

# 电网电压不平衡及谐波畸变时基波电压 正负序分量分离新方法\*

孙伟莎<sup>1</sup>, 程启明<sup>1</sup>, 程尹曼<sup>2</sup>, 谭冯忍<sup>1</sup>, 李涛<sup>1</sup>, 陈路<sup>1</sup>

(1. 上海电力学院 自动化工程学院 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200090;  
2. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 针对传统锁相环(PLL)在电网电压不平衡及谐波畸变下利用常规软件锁相环不能准确获取相位的问题,提出了一种新的正负序分量分离新方法。利用了相序解耦谐振控制器能去除高次谐波和延时信号消除(DSC)法可滤除特定谐波的特性,将相序解耦谐振和延时信号消除法结合起来,达到更好的正负序分量分离的效果。最后,采用 MATLAB/Simulink 软件仿真结果证明了所提出方法的可行性和有效性。

**关键词:** 电网电压不平衡; 软件锁相环; 正负序分量; 相序解耦谐振; 延时信号消除  
**中图分类号:** TM 71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2017)10-0094-08

## A New Method of Positive and Negative Sequence Separation of Fundamental Voltages in Voltage Unbalance and Harmonic Distortion\*

SUN Weisha<sup>1</sup>, CHENG Qiming<sup>1</sup>, CHENG Yinman<sup>2</sup>, TAN Fengren<sup>1</sup>, LI Tao<sup>1</sup>, CHEN Lu<sup>1</sup>

(1. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai Key Laboratory  
Power Station Automation Technology Laboratory, Shanghai 200090, China;  
2. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** A new positive and negative sequence component separation method was proposed to solve the problem that the traditional Phase-Locked Loop (PLL) can not obtain the phase accurately by using the conventional Software PLL (SPLL) under the condition of grid voltage unbalance. It used the phase Sequence Decoupling Resonant (SDR) controller to better perform the high-order harmonic filtering effect and the Delayed signal cancellation (DSC) have characteristics that could filter out of the specific harmonics, combine SDR and the DSC to achieve a good positive and negative sequence Component separation effect. Finally, the simulation results of MATLAB/Simulink showed that the proposed method was feasible and effective.

**Key words:** unbalanced grid voltage; software phase-locked loop (SPLL); positive and negative sequence components; sequence decoupled resonant (SDR); delayed signal cancellation (DSC)

## 0 引言

基于当今资源的日渐枯竭的现状,新能源发

电越来越得到重视和应用,但风力发电、光伏发电等新能源发电系统具有间接性和不确定性,并入电网后就会很大程度地影响电网的电能质量。其

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(61573239);上海市重点科技攻关计划项目(14110500700);上海市自然科学基金项目(15ZR1418600);上海市电站自动化技术重点实验室项目(13DZ2273800)

作者简介: 孙伟莎(1993—),女,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化、新能源发电控制等。

程启明(1965—),男,教授,硕导,研究方向为电力系统自动化、发电过程控制、先进控制及应用等。

程尹曼(1990—),女,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化、新能源发电控制等。

中最严重的影响之一就是会导致电网电压不平衡及谐波的产生<sup>[1]</sup>。

当电网电压不平衡及谐波存在时,传统的锁相环(Phase-Locked Loop, PLL)将不再适用。为此,一般情况下是对电压进行正负序分量分别提取,再进行锁相。文献[2]提出了一种基于改进 Kalman 滤波器的方法来实现基波正负序分离,但 Kalman 滤波器的广泛应用受到自身一些因素的限制。文献[3]采用 2 次谐波滤除法,利用二次陷波器滤除 dq 坐标系下的 2 次谐波,但陷波器的参数设计以及数字实现复杂,系统的动态性能受到影响。文献[4]采用二阶广义积分器(Second Order Generalized Integrator, SOGI)的正序电压检测方法,但该方法对低次滤波效果欠佳。文献[5-6]对 SOGI 做进一步的简化,提出相序解耦谐振控制器(Sequence Decoupled Resonant, SDR),相比较二阶广义积分器,可达到相同的滤波效果,且结构更加简单,但同样对低次谐波滤波效果不好。文献[7-8]提出了延时信号消除(Delay Signal Cancellation, DSC)级联法,但此法只能消除特定的谐波,要达到理想的结果,则要级联多级,计算量大。在此基础上,文献[9-10]提出了一种改进的锁相环,即二阶广义积分与级联延时信号消除结合(SOGI-DSC)的方法,但该方法结构过于繁杂。

本文提出正负序分量分离的新方法,将 SDR 及 DSC 两种方法结合起来的 SDR-DSC,能够在电压不平衡及存在低次高次谐波的情况下,相比于常规的软件 PLL(Software PLL, SPLL),更准确地分离出正负序分量,且其结构相比较文献[9-10]提出的方法要简单得多。通过与文献[11-12]提出的 SPLL 及文献[5-6]提出的 SDR、文献[9-10]中的 SOGI-DSC 的仿真结果作比较,验证了这种新方法的可行性和有效性。

### 1 三相软件锁相环的工作原理

常规的 SPLL 的基本结构<sup>[9-10]</sup>如图 1 所示。当电网三相对称时,在电网电压定向情况下,通过  $\alpha\beta$  变换和 dq 变换,  $u_q$  和给定信号经过 PI 调节得出频率差,然后与给定频率相加,就可获得电网的角频率,经过积分环节,可得电网的相位,从而可锁定电网的频率和相位。

在理想的三相平衡的电网电压下,该传统的

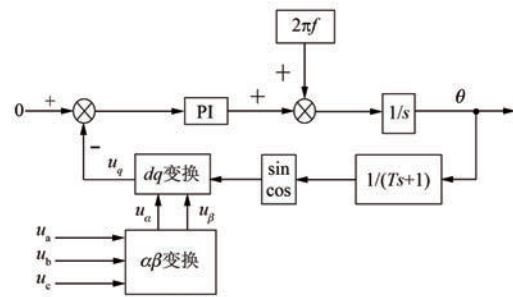


图 1 常规 SPLL 的基本结构

SPLL 可准确且快速地检测出电网电压的相位信息。但当三相电网电压严重不平衡时,系统会存在大量的二倍频的负序电压谐波,则该锁相环就难以实现其功能。在三相电网电压不平衡并且电网电压无谐波分量的时候,电网电压矢量可通过对称分量法来分解成正序电压分量、负序电压分量和零序分量。在三相三线制系统中,不把零序分量考虑在内,则电网电压的表达式<sup>[6]</sup>为

$$\begin{cases} u_a = U^+ \cos \omega t + U^- \cos(\omega t + \varphi^-) \\ u_b = U^+ \cos(\omega t - 2\pi/3) + \\ \quad U^- \cos(\omega t + 2\pi/3 + \varphi^-) \\ u_c = U^+ \cos(\omega t + 2\pi/3) + \\ \quad U^- \cos(\omega t - 2\pi/3 + \varphi^-) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $U^+$ 、 $U^-$ ——基波电压的正序和负序分量的幅值;

$\omega$ ——角速度;

$\varphi^-$ ——基波电压的负序分量相对正序分量的初始相位。

将三相旋转坐标轴下的分量通过坐标变换可以得到在两相静止坐标下  $\alpha\beta$  的分量:

$$u_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = U^+ \begin{bmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \end{bmatrix} + U^- \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \varphi^-) \\ -\sin(\omega t + \varphi^-) \end{bmatrix} \quad (2)$$

经过 Park 变换可以得到同步旋转坐标系下 d、q 轴上的电压分量表达式为

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta' & \sin \theta' \\ -\sin \theta' & \cos \theta' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = U^+ \begin{bmatrix} \cos(\omega t - \theta') \\ \sin(\omega t - \theta') \end{bmatrix} +$$

$$U^- \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \varphi^- + \theta') \\ \sin(\omega t + \varphi^- + \theta') \end{bmatrix} \quad (3)$$

假定 SPLL 对基波的正序分量的相位锁定时,  $\omega t = \theta'$ , 式(3)可表示为

$$\begin{cases} u_d = U^+ + U^- \cos(2\omega t + \varphi^-) \\ u_q = 0 - U^- \sin(2\omega t + \varphi^-) \end{cases} \quad (4)$$

由式(4)可知, 负序分量会在  $d, q$  轴上产生 100 Hz 的 2 倍工频波动, 将会对正序分量幅值的测量造成困难, 并且不能很准确地进行相位检测。针对这种情况, 下面对常规的 SPLL 进行了试验测试。

测试时假设输入的三相电压  $u_a, u_b, u_c$ , 其中 A 相正序分量幅值为 380 V、初相位为  $\pi/2$  和负序分量幅值为 380 V、初相位为  $\pi/2$  的叠加, 则 A、B、C 的电压可表示为

$$\begin{cases} u_a = 380\sin(100\pi t + \pi/2) + 380\sin(100\pi t + \pi/2) \\ u_b = 380\sin(100\pi t + \pi/2 - 2\pi/3) + 380\sin(100\pi t + \pi/2 + 2\pi/3) \\ u_c = 380\sin(100\pi t + \pi/2 + 2\pi/3) + 380\sin(100\pi t + \pi/2 - 2\pi/3) \end{cases} \quad (5)$$

测试结果如图 2、图 3 所示。由图 3 可见,  $d, q$  轴上的分量中都含有正弦交流分量。该正弦交流分量的频率为 100 Hz, 并且其幅值与电压的负序分量的幅值相等, 相位差为  $\pi/2$ , 与式(4)的结

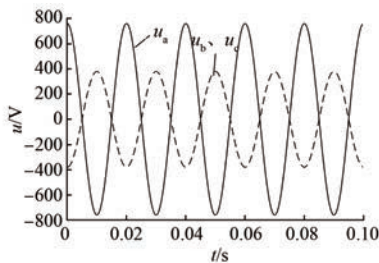


图 2 输入信号图

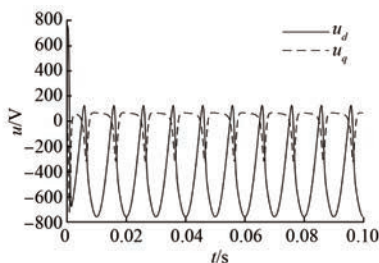


图 3  $u_d, u_q$  波形图

论一致。除此之外, SPLL 由于自身结构的缺陷, 只能准确地测量出正序分量的幅值与相位角, 而当输入的电压严重不平衡(含有负序分量)时, 其并不能分离出负序分量, 进而也无法检测出正序分量的相位和频率。

## 2 电网电压不平衡条件下的新型正负序分量分离方法

### 2.1 正负序分量分离的总体框图

正负序分量分离的总体框图如图 4 所示。本文在  $\alpha\beta$  变换和  $dq$  变换中加入 SDR 控制器和级联的 DSC 控制器。在三相三线制中无零序分量, 只有正负序分量。为了准确快速地分离出正负序分量, 本文利用 SDR 较好的滤除高次谐波效果和 DSC 去除特定次谐波的特性, 把两者结合起来以达到更好的正负序量分离的效果。

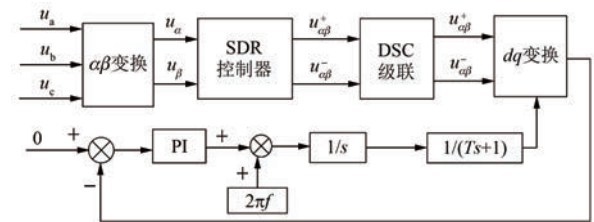


图 4 正负序分量分离的总体框图

### 2.2 SDR 控制器

SDR 控制器的内部结构, 可以看成是 SOGI 的一种降阶处理结果。SDR 控制器用于三相不平衡系统的并网电流控制, 对于不平衡电流中的正序电流分量和负序电流分量, 采用正序解耦谐振 (Positive Sequence Decoupled Resonant, PSDR) 控制器与负序解耦谐振 (Negative Sequence Decoupled Resonant, NSDR) 控制器进行控制。根据文献[6, 12]可得

$$\begin{cases} G_{\text{PSDR}}(s) = \frac{k_i \omega_c}{s - j\omega_0 + \omega_c} \\ G_{\text{NSDR}}(s) = \frac{k_i \omega_c}{s - j\omega_0 + \omega_c} \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $\omega_0$ ——谐振频率;

$\omega_c$ ——截止频率系数;

$k_i$ ——增益系数。

正、负序谐振控制器在谐振频率  $\omega_0$  处的增益

是  $k_i$ , 取  $k_i=1$  可以保证正、负序电压分量的分离。

由式(6)可得正负序分量在两相静止坐标系下的表达式为

$$\begin{cases} u_{\alpha\beta}^+ = \frac{\omega_c}{s - j\omega_0 + \omega_c} u_{\alpha\beta} \\ u_{\alpha\beta}^- = \frac{\omega_c}{s + j\omega_0 + \omega_c} u_{\alpha\beta} \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $u_{\alpha\beta}^+, u_{\alpha\beta}^-$ ——正、负序谐振控制器的电压分量;

$u_{\alpha\beta}$ ——输入的电网电压矢量。

式(7)可变为

$$\begin{cases} u_{\alpha\beta}^+ = \frac{\omega_c u_{\alpha\beta} - \omega_c u_{\alpha\beta}^+ + j\omega_0 u_{\alpha\beta}^+}{s} \\ u_{\alpha\beta}^- = \frac{\omega_c u_{\alpha\beta} - \omega_c u_{\alpha\beta}^- - j\omega_0 u_{\alpha\beta}^-}{s} \end{cases} \quad (8)$$

又知,

$$\begin{cases} ju_{\alpha}^+ = -u_{\beta}^+ & ju_{\beta}^+ = u_{\alpha}^+ \\ ju_{\alpha}^- = u_{\beta}^- & ju_{\beta}^- = -u_{\alpha}^- \end{cases} \quad (9)$$

由上述关系可得正、负序谐振控制器的结构, 如图5所示。

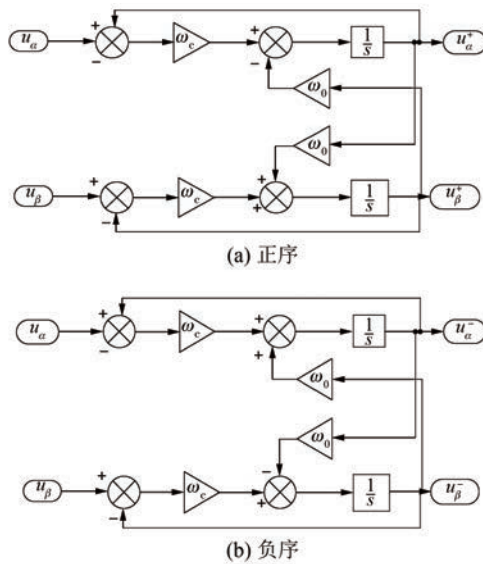
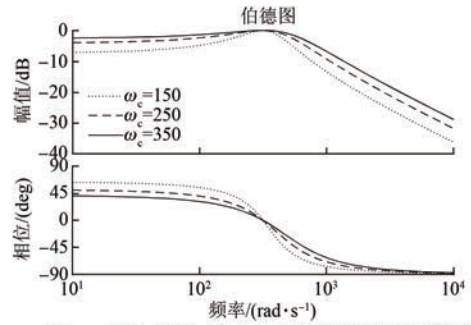


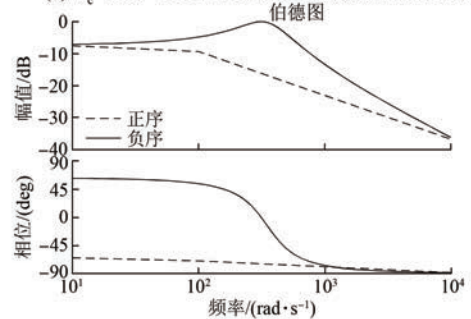
图5 正、负序谐振控制器的结构

图6为SDR控制器的伯德图。图6中,  $\omega_0$  取  $100\pi$  rad/s。

图6(a)为  $\omega_c$  分别取 150、250、350 时的正序相序解耦谐振控制器的伯德图。由图6(a)可知, 当参数  $\omega_c$  变大时, 带宽变大, 系统的响应速度也变快了, 但对于在谐振频率周围的信号, 对其增益



(a)  $\omega_c=150、250、350$ 时正序谐振控制器伯德图



(b)  $\omega_c=150$ 时正、负序谐振控制器伯德图

图6 SDR控制器的伯德图

的衰减作用则变小了。

图6(b)为正、负序谐振控制器在  $\omega_c$  取 150 的情况下的伯德图, 图6(b)中虚线、实线分别为正序、负序谐振控制器的伯德图。由图6(b)可见, 在  $\omega_0$  为  $100\pi$  时, 正序谐振控制器增益为 0, 即对基波没有衰减作用。比较  $100\pi$  两侧, SDR 对高次谐波衰减得较快, 而对低次谐波衰减得非常缓慢。

### 2.3 正负序级联的 DSC 环节

为了弥补 SDR 这种降阶谐振控制器对低次谐波滤除效果不理想的缺陷, 本文在 SDR 控制器后端再级联了延时信号消除 DSC 控制器, 用以消除特定的谐波。

在正序旋转坐标轴中, 正序分量为直流量, 负序分量为 2 倍频的交流量,  $n$  次谐波则变成了  $n-1$  次谐波; 在负序旋转坐标系中, 正序分量为 2 倍频的正序基波分量, 负序分量为直流量,  $n$  次谐波则变成了  $n+1$  次谐波。在旋转坐标系中, 由于谐波仍然是正弦波, 且具有半波对称性, 因此可以利用 DSC 进行消除谐波<sup>[8]</sup>。在  $dq^+, dq^-$  坐标系中将其和延时  $T/[2(n-1)]$  的量进行相加, 分别可得:



$$\begin{cases} \text{DSC} [U_{dq^+}^{n-1}] = \frac{1}{2} \left\{ U_{dq^+}^{n-1}(t) + U_{dq^+}^{n-1} \left[ t - \frac{T}{2(n-1)} \right] \right\} \\ \text{DSC} [U_{dq^+}^{n+1}] = \frac{1}{2} \left\{ U_{dq^+}^{n+1}(t) + U_{dq^+}^{n+1} \left[ t - \frac{T}{2(n+1)} \right] \right\} \end{cases} \quad (10)$$

式中： $T$ ——基波分量周期；  
 $n$ ——第  $n$  次谐波；

下标  $d, q$ —— $d, q$  轴坐标上的分量。

因为延时对 PLL 的稳定性和动态响应会有一些影响,所以可以将  $dq$  坐标系中的 DSC 级联算法通过 Park 逆变换转换到  $\alpha\beta$  坐标系中,进而可得在  $\alpha\beta$  坐标系中 DSC 算法为

$$\begin{cases} \text{DSC}[U_{\alpha\beta^+}^n] = \begin{bmatrix} \text{DSC}_n(\alpha) \\ \text{DSC}_n(\beta) \end{bmatrix}_p = \\ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} u_\alpha + u_\alpha(t - T/n_1) \cos(2\pi/n_1) - \\ u_\beta(t - T/n_1) \sin(2\pi/n_1) \\ u_\beta + u_\beta(t - T/n_1) \cos(2\pi/n_1) + \\ u_\alpha(t - T/n_1) \sin(2\pi/n_1) \end{bmatrix} \\ \text{DSC}[U_{\alpha\beta^-}^n] = \begin{bmatrix} \text{DSC}_n(\alpha) \\ \text{DSC}_n(\beta) \end{bmatrix}_n = \\ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} u_\alpha + u_\alpha(t - 2\pi/n_2) \cos(2\pi/n_2) + \\ u_\beta(t - T/n_2) \sin(2\pi/n_2) \\ u_\beta + u_\beta(t - 2\pi/n_2) \cos(2\pi/n_2) - \\ u_\alpha(t - T/n_2) \sin(2\pi/n_2) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (11)$$

式中： $u_\alpha, u_\beta$ ——坐标轴  $\alpha, \beta$  上的电压分量；  
下标  $p, n$ ——正、负序分量；  
 $n_1, n_2$ ——分别取值为  $n_1 = 2(n-1), n_2 = 2(n+1)$ 。

从理论上讲, DSC 可消除任何阶次的谐波。但本文主要是针对消除 SDR 滤波效果不理想的低次谐波,而电网电压存在的低次谐波主要为 5、7 次谐波,因此利用 DSC 来消除谐波参数设置如下:为消除正序中的负序分量和 5、7 次谐波,  $n_1$  取 4 和 8;为了消除负序中的正序分量和 5、7 次谐波,  $n_2$  取 4 和 16。本文正、负序级联 DSC 的原理框图如图 7 所示。

### 3 仿真试验分析

为了验证该方法的可行性和有效性,在 MATLAB/Simulink 仿真平台上通过试验来验证。

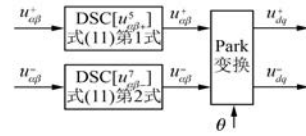


图 7 正负序级联 DSC 的原理框图

仿真中,有关参数取值为： $k_i = 1, \omega_c = 150, \omega_0 = 100\pi \text{ rad/s}$ ,假设三相电压对称时线电压为 380 V,仿真时间为 0.1 s。由于基波正序和基波负序都是对称的,因此本文仅取 A 相电压曲线进行分析。

#### 3.1 电压发生单相跌落故障时

当输入电压发生单相跌落故障时的试验结果如图 8 所示。A、B、C 三相电压表达式为

$$\begin{cases} u_a = 254.6\sin(100\pi t - 90^\circ) + \\ 125.4\sin(100\pi t - 30^\circ) \\ u_b = 254.6\sin(100\pi t - 270^\circ) + \\ 125.4\sin(100\pi t + 90^\circ) \\ u_c = 254.6\sin(100\pi t + 30^\circ) + \\ 125.4\sin(100\pi t - 150^\circ) \end{cases} \quad (12)$$

故障前三相电压对称, A 相电压即  $u_p$  为  $380 \angle 0^\circ \text{ V}$ ;故障时假设 C 相短路接地,则基波正序电压为  $u_p = 254.6 \angle -90^\circ \text{ V}$ ,基波负序电压为  $u_n = 125.4 \angle -30^\circ \text{ V}$ 。

由图 8 可见,当发生单相电压跌落故障时,本文设计的 SDR-DSC 控制器方法经过约  $\frac{3}{4}T$  时可以准确地分离正序分量,而负序分量也可在一个周期  $T$  后被分离,SDR 和 SOGI-DSC 都可以分离出正负序分量,而常规的 SPLL 则不能分离出正序分量。

#### 3.2 电压发生两相跌落故障时

输入电压发生两相跌落故障时的试验结果如图 9 所示。故障前三相电压为对称的,即  $u_p = 380 \text{ V}$ ;故障时 B、C 两相跌落 50%,基波正序电压为  $u_p = 254.6 \angle -90^\circ \text{ V}$ ,基波负序电压为  $u_n = 64.6 \angle -90^\circ \text{ V}$ 。三相电压的表达式为

$$\begin{cases} u_a = 254.6\sin(100\pi t - 90^\circ) + \\ 64.6\sin(100\pi t - 90^\circ) \\ u_b = 254.6\sin(100\pi t - 270^\circ) + \\ 64.6\sin(100\pi t + 30^\circ) \\ u_c = 254.6\sin(100\pi t + 30^\circ) + \\ 64.6\sin(100\pi t - 270^\circ) \end{cases} \quad (13)$$

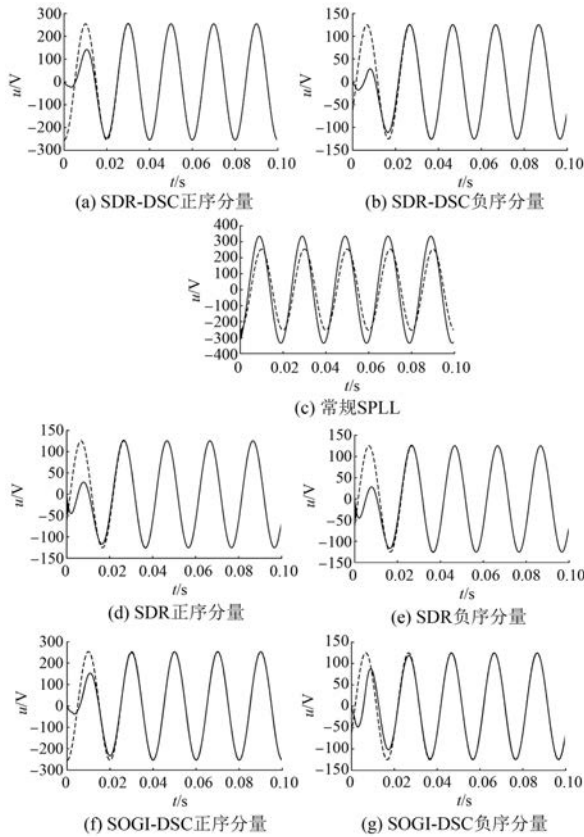


图8 电压发生单相跌落故障时的试验曲线

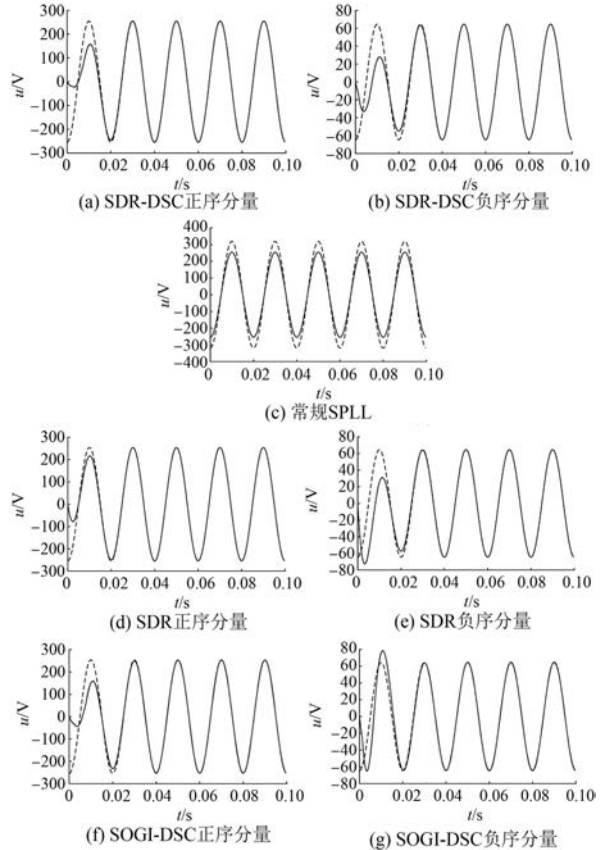


图9 电压发生两相跌落故障时的试验曲线

由图9可见,采用本文SDR-DSC的方法,大约经过1.5T可准确分离正序分量,分离负序分量大概需要一个T。同样地,SDR和SOGI-DSC也可以满足可准确分离正负序量的要求。使用常规的SPLL可在较短的时间内追踪到正序分量的相位,但幅值不能被追踪到。

### 3.3 输入电压含高次输入谐波时

为了评估在输入电压含有高次谐波情况下的性能,本文测试条件为输入电压在含有谐波的情况下发生不对称跌落,试验结果如图10所示。

由图10可见,在含有高次谐波时,本文使用的SDR-DSC分离方法仍分别可在0.5T和1.5T内准确分离出正负序量。SOGI-DSC方法可在1.5T内分离出正负序量,SDR的方法虽然在负序分离时轻微有些畸变,但总体上还是能够满足要求的,而常规的SPLL则完全不能分离出正序分量。

输入电压含有幅值为50V的20次谐波,不对称的情况与3.2节中的试验相同,都为B、C两相分别跌落50%。三相电压的表达式为

$$\begin{cases} u_a = 254.6\sin(100\pi t - 90^\circ) + \\ \quad 125.4\sin(100\pi t - 30^\circ) + \\ \quad 50\sin(2000\pi t - 90^\circ) \\ u_b = 254.6\sin(100\pi t - 270^\circ) + \\ \quad 125.4\sin(100\pi t + 90^\circ) + \\ \quad 50\sin(2000\pi t - 270^\circ) \\ u_c = 254.6\sin(100\pi t + 30^\circ) + \\ \quad 125.4\sin(100\pi t - 150^\circ) + \\ \quad 50\sin(2000\pi t + 30^\circ) \end{cases} \quad (14)$$

### 3.4 输入电压含高低次谐波时

为了进一步测试在输入电压含有谐波情况下的性能,此次测试条件为在3.3节试验基础上加入低次谐波,即再增加幅值为50V的5次谐波和7次谐波,试验结果如图11所示。三相电压的表达式为

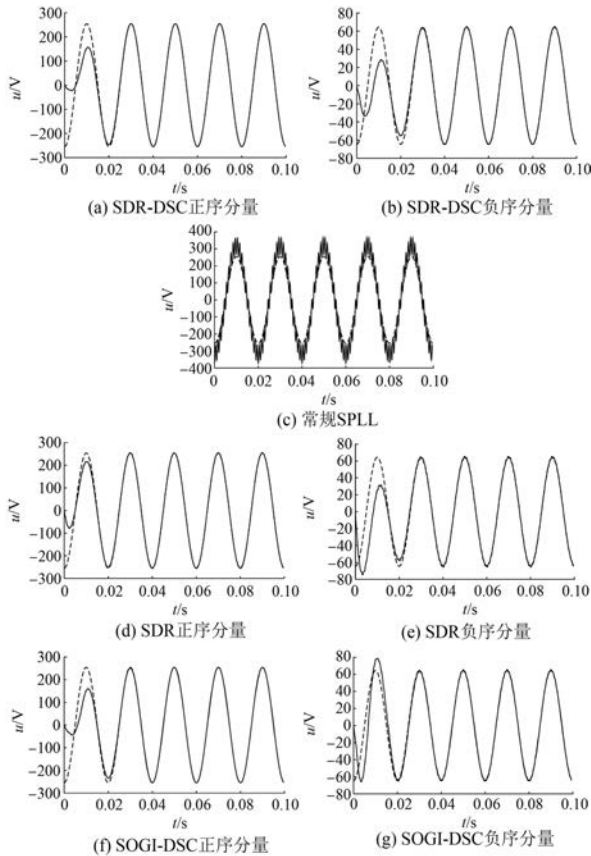


图 10 输入电压含高次输入谐波时的试验曲线

$$\begin{cases}
 u_a = 254.6\sin(100\pi t - 90^\circ) + \\
 \quad 125.4\sin(100\pi t - 30^\circ) + \\
 \quad 50\sin(500\pi t - 90^\circ) + \\
 \quad 50\sin(700\pi t - 90^\circ) + \\
 \quad 50\sin(2000\pi t - 90^\circ) \\
 u_b = 254.6\sin(100\pi t - 270^\circ) + \\
 \quad 125.4\sin(100\pi t + 90^\circ) + \\
 \quad 50\sin(500\pi t - 270^\circ) + \\
 \quad 50\sin(700\pi t - 270^\circ) + \\
 \quad 50\sin(2000\pi t - 270^\circ) \\
 u_c = 254.6\sin(100\pi t + 30^\circ) + \\
 \quad 125.4\sin(100\pi t - 150^\circ) + \\
 \quad 50\sin(500\pi t + 30^\circ) + \\
 \quad 50\sin(700\pi t + 30^\circ) + \\
 \quad 50\sin(2000\pi t + 30^\circ)
 \end{cases} \quad (15)$$

由图 11 可见,在输入电压含有低次谐波和高次谐波条件下,本文设计的 SDR-DSC 方法和 SOGI-DSC 方法仍具有高准确性和快速性,但采用 SDR 分离方法出现了严重的畸变,这同时也验证了

SDR 对低次谐波滤除效果不理想的结论,而常规的 SPLL 则含有大量的高低次谐波。

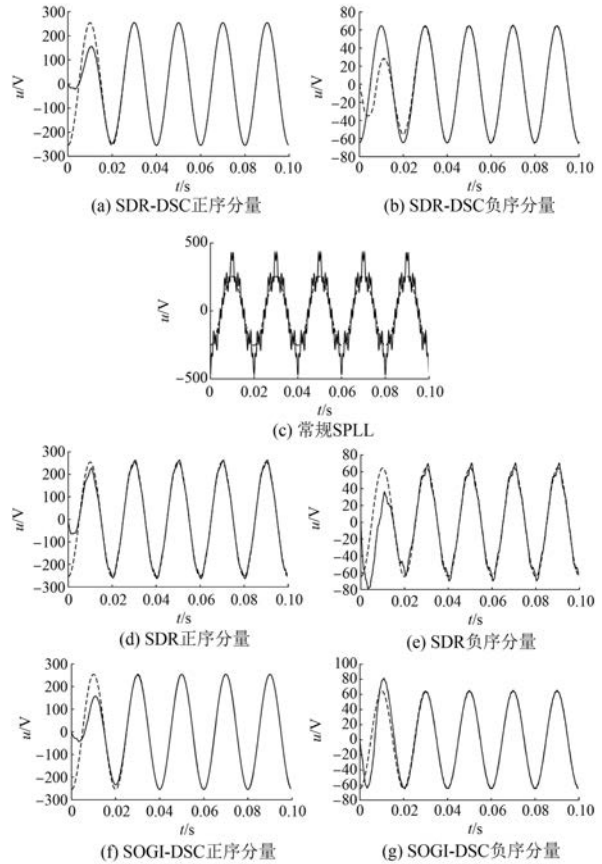


图 11 输入电压含高低次谐波时的试验曲线

通过上述试验可知,在发生两相电压跌落情况下,本文提出的分离方法没有常规的 SPLL 速度快,但准确性高。在单相电压跌落及含有高低次谐波的情况下,常规的 SPLL 都不能准确地分离出正序分量,但本文提出基于 SDR-DSC 的 SPLL 的新方法可快速准确地分离出正负序分量;在电压不平衡及含高次谐波的情况下,SDR-DSC 和 SDR 都可分离出正负序分量,但在含有低次谐波的情况下,SDR 分离的效果远不比 SDR-DSC 理想;在电网电压不平衡及含谐波的各种情况下,SDR-DSC 和 SOGI-DSC 都可准确地分离出正负序分量,但 SDR-DSC 的结构远比 SOGI-DSC 简单得多,易于实现。

### 4 结 语

本文采用的 SDR-DSC 的方法可在电网电压不平衡及含高低次谐波条件下准确分离出正、

负序分量, MATLAB/Simulink 上的仿真结果验证了本文方法比常规的 SPLL, SDR, SOGI-DSC 更加优越, 在电网电压不平衡及含有谐波情况下可快速、准确地分离出基波电压的正、负序分量。

### 【参考文献】

- [ 1 ] 白鸿斌, 王瑞红. 风电场并网对电网电能质量的影响分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(1): 121-123.
- [ 2 ] HOSSEIN D, WANG X. Smart power grid synchronization with nonlinear estimation [ C ] // International Mechanical Engineering Congress and Exposition ( IMECE 2015 ), Houston TX, United states: IEEE, 2015: 2498-2502.
- [ 3 ] LO C, GIOVANNIL M, LIDOZZI A. Single-phasethree-level transformer-less inverter for residential distributed generation[ C ] // International Energy Conference and Exhibition, Energy, Florence, Italy: IEEE Computer society, 2012: 7-12.
- [ 4 ] 孔飞飞, 袁铁江, 晁勤, 等. 基于二阶广义积分的变流器电网同步法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(12): 116-120.
- [ 5 ] 黄建明, 吴春华, 许富强. 基于相序解耦谐振控制器的基波正序电压相位检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 37(3): 668-672.
- [ 6 ] 赵新, 金新民, 周飞, 等. 采用降阶谐振调节器的并网逆变器锁频环技术[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(15): 38-44.
- [ 7 ] 姜子健, 杨欢, 沈建辉, 等. 基于级联延时信号消除锁相环算法的配电网静止同步补偿器控制策略[J]. 电网技术, 2015, 39(7): 1990-1993.
- [ 8 ] 陈明亮, 肖飞, 刘勇, 等. 一种完全抑制谐波正负序同步信号检测方法[J]. 电力电子技术, 2012, 46(5): 78-80.
- [ 9 ] 辛振, 赵仁德, 陈晨, 等. 基于双二阶广义积分器-锁频环的异步电机同步角频率估计方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(27): 4676-4682.
- [ 10 ] 郭凯, 程启明, 黄伟, 等. 基于改进型软件锁相环的正负序分量分离新方法研究[J]. 电测与仪表, 2017, 52(2): 12-17.
- [ 11 ] 吉正华, 韦芬卿, 杨海英. 基于 dq 变换的三相软件锁相环设计[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 104-106.
- [ 12 ] 张治俊, 李辉, 张煦, 等. 基于单/双同步坐标系的软件锁相环建模和仿真[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 138-144.

收稿日期: 2017 -02 -24

## Perkins 推出免费 APP 软件全面支持中国发动机终端用户

Perkins 宣布将推出一个特别设计的全新手机软件 (APP), 可供中国客户免费下载, 以让用户迅速取得关于 Perkins 发动机的最新信息, 并联系附近的 Perkins 代理商, 获取维护服务和支持。

中文版 Perkins® 维护宝 (Perkins® My Engine) APP, 预定于 2017 年底前正式推出, 终端用户下载软件后, 即可注册登记他们的 Perkins 发动机, 在线上查看操作保养手册和零部件手册。该 APP 也可让用户存储维护记录, 并且通过代理商位置功能联系附近的 Perkins 代理商。

对于配装了 Perkins 发动机的机械设备, Perkins 维护宝 APP 是个理想的支持工具, 能提供有关发动机的具体信息, 包括建造标准清单、系列、类别、型号、Perkins 白金保修计划指数、操作保养手册和零部件手册、耗材清单, 以及即将要执

行的维护工序和已完成工序记录。

Perkins 售后市场总经理韦理德 (Michael Wright) 说: “所有已购买配装 Perkins 发动机设备的用户都可以免费下载这个 APP。一直以来, 我们通过训练有素的代理商组成的庞大网络为用户提供全方位服务和支持, 这个新工具无疑进一步加强了我们这方面的能力。

“在中国各地, 有许许多多安装在各式各样机械里的 Perkins 发动机, 每天默默地努力工作中。有了这个 APP, 这些设备的拥有者将可通过他们的智能手机迅速取得有关发动机的重要信息。”

自今年 3 月面世以来, Perkins® 维护宝 APP 的英文版已让成千上万的 Perkins 发动机拥有者无须花费分毫, 就能享受到获取发动机信息的捷径。