

# 多相整流电路脉动系数的分析和计算

陈素琴

刘泰和

(物理教研室)

(电工学教研室)

## 摘 要

本文从电工学上评价整流输出波形质量的脉动系数的一般定义入手,通过对多相整流电路机理的分析,证明了一个十分简易的多相整流电路脉动系数的计算公式( $S_n = \frac{2}{K^2 - 1}$ ),并阐明其使用条件,从而制定出多相整流电路脉动系数计算表,供研究多相整流理论和有关生产部门参考。

**关键词:** 多相电路, 整流, 脉动

整流电路广泛应用于电力工程、电加工及电子设备上。随着生产技术不断提高,要求整流的输出波形愈平直愈好,这种理想的直流输出取决于交流供电系统、整流装置及滤波技术等诸多因素,而前两个环节是整流电路的基础,电工学上常用脉动系数 $S$ 来评价未经滤波处理的整流波形的质量。 $S$ 定义如下:

$$S = \frac{\text{整流后的基波最大值}}{\text{整流输出平均值}} = \frac{V_d/m}{\bar{V}_D} \quad \dots\dots\dots (1)$$

图1是人们熟知的单相整流电路的输出波形。

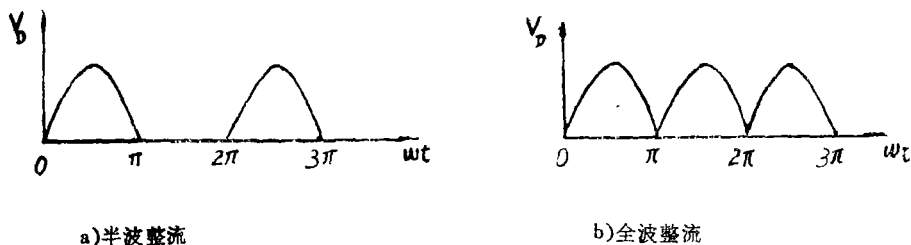


图1 单相整流电路输出波形

从图形看,单相整流输出波形在零和最大值之间变化,经过计算半波整流的 $S$ 值等于1.57,全波整流的 $S$ 值等于0.67,显然,这种大幅度的脉动波形,做为直流输出是不够理想的,至少增加了滤波技术的难度。

如果采用多相电路实现多相整流,那末输出的波形就大为改观,脉动系数明显减少。图2

本文1986年10月7日收到

是多相整流电路及其波形图, a), c) 为多相半波整流, b), d) 为多相全波桥式整流。

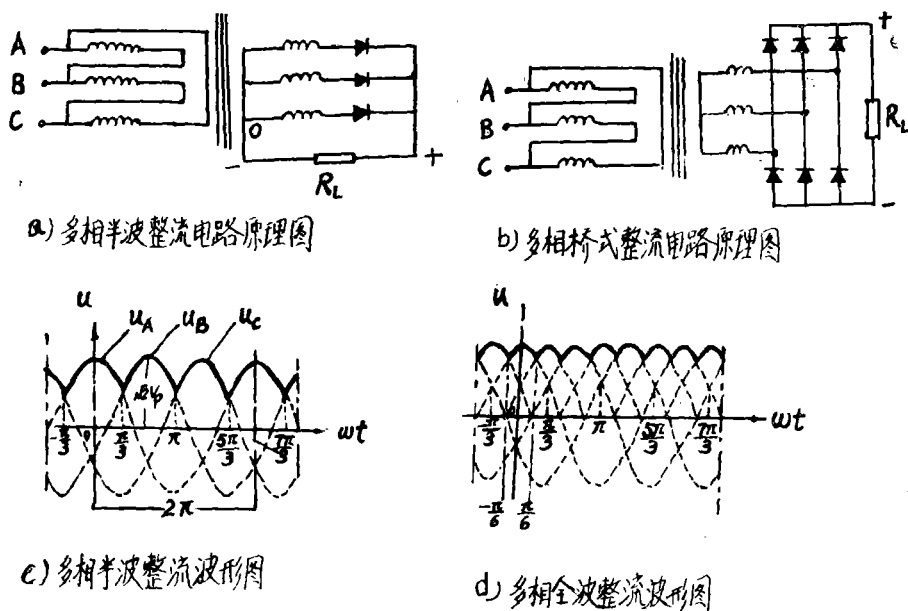


图2 多相整流电路及其波形图

参阅图2c), 在  $-\frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \frac{\pi}{3}$  区间, A相电压高于B相和C相, 因此为A相导通区。

同理,  $\frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \pi$  区间为B相导通区,  $\pi \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{3}$  为C相导通区, 因此输出波形是一个从  $\frac{1}{\sqrt{2}} V^p$

变到  $\sqrt{2} V_p$ , 再变到  $\frac{1}{\sqrt{2}} V_p$  的脉动波形, 在一个周期内这样的波数有三个。

图d) 为全波整流, 由于各相的负半周也有导通区, 各导通区的间隔缩小一半, 因此输出波形是一个从  $\sqrt{\frac{6}{2}} V_L \rightarrow \sqrt{2} V_L \rightarrow \sqrt{\frac{6}{2}} V_L$  的脉动波形, 在一个周期内这样的波数有6个。

现以图c) 为例, 应用式(1) 计算三相半波整流的脉动系数  $S_{3H}$ , 设整流输入相电压有效值为  $V_p$ , 则输出波形的函数式为:

$$u = f(\omega t) = \begin{cases} \sqrt{2} V_p \cos \omega t & -\frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \frac{\pi}{3} \\ \sqrt{2} V_p \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) & \frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \pi \\ \sqrt{2} V_p \cos \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) & \pi \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{3} \end{cases}$$

由于是三相对称电压,相当于一个周期内三个间宽为 $\frac{2}{3}\pi$ 的波形相同的脉动电压连续作用,其平均值为 $\bar{V}_p$ ,

$$\begin{aligned}\bar{V}_p &= \frac{3}{2\pi} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} \sqrt{2} V_p \cos \omega t d\omega t \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} V_p \left[ \sin \omega t \right]_{-\pi/3}^{\pi/3} \\ &= \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_p\end{aligned}$$

而基波最大幅值电压为 $V_{d3m}$

$$\begin{aligned}V_{d3m} &= \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/3}^{\pi/3} \sqrt{2} V_p \cos \omega t \cos 3\omega t d\omega t \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{\sin(1-3)\omega t}{2(1-3)} + \frac{\sin(1+3)\omega t}{2(1+3)} \right]_{-\pi/3}^{\pi/3} \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{\sin 2\omega t}{4} + \frac{\sin 4\omega t}{8} \right]_{-\pi/3}^{\pi/3} \\ &= \frac{3\sqrt{6}}{8\pi} V_p\end{aligned}$$

∴脉动系数

$$S_{3H} = \frac{V_{d3m}}{\bar{V}_D} = \frac{\frac{3\sqrt{6}}{8\pi} V_p}{\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_p} = 0.25$$

而对于三相全波整流,由于每个周期内的波数为6,则计算出其脉动系数 $S_{3T} = 0.057$

现在,笔者用这个方法推导出多相整流脉动系数更为简便的计算公式。

设 $k$ 为 $n$ 相整流波形在一个周期内出现的脉动波数(以下简称为周波数 $k$ )。多相整流输出波形的脉动系数为 $S_n$ 。

$$S_n = \frac{V_{dnm}}{\bar{V}_D}$$

其中 $V_{dnm}$ 为 $n$ 相整流输出波形的基波幅值,而 $\bar{V}_D$ 为其平均值。根据以上分析。

$$\begin{aligned}V_{dnm} &= \frac{K}{\pi} \int_{-\pi/k}^{\pi/k} \sqrt{2} V_p \cos \omega t \cos k\omega t d\omega t \\ &= \frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{\sin(1-k)\omega t}{2(1-k)} + \frac{\sin(1+k)\omega t}{2(1+k)} \right]_{-\pi/k}^{\pi/k}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{\sin(1-k)\frac{\pi}{k}}{2(1-k)} + \frac{\sin(1+k)\frac{\pi}{k}}{2(1+k)} \right. \\
&\quad \left. - \frac{\sin(1-k)(-\frac{\pi}{k})}{2(1-k)} - \frac{\sin(1+k)(-\frac{\pi}{k})}{2(1+k)} \right] \\
&= \frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{2\sin(\frac{\pi}{k}-\pi)}{2(1-k)} + \frac{2\sin(\frac{\pi}{k}+\pi)}{2(1+k)} \right] \\
&= \frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{(1+k)(-\sin\frac{\pi}{k}) + (1-k)(-\sin\frac{\pi}{k})}{1-k^2} \right] \\
&= \frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \left[ \frac{-2\sin\frac{\pi}{k}}{1-k^2} \right] \\
&= \frac{2\sqrt{2}k}{\pi(k^2-1)} V_p \sin\frac{\pi}{k}
\end{aligned}$$

$\bar{V}_D$ 为 $n$ 相整流电路输出波形的平均值。即在一个周期内(或 $2\pi$ 弧度内)对 $k$ 个波在各自导通的期间内对时间(或弧度角)取平均值,见图2(c)

$$\begin{aligned}
\bar{V}_D &= \frac{k}{2\pi} \int_{-\pi/k}^{\pi/k} \sqrt{2} V_p \cos \omega t d\omega t \\
&= \frac{k\sqrt{2} V_p}{2\pi} \left[ \sin \omega t \right]_{-\pi/k}^{\pi/k} \\
&= \frac{k\sqrt{2} V_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{k}
\end{aligned}$$

由式(1)得出 $n$ 相整流电路输出波形的脉动系数为:

$$S_s = \frac{V_{dcm}}{\bar{V}_D} = \frac{\frac{2\sqrt{2}k}{\pi(k^2-1)} V_p \sin \frac{\pi}{k}}{\frac{k\sqrt{2}}{\pi} V_p \sin \frac{\pi}{k}} = \frac{2}{k^2-1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

现对式(2)分析如下:

(1) 对于 $n \geq 3$ 的半波整流,其输出波形的周波数和相数相同,即 $k=n$ ,例如上面三相半波整流

$$S_{sH} = \frac{2}{3^2-1} = 0.25$$

(2) 单相和两相(又称四相半对称)半波整流(分别见图1a和图3),其输出波形在一

个周期内是间断的, 其脉动系数仍按原定义即式(1)计算。

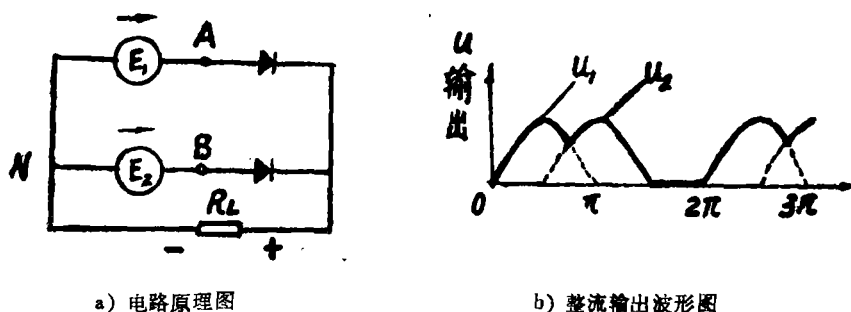


图3 两相(四相半对称)整流电路

(3) 对  $n \geq 1$  的多相全波整流, 用式(2)计算脉动系数时, 要注意当  $n$  等于偶数时, 相数与周波数一致, 即  $k = n$ 。这是由于在  $n$  相电路里, 大于  $n/2$  的各相波形都与小于和等于  $n/2$  的对应的相差  $180^\circ$ 。因此, 它们的负半周在导通期间与各自对应的相的正半周导通区重合, 使输出波形的幅值增加一倍, 但周波数  $k$  不变 (等于相数  $n$ ), 因而脉动系数也不变。如图4所示。

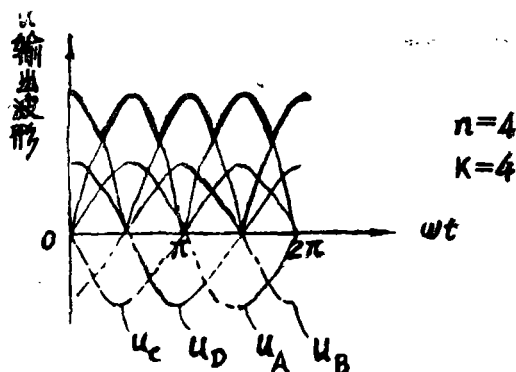


图4  $n$  为偶数时波形的迭加

当  $n$  为奇数时, 各相负半周的导通区刚好处于两个相邻相正半周导通区的交点上, 因而使总周波数增加一倍, 即  $k = 2n$ 。例如图2d) 所示, 所以对三相全波整流, 脉动系数  $S_{3T}$  为:

$$S_{3T} = \frac{2}{6^2 - 1} = \frac{2}{35} = 0.057$$

综合以上分析, 应用式(2)可制订出多相整流电路脉动系数, 如下表所列数据, 其中打“\*”的数据另外计算后引进表中以资比较。

多相整流脉动系数表

相数n		1	3	4	6	8	9	12	15
半波	周波数 K	1	3	4	6	8	9	12	15
	S <sub>nH</sub>	1.57*	0.25	0.13	0.057	0.032	0.025	0.013	0.0089
全波	周波数 K	2	6	4	6	8	18	12	30
	S <sub>nT</sub>	0.67	0.057	0.13	0.057	0.032	0.0062	0.013	0.0022

从表中可知,相数 $n$ 愈大,整流输出周波数 $k$ 愈大,因而,波形的脉动系数愈小,即整流输出波形愈平稳。这是理论上的结论,在实际工程上,相数过大会使结构复杂,给供电技术上带来困难,经济效益反而不好,除非特殊需要,当前生产上多采用三相、六相整流电路。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 清华大学童诗白主编 模拟电子技术基础 下册P655
- [ 2 ] 浙江大学主编 电工学 中册P345
- [ 3 ] R.Yorke Electric Circuit Theory 1981 P285

## Analysis And Calculation of the Polyphase Rectification Circuit (PRC) pulsation Coefficient

Chen Suqin

Liu Taihe

( Physics Teaching Group )

( Electrotechnics Teaching Group )

## Abstract

Beginning with the common definition of the RC output wave quality evaluating pulsation coefficient, in electrotechnics the authors of the paper analyzed the PRC mechanism and put forward a simple formula,  $S_n = \frac{2}{K^2 - 1}$  for calculating the PRC pulsation coefficient. The paper also sets forth the practical conditions to which this formula is applicable and provides a calculating table of the pulsation coefficient as a reference for enterprises concerned as well as for researches of PRC theory

Key words: Polyphase circuits, rectifier, Fluctuations