情况,结合无功功率的符号和大小能对有功功率法进行一定的补充。

2.2 绝对阻抗

这里再添加一个绝对阻抗判据,首先给出绝对阻抗的概念:

$$|Z_{\text{pech}}| = |U_{\text{pech}}| / |I_{\text{pech}}| \quad (3)$$

根据图 1 易知,负荷侧存在谐波源且系统无背景谐波,谐波电流由负荷侧流向系统侧时, $|Z_{\text{pech}}|$ 与系统谐波阻抗对应。而系统侧为主要谐波源,当谐波电流由系统侧流向负荷侧时, $|Z_{\text{pech}}|$ 则与负荷谐波阻抗对应。由于负荷阻抗通常远大于系统阻抗,在负荷呈感性的情况下,负荷谐波阻抗也远大于系统谐波阻抗,所以对处于 B 区的数据可利用所测绝对阻抗值的大小来大概作如下判断:如果 $|Z_{\text{pech}}|$ 的大小与系统谐波阻抗幅值相当,表示谐波源在负荷侧;如果 $|Z_{\text{pech}}|$ 远大于系统谐波阻抗幅值,则表示谐波源在系统侧。同样, D 区的结果也可按照上述原则判断,因为此时如果系统侧为谐波源,负荷阻抗应呈强容性,此时的阻抗值应该很大。对于负荷侧绝对阻抗,有不同的特点:当负荷呈强感性时,所测含谐波源的负荷出线处的绝对阻抗是系统阻抗和感性负荷阻抗的并联,在此处测得的绝对阻抗值会很小;而当负荷呈强容性时,对应可能的并联谐振情况,所测含谐波源的负荷出线处的绝对阻抗则可能会很大。根据这些特点,将多个测量点的绝对阻抗值结合起来进行判断可以帮助对 B、D 2 个不可信区的情况进行补充分析。系统侧常常存在背景谐波,当负荷侧为主要谐波源时测得的系统绝对阻抗可能偏离系统谐波阻抗值,将该阻抗值与实际的系统谐波阻抗值进行比较也可大致判断系统侧是否有背景谐波源。由于在背景谐波和负荷谐波源共同存在时, PCC 电压是两者共同作用于

系统谐波阻抗的结果,所以在判断后还应能判断系统侧是否有谐波源。因此对于 C 区,绝对阻抗判据可以帮助判断在负荷侧为主要谐波源时,系统侧是否还有不可忽略的背景谐波源。需要说明的是,在判断后,因为系统谐波或间谐波电流无法直接测量,这种情况下理应扩展到全网谐波或间谐波源识别,然后才可进行责任分摊。

2.3 有功功率绝对值大小

除 C 区需要将非线性负荷从线性负荷中识别出来外,对于 A 区,当判知系统侧为主要谐波源时,无法判断负荷侧是否还有不可忽略的负荷谐波源。存在该负荷谐波源和系统侧谐波源共同作用向其他线性负荷提供谐波功率的情况,此时 PCC 电压也是两者共同作用的结果,所以在判断后还应将非线性负荷从线性负荷中识别出来。如果只根据谐波有功潮流的分布来进行判断,将有 4 种可能的情况,如图 3 所示。

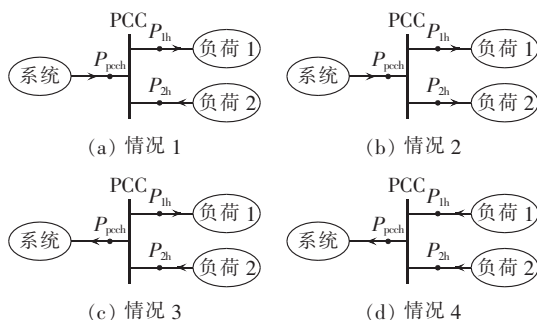


图 3 4 种可能的谐波有功分布

Fig.3 Four possible distributions of harmonic active power

根据图示关系,可以通过比较各测量点谐波有功功率的大小来判断。

a. 情况 1。此时系统侧存在谐波源,且某一出线上的谐波功率最大,表明负荷侧还存在谐波源,且谐波负荷位于出线中谐波功率较小的出线。

b. 情况 2。此时系统侧存在谐波源,且 $|P_{pch}|$ 最大,表明负荷侧无谐波源。

c. 情况 3。此时负荷侧存在谐波源,且某一出线上的谐波功率最大,表明该出线为谐波负荷所在出线。

d. 情况 4。此时负荷侧存在谐波源,且 $|P_{pch}|$ 最大,表明 2 条出线均存在谐波负荷。

图示情况 1 和 3 的功率大小关系相同,情况 2 和 4 的功率关系相同,可见该方法是不能单独使用的。但这种方法可以作为符号法的有力补充,因为 3 个测量点的电流测量数据是相关联的,可以以此对数据的可信性进行判断,所以该方法更具有稳健性。对应多条负荷出线存在的情况,可按照上述方法,每次只选择 2 条等效出线来进行逐层判断。

2.4 间谐波对特性

间谐波的处理过程同谐波类似,考虑典型间谐波源——交直交变频装置的间谐波分布具有一定特性,可单独讨论其间谐波源识别的特殊性。交直交变频装置产生的间谐波频率分布^[12]为:

$$f_{ih} = |(p_1 m \pm 1)f_s \pm n p_2 f_z| \quad m=0,1,2,\dots; n=1,2,3,\dots$$

其中 f_s 和 f_z 分别为系统基频和逆变器的驱动频率, p_1 和 p_2 分别为整流器和逆变器的脉动数。

上式说明间谐波总是成对存在,实际中幅值最大的间谐波电流频率分量^[13]为:

$$f_{ih} = |f_s \pm n p_2 f_z| \quad n=1,2,3,\dots \quad (4)$$

这 2 个分量的频率差是 $2f_s$,该结果表明,如果 2 个间谐波的频率的和或者差是 $2f_s$,它们就能够被认定是从同一个间谐波源发出的,对间谐波而言还可根据其成对存在的特征追加 2 条判据:

a. 不同频率下的负荷阻抗可能会有容性到感性之间的变换,即无功功率可能有正负号的变化,这一点有助于识别系统侧为间谐波源;

b. 间谐波对电流的幅值大致相等,这一点有助于将负荷侧的间谐波源从线性负荷中分离出来。

3 基于复合判据的谐波/间谐波源识别方法

根据上述分析,可总结得到谐波/间谐波源识别的一般步骤如下:

a. 根据有功功率和无功功率的关系进行判断,如果无功功率绝对值和有功功率绝对值相当或小于有功功率则可直接判知哪侧为主要谐波源;

b. 在有功功率绝对值远小于无功功率绝对值时,如果测得的绝对阻抗值远大于系统阻抗则表示系统侧为主要谐波源,而两者相当则表示负荷侧为主要谐波源,此时根据绝对阻抗值的大小判断系统侧是否还有不可忽略的背景谐波源;

c. 基于步骤 **a** 和 **b** 的判断结果,结合有功功率关系将谐波负荷从负荷中分离出来。

在间谐波源识别过程中,间谐波对的特性将作为上述判据的补充以增强识别结果的可信性。

4 谐波/间谐波参数的测量方法

为分别计量各次谐波和间谐波的有功功率、无功功率和阻抗参数,这里提出基于并联锁相环结构的时域测量方法,以保证可连续采集多组数据样本。假设仅含任意频率为 ω 的电压和电流,分别为:

$$\begin{cases} u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi_u) \\ i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_i) \end{cases} \quad (5)$$

其中, φ_u 和 φ_i 分别为电压和电流的初相位,功率因数角则为 $\varphi_u - \varphi_i$ 。如果要求该频率分量的功率,可先构造与该分量相同频率的正交分量:

$$\begin{cases} u' = \sqrt{2} U \cos(\omega t + \varphi_u) \\ i' = \sqrt{2} I \cos(\omega t + \varphi_i) \end{cases} \quad (6)$$

的间谐波对,对应的基波频率为额定频率 $f=50.2\text{ Hz}$,所带负载 Z 中 $R=10\text{ }\Omega$ 、 $L=0.02\text{ H}$,列出本文方法得

到的测量结果如表 1、2 所示,理论值可直接根据电压和阻抗参数计算得到。

表 1 测得的谐波功率和阻抗参数

Tab.1 Measured harmonic power and impedance parameters									
方法	基波参数			5 次谐波参数			7 次谐波参数		
	P_1/W	Q_1/var	$ Z_1 /\Omega$	P_5/W	Q_5/var	$ Z_5 /\Omega$	P_7/W	Q_7/var	$ Z_7 /\Omega$
理论值	357.67	225.63	11.82	7.31	23.05	33.09	0.98	4.31	45.28
所提方法	357.67	225.63	11.82	7.30	23.04	33.09	0.98	4.31	45.30

表 2 测得的间谐波功率和阻抗参数

Tab.2 Measured interharmonic power and impedance parameters						
方法	6.8 次间谐波			7.8 次间谐波		
	P_{ih}/W	Q_{ih}/var	$ Z_{\text{ih}} /\Omega$	P_{ih}/W	Q_{ih}/var	$ Z_{\text{ih}} /\Omega$
理论值	0.064	0.28	44.05	0.050	0.24	50.21
所提方法	0.064	0.28	44.01	0.048	0.24	50.20

可以看出,基于并联锁相环的参数测量方法可以准确地测量各次谐波有功功率、无功功率和阻抗值,其与理论结果相差无几,表明本文方法在测量各相关参数时能得到正确的结果。而且这里设置的基频已偏离标准频率,这表明在基频发生变化时,本文所提方法的测量结果能不受频率变化影响,具有一定的频率自适应能力。

5.2 不同负载情况下识别方法的测试

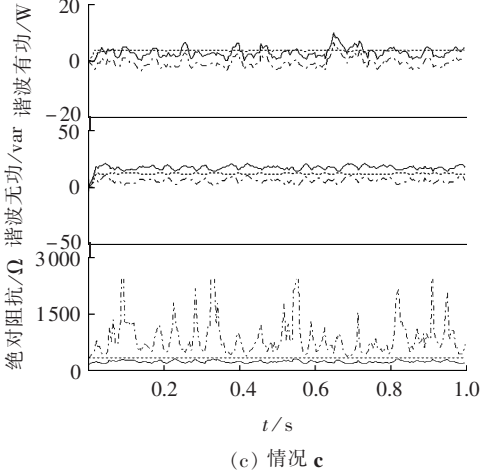
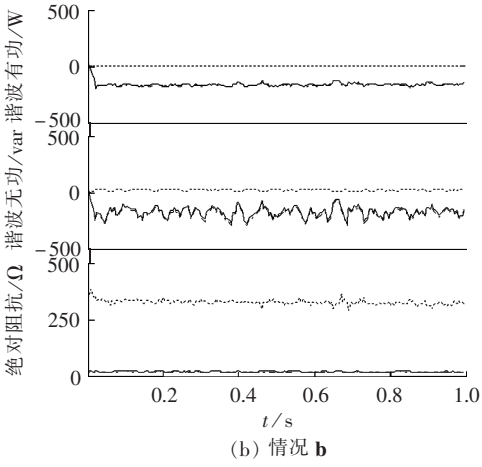
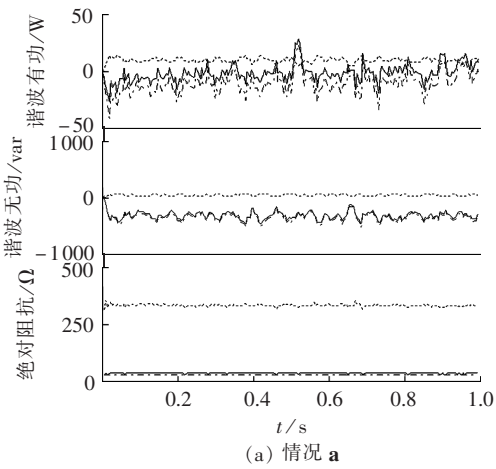
沿用图 3,这里将负荷 1 设为非线性负荷,负荷 2 设为线性负荷。为分析简便,仅以 5 次谐波为例,在仿真时设置系统基波阻抗为 $Z_s=1+j6.28\text{ }\Omega$,线性负载 $Z_L=100+j62.8\text{ }\Omega$,非线性负荷直接用 5 次谐波电流源来代替。

(1)首先讨论负荷重感性情况,实际情况多与此对应。以 5 次谐波为例,在仿真时设置系统基波阻抗为 $Z_s=1+j6.28\text{ }\Omega$,线性负载 $Z_L=100+j62.8\text{ }\Omega$,讨论以下 3 种情况:

- a. 无背景谐波,仅存在谐波电流源,为更加准确地反映实际情况,假设电流幅值和相位服从正态分布,幅值服从 $N(5,1.3)\text{ A}$,相位服从 $N(45,15)(^\circ)$;
- b. 考虑在短时间内背景谐波不变的情况,在情况 a 的基础上加入谐波电压源 $100\angle 0^\circ\text{ V}$ (负荷侧为主要谐波源);
- c. 在情况 b 的基础上将谐波电流幅值设为服从 $N(0.1,0.03)\text{ A}$ (系统侧为主要谐波源)。

在各种情况下作出 3 个测量点的有功功率、无功功率以及绝对阻抗随时间变化的曲线如图 8 所示。

情况 a。根据图 8(a)所示可知,系统侧的无功功率远大于有功功率,与图 2 所示 D 区情况对应。此时功率角绝对值接近 90° ,有功功率符号在连续测量时会在正负之间振荡。但可观察到测得的系统侧绝对阻抗值为 $31\text{ }\Omega$ 左右且波动不大,同时在负荷 2 处测得的有功功率绝对值最大,可判定负荷 1 为谐波源。



— 系统侧, --- 负荷 1, ---- 负荷 2

图 8 重感性负荷下各种情况的测试结果
Fig.8 Results of heavy inductive load tests under different conditions

情况 **b**。根据图 8(b)所示可知,系统侧有功和无功相当,对应图 2 所示 C 区,可直接判知负荷侧存在谐波源,通过有功功率的符号也可以直接判断负荷 1 为非线性负荷。而由于系统侧绝对阻抗并不在理论值附近变化,细节图如图 9 所示。可以看出,系统侧绝对阻抗已经偏离系统阻抗理论值很多,所以认为系统侧同时存在不可忽略的背景谐波源。

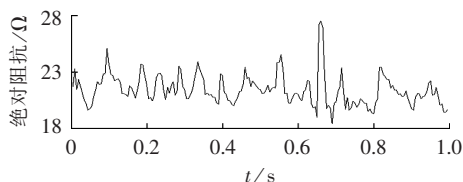


图 9 系统侧绝对阻抗的细节图
Fig.9 Detail diagram of absolute impedance at system side

情况 **c**。根据图 8(c)所示可知,由于负荷呈重感性,此时功率结果对应 B 区,有功功率符号易发生振荡。但可通过系统侧绝对阻抗来判断,图示在 3 个点测得的绝对阻抗均较大,可首先判断知系统侧存在谐波源且占主导地位。然后由有功功率关系,负荷 2 的有功功率绝对值普遍最大,所以还可判断知负荷 1 提供谐波,所以负荷 1 是非线性负荷。

(2)重容性情况,此时有可能对应并联谐振情况,还是以 5 次谐波为例,在仿真时设置系统基波阻抗为 $Z_s = 1 + j6.28 \Omega$,线性容性负荷基波阻抗为 $Z_L = 10 - j631.98 \Omega$ ($Z_{L5} = 10 - j127.32 \Omega$),还是讨论 3 种情况:

a. 无背景谐波,仅存在谐波电流源,为更加准确地反映实际情况,假设电流幅值和相位服从正态分布,幅值服从 $N(5, 1.3)A$,相位服从 $N(45, 15)(^\circ)$;

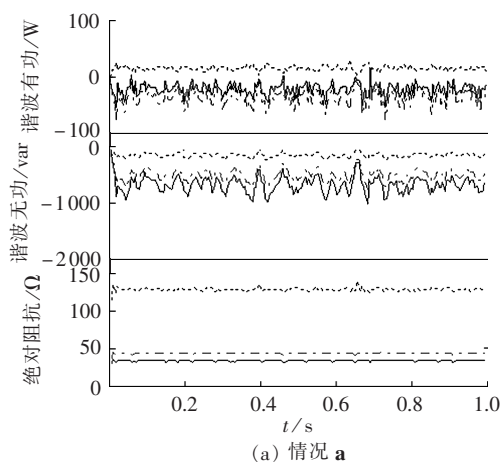
b. 考虑在短时间内背景谐波不变的情况,在情况 **a** 的基础上加入谐波电压源 $100 \angle 0^\circ V$ (负荷侧为主要谐波源);

c. 在情况 **b** 的基础上将谐波电流幅值设为服从 $N(0.1, 0.03)A$ (系统侧为主要谐波源)。

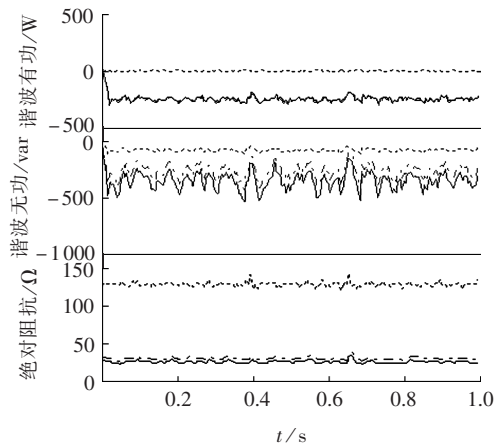
作出 3 个测量点的有功功率、无功功率以及绝对阻抗随时间变化的曲线如图 10 所示。

情况 **a**。根据图 10(a)所示可知,功率关系与图 2 所示 D 区情况相对应,系统侧绝对阻抗在 31Ω 附近变化不大,表明无背景谐波,谐波源在负荷侧,而由有功功率关系可以看出,负荷 1 处测得的有功普遍最大,表明负荷 1 为非线性负荷。

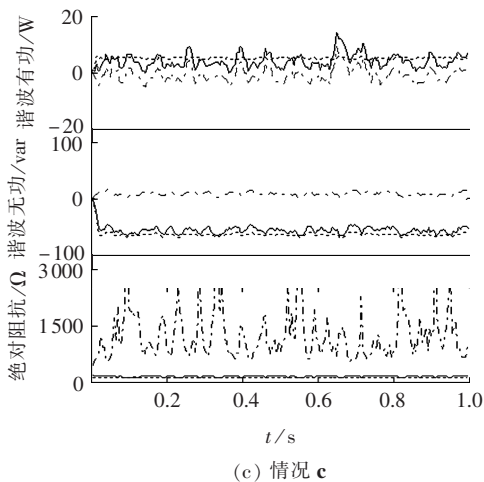
情况 **b**。根据图 10(b)所示可知,有功功率和无功功率相当,对应图 2 所示 C 区,可直接判知负荷侧存在谐波源,通过有功功率的符号也可以直接判断负荷 1 为非线性负荷。而由于系统侧绝对阻抗并不在理论值附近变化,细节图如图 11 所示。可以看出,系统侧绝对阻抗已经偏离系统阻抗理论值,所以认为系统侧同时存在不可忽略的背景谐波源。



(a) 情况 **a**



(b) 情况 **b**



(c) 情况 **c**

— 系统侧, --- 负荷 1, ---- 负荷 2

图 10 重容性负荷下各种情况的测试结果
Fig.10 Results of heavy capacitive load tests under different conditions

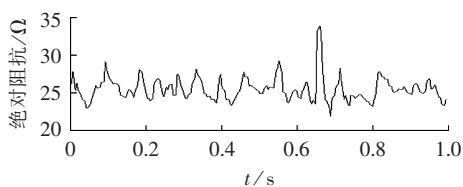


图 11 系统侧绝对阻抗的细节图
Fig.11 Detail diagram of absolute impedance at system side

情况 c。根据图 10(c)所示可知,功率关系与图 2 所示 D 区情况相对应,但可看出系统侧的绝对阻抗值远大于系统阻抗理论值,可以直接判断主要谐波源为系统侧,同时由有功功率关系可判断知负荷 1 也含谐波源。并且此时负荷 1 的绝对阻抗值很大,由此可判断负荷 1 向系统注入的谐波电流引起了很大的谐波电压,此时接近并联谐振。

5.3 间谐波测试

若交直交变频装置两侧均为 6 脉动,则在系统侧会产生频率为 $(6m \pm 1)f_s \pm 6nf_z$ 的间谐波频率分量。系统仿真图同图 6,负荷用文献[15]的交直交变频器模型来代替,整流器采用二极管自然换向,逆变则采用相控 180° 导电方式,输出频率为 60 Hz,系统阻抗为 $Z_s=1+j6.28 \Omega$,变频装置所带负荷的基波阻抗(相对于 50 Hz) $Z_L=10+j6.28 \Omega$,基频电压为 100 V,表 3 中列出仿真结果中主要间谐波的谐波参数。

表 3 主要间谐波参数
Tab.3 Parameters of main interharmonics

间谐波 频率/Hz	有功功 率/W	无功功 率/var	电压/V	电流/A	绝对阻 抗/ Ω
310	-0.096	-2.089	7.447	0.187	39.77
410	-0.056	-2.202	8.689	0.169	51.41

由表 3 可以看出,间谐波参数同谐波参数有相同的性质。而间谐波电流因为成对存在,两成对的间谐波幅值相差不大,这可以作为对间谐波负荷分离方法的补充。

6 结论

可以看出,将无功功率、绝对阻抗以及有功功率关系这些判据引入对谐波源的识别过程,能很好地弥补单一使用有功功率符号法的不足,同时有助于在复杂情况下识别出背景谐波源和负荷谐波源,判断结果的可信性可以得到增强。间谐波源识别同谐波源识别类似,但也要注意其特有的性质。实际中进行长时间的测量得到多组样本更能增强本方法的稳健性。由于系统侧的谐波源参数是不可直接测量的,如果能对引起该背景谐波的全网中所有谐波源节点有着非常清楚的认识,对谐波源的责任分摊工作方可更加有效地进行,如何进行谐波源的责任分摊将是笔者的下一步工作。

参考文献:

[1] 毕会静,赵书强. 一种公共连接点处用户与系统谐波的区分方法[J]. 电力自动化设备,2005,25(11):19-21.
BI Huijing,ZHAO Shuqiang. Method to determine customer and system harmonic contributions at PCC[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(11):19-21.
[2] ZHANG D,XU W,NASSIF A. Flicker source identification by

interharmonic power direction[C]//Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Saskatoon,SK,Canada:Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc,2005:549-552.
[3] XU W,LIU Xian,LIU Yilu. An investigation on the validity of power-direction method for harmonic source determination [J]. IEEE Trans on PWRD,2003,18(1):214-219.
[4] OMRAN W A,EL-GOHAREY H,KAZERANI M,et al. Identification and measurement of harmonic pollution for radial and non radial systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(4):1642-1650.
[5] LI Chun,XU W,TAYJASANANT T. A critical impedance based method for identifying harmonic sources[J]. IEEE Trans on PWRD,2004,19(2):571-678.
[6] 刘秀玲,王洪瑞,王永青,等. 临界阻抗法在配电网谐波源探测中的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(14):84-87.
LIU Xiuling,WANG Hongrui,WANG Yongqing,et al. Application of critical impedance method in harmonic source detecting in distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(14):84-87.
[7] CHEN Chaoying,LIU Xiuling. Critical impedance method—a new detecting harmonic sources method in distribution systems [J]. IEEE Trans on PWRD,2004,19(1):288-295.
[8] MOUSTAFA A A,MOUSSA A M,EL-GAMMAL M A. Separation of customer and supply harmonics in electrical power distribution systems[C]//Harmonics and Quality of Power 2000 Proceedings. Orlando,Florida,USA:[s.n.],2000:1035-1040.
[9] 赵勇,沈红. 谐波源的识别及其余非谐波源的分离方法[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):84-87.
ZHAO Yong,SHEN Hong. Approach of identification and separation of harmonic sources[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(5):84-87.
[10] 齐勇,江亚群,黄纯,等. 谐波源和闪变源的识别算法[J]. 电力自动化设备,2011,31(11):60-68.
QI Yong,JIANG Yaqun,HUANG Chun,et al. Identification algorithm of harmonic source and flicker source[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(11):60-68.
[11] 张巍,杨洪耕. 基于二元线性回归的谐波发射水平估计方法[J]. 中国电机工程学报,2004,24(6):50-53.
ZHANG Wei,YANG Honggeng. A method for assessing harmonic emission level based on binary linear regression [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(6):50-53.
[12] 郝江涛,刘念,辛晋渝,等. 电力系统间谐波分析[J]. 电力自动化设备,2004,24(12):36-39.
HAO Jiangtao,LIU Nian,XING Jinyu,et al. Study on interharmonic of power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(12):36-39.
[13] 金维刚,刘会金,李智敏,等. 3 种典型间谐波源的间谐波测量及结果分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(12):30-35.
JIN Weigang,LIU Huijin,LI Zhimin,et al. Interharmonic measurement of three typical interharmonic sources and result analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(12):30-35.
[14] MCNAMARA D M,ZIARANI A K,ORTMEYER T H. A new technique of measurement of nonstationary harmonics[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2007,22(1):387-395.

- ZHANG Bo, HE Benteng. Estimation of transient character for estimation of transient character for UHV transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(5): 1-5.
- [13] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 7.
- [14] 史燕琨, 肖湘宁, 邹积岩. 基于边界保护的配电网故障区段无通信定位方法[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 87-93.
- SHI Yankun, XIAO Xiangning, ZOU Jiyan. A non-communication fault section location method for power distribution system based on boundary protection[J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 87-93.

- [15] MEGAHED A I, MONEM MOUSSA I, BAYOUMY A E. Usage of wavelet transform in the protection of series-compensated transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2006, 21(3): 1213-1221.

作者简介:

张鑫(1979-), 男, 河北怀安人, 博士后, 研究方向为电力系统微机保护(E-mail: zxl1979@163.com);

牟龙华(1963-), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统微机保护和电能质量(E-mail: lhmu@vip.163.com)。

Transient protection based on main frequency component of transient fault current for mine power network

ZHANG Xin, MU Longhua

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: A kind of protection scheme based on the main frequency component of transient fault current is proposed for mine power network. The main frequency band of transient fault current of 6/10 kV distribution line for mine is analyzed and a corresponding band-pass filter is connected in parallel at the line boundary, which is used to attenuate the transient fault current components within that band for strengthening the difference of transient current spectrum energy within main frequency band between internal fault and external fault. The proposed scheme is simulated with PSCAD/EMTDC and the setting value is selected according to the simulative results, which show that, the spectrum energy difference between internal fault and external fault is obvious due to the filter, and the proposed scheme is immune to the fault type, transition resistance and fault initial phase angle.

Key words: transient current; main frequency; electric filters; mine power network; transient protection; relay protection

(上接第69页 continued from page 69)

- [15] 李琼林, 刘会金, 张振环, 等. 基于互调原理的交直流系统中的谐波分析[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 107-114.
- LI Qionglin, LIU Huijin, ZHANG Zhenhuan, et al. Interharmonic analysis in the AC/DC/AC system based on intermodulation theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(34): 107-114.

为配电系统优化和电能质量分析与控制(E-mail: wangcoven7@163.com);

刘会金(1952-), 男, 湖北大冶人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电能质量分析与控制(E-mail: hjliu@whu.edu.cn);

刘春阳(1987-), 男, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向为电能质量分析与控制(E-mail: liuchunyang@whu.edu.cn)。

作者简介:

王建勋(1984-), 男, 湖北随州人, 博士研究生, 研究方向

Identification of harmonic and interharmonic sources based on composite criterion

WANG Jianxun^{1,2}, LIU Huijin¹, LIU Chunyang¹

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: A method to identify harmonic and interharmonic sources is proposed based on composite criterion, which analyzes the sign of active power and takes the ratio of reactive power and active power as a reference to judge the credibility of power angle measurement. Furthermore, it also takes the absolute impedance, which is normally far larger than the system impedance, as an additional criterion to identify the unreliable data and determines the co-existence of background harmonic sources and inter-harmonic sources according to the amount of active power. A time-domain measuring method is proposed to extract the harmonic and interharmonic parameters for getting more data samples. As the interharmonic appears in pairs, a supplementary criterion is added. Simulation proves that, the combination of different identification methods increases the identification robustness.

Key words: harmonic and interharmonic sources; identification; active power; reactive power; absolute impedance; interharmonic pair