

# 相序指示器的最佳参数设计

杨育霞, 章玉政

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 利用 PSpice 电路仿真软件, 对灯泡指示相序仪中的元件参数进行了全面的扫描分析。依据这些扫描曲线, 从理论和工程实用的角度, 给出了元件参数的最佳选取范围。研究结果对理解相序仪的本质和正确使用相序仪具有指导作用。

**关键词:** 相序指示器; 电路仿真; 参数扫描

**中图分类号:** TM1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)06-0059-03

## 1 相序指示器

用相序仪测定三相线路的相序是供用电工作中的经常性项目。实用的相序仪种类很多, 最基本的是如图 1 和图 2 所示的灯泡指示型相序仪。在大学的教科书<sup>[1]</sup>中, 这种电路的元件参数被定为  $1/(\omega C) = \omega L = R$ , 在一些文献<sup>[2-3]</sup>中也采用过另外的参数, 它们都分别在理论和实用的角度上具有一定的合理性。但仅仅依靠计算有限参数情况下的结果还不能全面了解相序仪电路的整体特征。本文利用 OrCAD Pspice V9 强大的参数扫描功能, 寻找出最佳的参数范围, 避开可能出现问题的参数范围, 为正确使用相序仪提供全面、直观和可靠的依据。

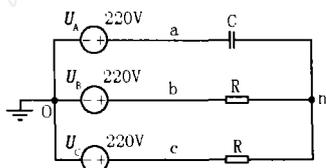


图 1 电容型相序仪

Fig.1 The phase sequence indicator of capacitance model

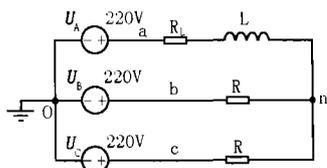


图 2 电感型相序仪

Fig.2 The phase sequence indicator of inductance model

图 1 所示的相序仪连接三相对称电源, 三相负载不对称, 其中 A 相接电容, B、C 相接相同瓦数的灯泡(图中用电阻 R 模拟)。此电路的原理是利用不对称三相电路的中性点位移, 使两个灯泡上的电

压有效值发生偏差, 由此发出不同的照度来判断相序的。

若令  $U_A = U \angle 0^\circ$ ,  $U_B = U \angle -120^\circ$ ,  $U_C = U \angle 120^\circ$ , 可计算出

$$U_{no} = \frac{j\omega C U_A + (U_B + U_C)/R}{j\omega C + 2/R} = U_{no} \angle \theta_{no}$$

$$U_{bn} = U_B - U_{no} = U_{bn} \angle \theta_{bn}$$

$$U_{cn} = U_C - U_{no} = U_{cn} \angle \theta_{cn}$$

当  $C = 0$  时, 中性点电压  $U_{no}$  的相位  $\theta_{no} = 180^\circ$ , 当  $C = \infty$  时  $\theta_{no} = 0^\circ$ , 这两种极端情况下两灯泡电压有效值相等, 照度相同, 无法指示相序。当  $C$  取大于 0 的有限参数时, 中性点电压  $U_{no}$  的相位为  $180^\circ > \theta_{no} > 0^\circ$ , 这种情况下,  $U_{cn} \neq U_{bn}$ , 两灯泡有不同的照度, 可以利用电路的这一特性来指示相序。

## 2 利用 PSpice 进行全面参数扫描

图 1 和图 2 所示电路中, 使两灯泡电压发生偏差的关键是电容参数  $C$  (或电感参数  $L$ ) 的作用, 所以可以参数  $C$  (或  $L$ ) 作为基本扫描参数, 以电阻参数  $R$  作为二级参数扫描, 利用 Pspice 进行仿真计算。扫描频率为 50 Hz。

(1) 对图 1 的电路, 取  $R = 1210 \Omega$  (一个 40 W 的灯泡), 采用可变电容  $C$  作为全局参数进行参数扫描, 各相负载两端的电压随  $C$  变化的曲线如图 3 所示。从图中可以清楚的看到,  $U_{an}$  的有效值从 330 V 变化到 0 V,  $U_{bn}$  的有效值从 190 V 变化到 380 V,  $U_{cn}$  的有效值从 190 V 变化到 380 V。图 4 是图 3 中变化较快部分的放大显示, 电容参数在 0 ~ 20  $\mu F$  范围内。

(2) 对图 1 的电路, 分别取  $R = 484 \Omega$  (一个 100 W 的灯泡)、 $R = 806 \Omega$  (一个 60 W 的灯泡)、 $R = 1210$

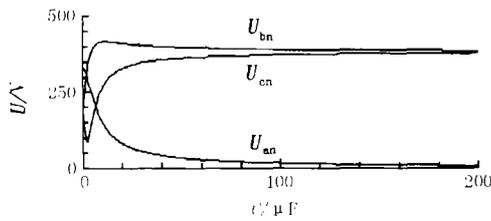


图3 各相负载电压随C变化的曲线

Fig.3 The curve of load voltage per phase as C changes

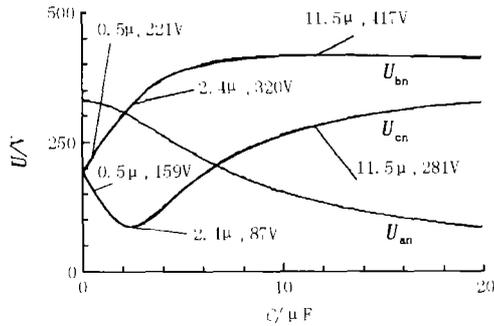
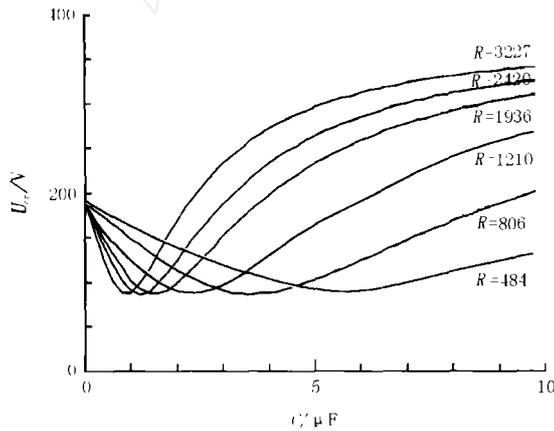


图4 对图3变化较快部分的放大

Fig.4 Enlarged view of change part more quickly in figure 3

$\Omega$ (一个 40 W 的灯泡)、 $R = 1936 \Omega$ (一个 25W 的灯泡)、 $R = 2420 \Omega$ (两个 40 W 的灯泡串联)、 $R = 3227 \Omega$ (一个 15 W 的灯泡)情况下的  $U_m$  的变化曲线如图 5 所示。从图 5 可看出,随着电阻参数的提高, $U_m$  的极值点向左偏移。

图5 不同灯泡下的  $U_m$  与电容的关系Fig.5  $U_m$  corresponding to capacitance with different bulb

(3)对图 2 的电路,取  $R = 1210 \Omega$ (一个 40 W 的灯泡),采用可变电感  $L$  作为全局参数进行参数扫描,结果显示  $U_m$  的有效值从 0 V 变化到 330 V,其中从 0 ~ 300 V 范围内变化最快; $U_m$  的有效值从 360 V 变化到 190 V,在  $\theta_{no}$  为  $-40^\circ$  左右时出现极大值 396 V; $U_m$  的有效值也从 360 V 变化到 190 V,但在  $\theta_{no}$  为

$-113^\circ$  左右时出现极小值 91 V。图 6 画出了  $L$  在 0 ~ 20 H 范围内的各相负载电压的扫描曲线。

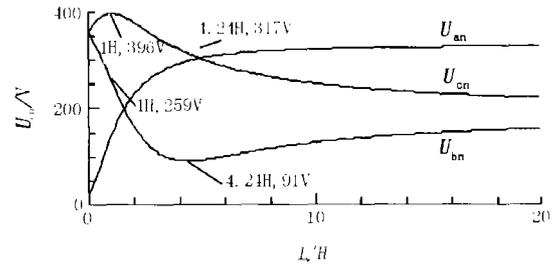


图6 各相负载电压随L的变化曲线

Fig.6 The curve of load voltage per phase as L changes

### 3 Pspice 仿真结果分析

(1)从理论上讲,图 1 电路只要电容取非零的有限值,B 相的电压如图 4 所示总是大于 C 相电压,则较亮的灯泡相指示 B 相,较暗的灯泡相指示 C 相;图 2 电路只要电感取非零的有限值,C 相的电压如图 7 所示总是大于 B 相电压,则较亮的灯泡相指示 C 相,较暗的灯泡相指示 B 相。

为了能明显区别出灯泡的照度,B 相和 C 相的电压有效值之差应越大越好,对图 1 电路,根据图 4 的扫描结果,选择电容在 1 ~ 10  $\mu\text{F}$  范围内为宜,当电阻较小(灯泡的瓦数较大)时,根据图 5 的扫描结果,电容的数值应偏大些;对图 2 电路,根据图 6 的扫描结果,选择电感在 0.1 ~ 10H 范围内为宜。

(2)从工程实用的角度看,由于灯泡的额定电压是 220 V,超出额定电压会减少灯泡的寿命,甚至会立即烧毁。在以上理论分析选取的参数范围内,图 1 的 B 相电压有效值都超过了 250 V,图 2 的 C 相电压有效值也超过了 250 V。所以,上述理论上合理的参数范围在工程实际中是不实用的。

对图 1 的电路,从图 4 中我们发现,当  $R = 1210 \Omega$ (一个 40W 灯泡)、 $C = 0.5 \mu\text{F}$ 、 $\theta_{no} = 163^\circ$  时, $U_m = 221 \text{ V}$ 、 $U_m = 159 \text{ V}$ ,所以只有在这个电容参数附近,B 相灯泡能正常发光,C 相灯泡较暗,电路可以指示相序并正常工作,由于在此范围内  $U_m$ (电容电压)超过 300 V,所以电容器的耐压应选 400 V。结合图 5 扫描曲线,如果 B 相和 C 相用两个 40 W 的灯泡串联,则每相灯泡的额定电压为 440 V,而 B 相的电压在任何电容参数下都没有超过 420 V,每个灯泡需在大于 40 V 才能发出可见光,而 C 相的电压在任何电容参数下都没有低于 87 V。所以当  $R$  为两灯泡串联时,电容可以取 0.2 ~ 10  $\mu\text{F}$ ,考虑到经济因素,电

容应选小些。

图2的电路中,为了简单实用<sup>[3]</sup>,A相的电感采用30W日光灯的镇流器。其参数 $R_L \approx 50 \Omega$ , $L$ 从0.7~1.7H。从图6中我们发现,在 $L$ 小于4H时,C相电压大于320V,灯泡不能正常工作。在 $L$ 大于4H时,A相的电感大于镇流器的上限电压320V。也就是说,当电阻 $R$ 是一个灯泡时,图2电路不实用。而当电阻 $R$ 是两个灯泡串联时, $L$ 小于4H情况下是可以正常工作并指示相序的。这是由于镇流器的 $L$ 在1H左右,其电压在200V上下,C相电压在400V以下,低于灯泡的额定电压之和440V,B相电压在260V上下,高于灯泡正常发光的电压之和80V。对以上的分析结果可用表1归纳。

(3)以上的模拟过程是对电路模型进行的计算。我们也按照上面的仿真过程对图1和图2在不同参数下进行了实验测试。实验与仿真的变化趋势是吻合的,只是电压有效值有些偏差但这些偏差对于上述结论没有影响。

表1 图1与图2的实用最佳参数

Tab.1 The applied optima parameter of fig.1 and fig.2

灯泡功率/W	图1电路	图2电路
	电容 $C/\mu\text{F}$	电感 $L/\text{H}$
15	0.2	—
25	0.35	—
40	0.5	—
60	1	—
两灯泡串联	0.5~5	0.5~4

#### 参考文献:

- [1] 邱关源. 电路[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [2] 罗飞. 简易相序指示器的安全性与实用性[J]. 电气电子教学学报,1998,(2):59-61.
- [3] 李建新. 简易相序指示器. 电工技术,1997,(11):60.

收稿日期: 2002-07-11; 修回日期: 2002-09-19

#### 作者简介:

杨育霞(1956-),女,副教授,主要从事电气工程和电气自动化方面的科研和教学工作;

章玉政(1957-),男,主要从事电气工程基础课的实验教学和科研工作。

### Optimum parametric design to phase sequence indicator

YANG Yu-xia,ZHANG Yu-zheng

(School of Electric Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In this paper, scan and analyze all-sidedly every component parameter of the bulb phase sequence indicator with PSpice. In terms of the scanning curve, theoretically and practically give the optimal selection scope. The analytic results will be the guidance for grasping the essence of the phase sequence indicator and how to use it correctly.

**Key words:** phase sequence indicator; circuit simulation; parameter scanning

(上接第25页)

- [3] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

收稿日期: 2002-10-21

#### 作者简介:

马 歆(1972-),男,工程师,博士研究生,研究方向电力市场;

侯志俭(1942-),男,教授,博士生导师,上海交通大学电力学院院长,研究方向电力市场、最优潮流;

蒋传文(1966-),男,博士后,研究方向电力市场、混沌理论。

### Study on gray dynamic model for electricity forward price forecasting

MA Xin<sup>1</sup>, HOU Zhi-jian<sup>1</sup>, JIANG Chuan-wen<sup>1</sup>, TAI Neng-ling<sup>1</sup>, PAN Li-qiang<sup>2</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Hunan Power Dispatching & Communication Centre, Changsha 410007, China)

**Abstract:** Electricity forward price is affected by many factors such as spot price, interest rate and load request. It is difficult to set up an accurate math model to describe its movement which varies in complex tendency. A gray dynamic model is present to forecast electricity forward price and results of different models are studied.

**Key words:** electricity forward price; gray dynamic model; forecasting