

中性点经消弧线圈接地的电网脱谐度微机测试装置

李玲玲 朱彩虹 张振东 苏彦莽

(河北工业大学电气信息学院 天津 300130)

摘要 本文采用新的补偿电网脱谐度测量原理,提出了脱谐度的外加扫频信号自动测量方法,并结合微机系统迅速、准确的特点,无需其它参数,即可完成对脱谐度的直接测量。测量结果准确,误差不大于0.64%;测量速度快,历时不足20S;可在-156%~64%大范围内实时监测脱谐度,并实现了测试过程与电网运行双方互不相扰,为在此基础上进行消弧线圈的自动跟踪调谐奠定了良好的基础。

关键词 消弧线圈 脱谐度 微机技术 补偿电网 直接测量

脱谐度的定义为³:

$$\gamma = 1 - \frac{I_L}{I_C} \quad (1)$$

前 言

电力网中性点经消弧线圈接地也称谐振接地,采用这种接地方式的电网又有补偿电网之称。由于电网三相传输线对地存在分布电容 $3C_0$,因此,当发生单相接地故障时,将有较大的电容电流 I_C 流过故障点,而消弧线圈(实质上是一个电感量可调的电感线圈)所产生的感性电流 I_L 因与 I_C 相位差为 180° ,二者方向相反,故 I_L 可对 I_C 进行补偿,使接地残流大为减小,保障了电力系统的安全运行,“补偿电网”因而得名¹。

1 补偿电网的特点及目前存在的问题

补偿电网由于消弧线圈的作用,可使故障电弧得以迅速自熄,并减轻对附近通讯系统的干扰,同时还可防止间歇性电弧接地产生的过电压。这类电网的另一主要优势是允许带单相接地故障继续供电两小时,明显地提高了配电网的供电可靠性。上述特点使得谐振接地方式数十年来广泛应用于我国的中压电力网,积累了许多成功的运行经验,但也存在着一些无法回避的问题²。

主要问题集中在补偿电网脱谐度的测量以及根据脱谐度而进行的消弧线圈的调谐。脱谐度是补偿电网(以下简称电网)最主要的技术参数之一,它是指电网偏离谐振状态的程度,与电网过电压的抑制效果、电网中性点位移电压、单相接地故障点残流的大小直接相关,是对消弧线圈进行调谐的重要依据。电网脱谐度的允许范围,我国相关章程均有明确规定。

式中: γ 为脱谐度, I_L 为消弧线圈的感性电流(即补偿电流), I_C 为电网电容电流。

目前常用的脱谐度测量方法都是间接的,即依据式(1)而将对 γ 的测量转化为对 I_L 和 I_C 的测量。 I_L 虽可由消弧线圈内附的电压互感器PT和电流互感器CT的显示值计算出来,或由调匝式消弧线圈各分接头的档位电流直接读取,但对 I_C 的在线实时测量却缺乏相应的仪器设备。较为常用的几种 I_C 测量方法,如单相金属接地法、位移电压法、中性点外加电容法、中性点外加电压法等都存在各自的不足,使得测量出的 I_C 值或实时性差,或精度欠佳,且每一种测量方法均对电网的性能有所需要。譬如:单相金属接地法要求被测电网绝缘良好,不对称度不可过高;中性点外加电容法要求不对称电压不可过小,等等。这必将影响对 I_C 迅速而准确的测量,致使补偿电流 I_L 难以及时跟踪电容电流 I_C 的变化,降低补偿效果,给电网的安全运行带来隐患。

另外,在消弧线圈未串接或并接阻尼电阻的电网中,由于脱谐度 γ 与中性点位移电压 U_0 之间存在下列关系:

$$U_0 = \frac{|\rho| U_\varphi}{\sqrt{\gamma^2 + d^2}} \quad (2)$$

式中: ρ 为电网不对称度, d 为电网阻尼率, U_φ 为电源相电压。一旦脱谐度值过小,势必使 U_0 大幅度升高,造成三相电压一相高两相低、两相高一相低或三相同同时升高的现象,破坏电网的正常绝缘,造成严重的电力事故⁴。

2 本文设计的脱谐度测量装置

为了避免对 I_C 的直接测量, 本文提出了脱谐度的外加扫频信号测量法, 并结合微机系统迅速、准确的特点, 设计了脱谐度的自动测量装置, 直接测试电网脱谐度 γ 。其后, I_C 可根据式 (1) 和已知的 γ 计算出来。

2.1 工作原理

由式 (1) 可知:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 - \frac{I_L}{I_C} = 1 - \frac{X_C}{X_L} = 1 - \frac{1}{3C_0\omega L} \\ &= 1 - \frac{1}{3C_0L\omega^2} = 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} = 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $3C_0$ 、 X_C ——电网三相对地的分布电容、分布电容的等效容抗;

L 、 X_L ——消弧线圈的电感量、感抗;

f_0 (ω_0)、 f (ω)——电网的谐振频率

(谐振角频率)、三相电源频率 (角频率, 314rad/s)。

脱谐度的外加扫频信号测量法, 是指将扫频信号从消弧线圈的 PT 低压侧注入 (高压侧即消弧线圈), 对电网进行频率扫描, 以扫描出谐振频率 f_0 , 则脱谐度可由式 (3) 直接得出。

2.2 电路结构及测量过程

电网脱谐度的微机测试装置其电路结构如图 1 所示。图 1 中 $U_1 \sim U_4$ 为 IGBT 驱动电路, 它将微机输出的高低电平转换成 +15V/-5V 门极电压, 以控制 IGBT₁~IGBT₄ 的通断, 则在 a、b 两点之后可得到幅值为 300V 的方波, 这便是扫频信号源 \dot{U}_S 。微机引脚为高电平时, 相应的 IGBT 导通, 反之关断。驱动电路含有高速光耦, 用于光电隔离, 以提高整个测量系统的安全性。 L' 、 r' 、 C' 为消弧线圈电感量 L 、阻尼电阻 R_Z 、三相对地分布电容 $3C_0$ 折算至 PT 低压侧的值; R_1 为限流电阻 (300Ω/300W), R_2 为取样电阻 (1Ω/5W)。

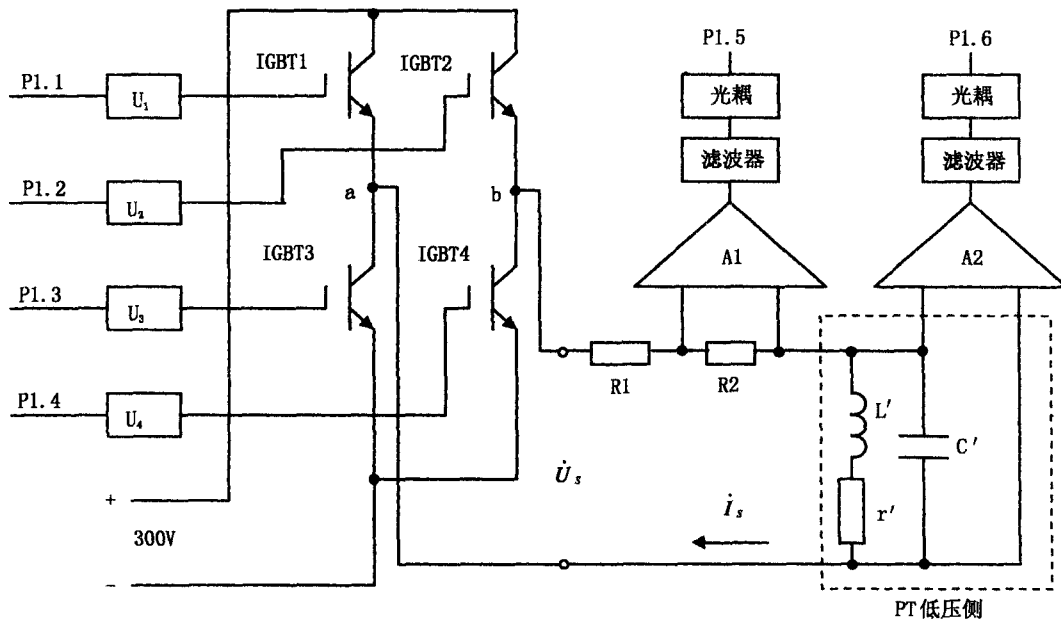


图1 脱谐度微机测试装置的电路结构

测试脱谐度时, \dot{U}_S 经 R_1 、 R_2 与 PT 低压侧相接。由于图 1 中虚线框内的阻抗很小, 通常为几欧姆, 故电路电流 I_S 主要由 R_1 决定, I_S 近似为与 \dot{U}_S 同频同相、幅值为 1A 的方波。图 1 中电路发生谐振的标志是电流 I_S 与 C' 两端电压 $\dot{U}_{C'}$ (即 PT 低压侧上的电压) 相位一致, 而 I_S

又与 R_2 两端电压 \dot{U}_{R2} 同相, 故将 $\dot{U}_{C'}$ 与 \dot{U}_{R2} 取入微机系统进行相位分析。

\dot{U}_S 的频率自 30Hz 开始, 以 0.1Hz 的步长渐增, 至 80Hz 结束, 对电网作频率扫描, 同时 $\dot{U}_{C'}$ 与 \dot{U}_{R2} 被关入微机中予以相位比较。当 \dot{U}_S 扫至某一频率时, 微机系统分析出二者同相, 则此时 \dot{U}_S 的频率即为电网的谐振频率 f_0 。

图1中 A_1 、 A_2 为运放，其作用是使两被测电压 $U_{C'}$ 与 U_{R2} “方波化”，便于相位分析；滤波器用于滤除工频噪声信号，使测量装置不受电网运行的影响；光耦传递信号并起隔离保护作用。经运放 A_1 、 A_2 整形后的两个被测电压，若方波化程度仍不尽人意，可用施密特整形电路(74LS14)进一步整形。

2.3 程序设计

脱谐度测试装置的软件由主程序和中断子程序构成。主程序的功能是测量电网谐振频率 f_0 、计算并显示脱谐度 γ ；中断子程序流程如图2所示，用于控制两组 IGBT（即 IGBT_{1,4} 和 IGBT_{2,3}）的通断，并与相关硬件电路配合，发送自动扫频信号 U_s 。

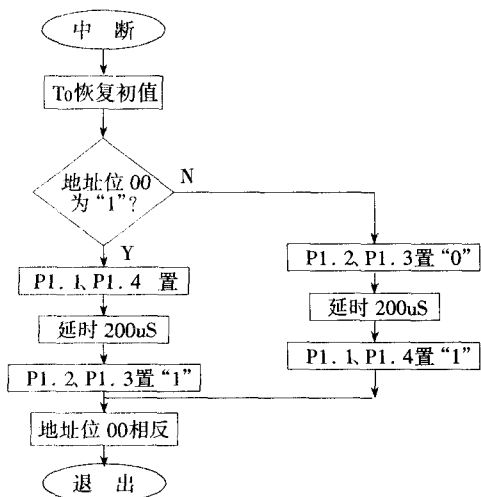


图2 中断子程序流程图

主处理器采用 89C52 芯片，与扫描频率30~80Hz 所对应的周期值以表格形式存储在芯片的ROM中，约占2K字节，需要时可查表取出，并由定时器 T_0 以定时工作方式1完成。在中断子

程序中，位地址 00 为两组 IGBT 的开关顺序标志位，当该位置“1”时 IGBT_{1,4} 关断，而该位置“0”时 IGBT_{2,3} 关断。为确保两组 IGBT 不同时处于通态，特意在中断子程序中加入 200 μ S 的延时；位地址 00 取反以便下一次中断响应时开始方波的另半个周期。

3 脱谐度测量结果误差分析

根据式(3)，可知脱谐度的测量误差

$$d\gamma = \frac{\partial \gamma}{\partial f_0} df_0 = -\frac{2f_0}{50^2} df_0 \quad (4)$$

式中 df_0 为扫描频率的步长，也即本测量系统的分辨率，并已定义 $df_0 = 0.1\text{Hz}$ 。可见脱谐度的最大测量误差出现在扫描频率的最大值处，即 80Hz 处，并有 $d\gamma|_{f_0=80} = 0.64\%$

4 结束语

本文设计的电网脱谐度测试装置测量结果准确，误差小于 0.64%；测试速度快，历时不足 20S；当扫描频率由 30Hz 扫至 80Hz 时，可在 -156%~64% 大范围内对脱谐度进行测量，完全满足电网实际运行的要求。在本装置基础之上设计完成的、直接以脱谐度为被控参数的消弧线自动跟踪调谐系统，调谐精度高，实时性好，并具有可靠的状态识别功能和抗干扰能力。

参考文献

- 1 方瑜，配电网过电压，北京：水利电力出版社，1994
- 2 王继，电力系统中性点接地方式研究，江苏省电力试验研究所，1998
- 3 杨期余，配电网，北京：中国电力出版社，1998
- 4 李福寿，电力系统过电压计算，北京：水利电力出版社，1988

The microprocessor measurement device of turn-off-degree for network neutral through petersen coil to earth

Li Lingling Zhu Caihong Su Yanmang Ge Manling

(Heibei university of technology Tianjin 300130)

Abstract With the new principle for measuring turn-off-degree of compensation network, an auto measuring method through adding external scanning frequency signal is put forward and combines the microprocessor features-fast and precisely. The turn-off-degree can be directly measured without other parameters. The measurement error is not more than 0.64%, the measuring time is less than 20S, turn-off-degree can be monitored at the range of -156% to 64%. This method makes measuring and network operation separately.

Key words Petersen coil Turn-off-degree Microprocessor system Compensation network Direct measurement