

二极管串联高压整流的电压分布与均压问题

陈小玲

(广东民族学院电子工程系助教 广州 510633)

摘 要 本文研究了二极管串联高压整流的电压分布与均压问题。理论计算和实验说明二极管对地端及对高压端的分布电容,也是产生电压分布不均匀的主要因素之一,考虑这一因素后的理论计算均压电阻阻值应为二极管反向电阻值的 $\frac{1}{100}$ 左右,本文修正了传统资料或教科书中介绍的均压电阻约为二极管反向电阻值 $\frac{1}{5}$ 至 $\frac{1}{10}$ 的不大准确的提法。

关键词 高压整流;电压分布;均压

1 引言

电子仪器和工业生产中经常采用二极管串联整流以获得超过单只二极管反向击穿电压几倍至几十倍的高电压。用二极管串联链作高压整流时,存在电压分布不均问题,人工强迫均压可采用电阻电容串并联法。传统的某些资料和教科书一般介绍均压电阻(或电容)取值范围应取二极管的反向电阻值的 $\frac{1}{5}$ 至 $\frac{1}{10}$,然而这样的取值范围经过我们反复实验验证,发现常常达不到均压目的,一般资料认为导致电压分布不均匀的主要原因,是由于二极管反向电阻不同,或者恢复时间不致。本文通过理论计算和实验验证,认为二极管对地端及对高压端的分布电容,也是产生电压分布不均的重要因素,考虑到这一因素的影响,当均压电阻(或电容)为二极管反向电阻值 $\frac{1}{100}$ 左右时,可以取得较好的均压效果。

2 等效电路

二极管反向运行时的等效电路如图 1 所示,图中 R_j 是二极管的反向电阻, C_j 是 PN 结的结电容,另外在电路中设二极管与大地形成的对地分布电容为 C_e ,对高压端形成的分布电容为 C_h , C_e 和 C_h 有一般条件下可以忽略不计,但当外界加上很高的反向电压时,它们的作用就不能忽略。

为简化计算,设各个二极管的 R_j 、 C_j 、 C_e 和 C_h 均具有相同的值。考虑滤波电容的作用,等效电路右端对交流是短路的。

3 分析计算

设二极管串联链中,每单位长度的结电容为 C_1 ,对地分布电容为 C_2 ,对高压端的分布电容为 C_3 ,反向电阻为 R_1 。设串联链管数为 n ,链总长为 l ,单个二极管长为 h 。二极管链单位长度的阻抗为:

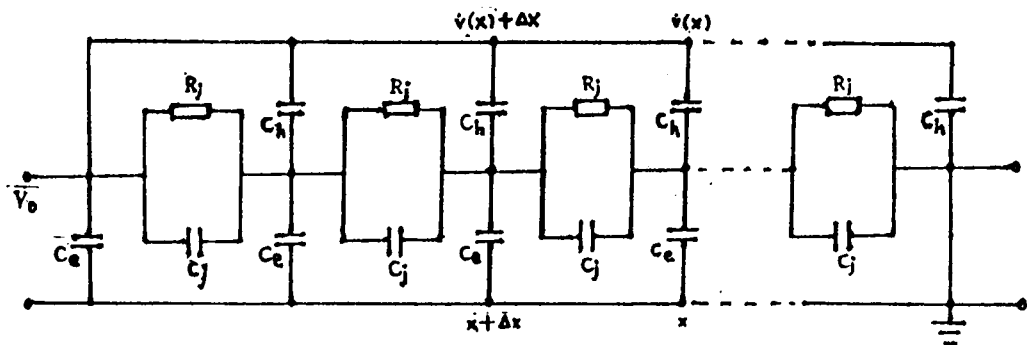


图1 二极管反向运行的等效电路

$$Z = \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1} = \frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C_1} \quad (1)$$

$$\text{对地导纳为 } G_2 = j\omega C_2 \quad (2)$$

$$\text{对高压端导纳为 } G_3 = j\omega C_3 \quad (3)$$

取链路中 $X \sim X + \Delta X$ 元段进行分析。设 X 处电压和电流的复振幅为 $V_{(X)}$ 、 $I_{(X)} - \Delta I$ ； $X + \Delta X$ 处的则为 $V_{(X)} + \Delta V$ 、 $I_{(X)}$ 。 ΔX 段的结电容为 $C_1/\Delta X$ ，对地分布电容为 $C_2 \Delta X$ ，对高压端的分布电容为 $C_3 \Delta X$ ， V_0 为二极管串联整流滤波后获得的高压值。

对于链路中 X 处的元段 ΔX ，有

$$\Delta V_{(X)} = I_{(X)} Z_{\Delta X}$$

$$\text{或 } \Delta V_{(X)}/\Delta X = I_{(X)} Z \quad (4)$$

由节点法，有

$$\Delta I_{(X)} = V_{(X)} G_2 \Delta X - [V_0 - V_{(X)}] G_3 \Delta X$$

$$\text{或 } \Delta I_{(X)}/\Delta X = (G_2 + G_3) V_{(X)} - V_0 G_3 \quad (5)$$

将式 (1)、(2)、(3) 代入式 (4)、(5)，取 $\Delta X \rightarrow 0$ 的极限，得：

$$dV/dX = IZ = I / (1/R_1 + j\omega C_1) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} dV/dX &= j\omega [(C_2 + C_3) V_{(X)} - C_3 V_0] \\ &= G V_X - G_3 V_0 \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $G = j\omega (C_2 + C_3)$

由边界条件 $V_{(0)} = 0$ ， $V_{(1)} = V_0$ ，并设 $\lambda = \sqrt{ZG}$ ，对式 (7) 积分得 I ，然后代入 (6) 式，再积分后，整理得

$$V_{(x)} = \frac{V_0}{C_2 + C_3} \left[C_3 + C_2 \frac{\text{sh}\lambda X}{\text{sh}\lambda l} - C_3 \frac{\text{sh}\lambda (1-X)}{\text{sh}\lambda l} \right] \quad (8)$$

右 X 处单管上所承受的反向电压为 X 处电压 $V_{(X)}$ 微分后乘以单个二极管的长度 h ，即

$$\begin{aligned} \Delta V_{(X)} &= \frac{dV_{(x)}}{dx} h \\ &= \frac{V_0 \lambda h}{\text{sh}\lambda l} \left[\frac{C_2}{C_2 + C_3} \text{ch}\lambda X + \frac{C_3}{C_2 + C_3} \text{ch}\lambda (1-X) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

从 (9) 式可知，二极管链路中各二极管所承受的反向电压值的大小取决于该管在链中的位置，当 X 逐渐趋于 1 时，反向电压逐渐增大，并在 1 处达到最大值，即高压端的第

一支管所承受的反向电压最高。

为了分析具体电路时方便起见，我们根据以上连续变元二极管串联链路的电压分布公式(9)，经过适当变换后，改写成几个二极管串联链路中各单管上的电压分布公式，由式(9)可得自高压端灵敏起第 m 个单管所承受的反向电压为：

$$\begin{aligned}
 \Delta V(m) &= \int_{(n-m)h}^{(n-m+1)h} \Delta V(x) dx \\
 &= \int_{(n-m)h}^{(n-m+1)h} \frac{V_0 h \lambda}{sh \lambda n h} \left[\frac{C_2}{C_e + C_h} ch \lambda X + \frac{C_3}{C_e + C_h} ch \lambda (1-X) \right] dx \\
 &= \frac{V_0 h \lambda}{sh \lambda n h} \left[\int_{(n-m)h}^{(n-m+1)h} \frac{C_2}{C_e + C_h} ch \lambda X dx \right. \\
 &\quad \left. - \int_{\lambda h m}^{\lambda h (m-1)} \frac{C_3}{C_e + C_h} \cdot \frac{1}{\lambda} ch \lambda (1-X) d(1-X) \right] \\
 &= \frac{V_0 h}{sh \lambda n h} \left\{ \frac{C_2}{C_e + C_h} [sh \lambda h (n-m+1) - sh \lambda h (n-m)] \right. \\
 &\quad \left. - \frac{C_3}{C_e + C_h} [sh \lambda h (m-1) - sh \lambda h m] \right\} \tag{10}
 \end{aligned}$$

将 $C_1/h = C_j$, $C_2 h = C_e$, $C_3 h = C_h$, $R_j = R_1 h$ 代入或(10)，并令

$$\lambda^* = \lambda h = \sqrt{ZGh} = \sqrt{\frac{j\omega(C_e + C_h)}{1/R_j + j\omega C_j}}$$

得

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{(m)} &= \frac{V_0 h}{sh \lambda^* n} \left\{ \frac{C_e}{C_e + C_h} [sh \lambda^* (n-m+1) - sh \lambda^* (n-m)] \right. \\
 &\quad \left. - \frac{C_h}{C_e + C_h} [sh \lambda^* (m-1) - sh \lambda^* m] \right\} \\
 &= \frac{V_0 h}{sh \lambda^* n} \left\{ \frac{C_e}{C_e + C_h} [sh \lambda^* (n-m) ch \lambda^* - sh \lambda^* (n-m) \right. \\
 &\quad \left. + ch \lambda^* (n-m) sh \lambda^*] - \frac{C_h}{C_e + C_h} [sh \lambda^* m ch \lambda^* \right. \\
 &\quad \left. - ch \lambda^* m sh \lambda^* - sh \lambda^* m] \right\} \\
 &= \frac{V_0 h}{sh \lambda^* n} \left\{ \frac{C_e}{C_e + C_h} [sh \lambda^* (n-m) [2ch^2 \frac{\lambda^*}{2} - ch^2 \frac{\lambda^*}{2} \right. \\
 &\quad \left. + sh^2 \frac{\lambda^*}{2} - 1] + ch \lambda^* (n-m) sh \lambda^* \right. \\
 &\quad \left. - \frac{C_h}{C_e + C_h} [sh \lambda^* m [2ch^2 \frac{\lambda^*}{2} - ch^2 \frac{\lambda^*}{2} + sh^2 \frac{\lambda^*}{2} - 1] - ch \lambda^* m sh \lambda^* \right\} \\
 &= \frac{V_0 h}{sh \lambda^* n} \left\{ \frac{C_e}{C_e + C_h} [2sh \lambda^* (n-m) [ch^2 \frac{\lambda^*}{2} - 1] \right. \\
 &\quad \left. + ch \lambda^* (n-m) 2sh \frac{\lambda^*}{2} ch \frac{\lambda^*}{2}] - \frac{C_h}{C_e + C_h} [2sh \lambda^* m \right. \\
 &\quad \left. [ch^2 \frac{\lambda^*}{2} - 1] - ch \lambda^* m 2sh \frac{\lambda^*}{2} ch \frac{\lambda^*}{2}] \right\} \\
 &= \frac{V_0 h}{sh \lambda^* n} \left\{ \frac{C_e}{C_e + C_h} 2sh \frac{\lambda^*}{2} [sh \lambda^* (n-m) sh \frac{\lambda^*}{2} \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \text{ch}\lambda^* (n-m) \text{ch} \frac{\lambda^*}{2} \Big] - \frac{C_h}{C_e + C_h} 2\text{sh} \frac{\lambda^*}{2} \\
& \quad \left[\text{sh}\lambda^* \text{msh} \frac{\lambda^*}{2} - \text{ch}\lambda^* \text{mch} \frac{\lambda^*}{2} \right] \\
& = \frac{V_0 h}{\text{sh}\lambda^* n} \left[\frac{C_e}{C_e + C_h} 2\text{sh} \frac{\lambda^*}{2} \text{ch}\lambda^* \left(n - m + \frac{1}{2} \right) \right. \\
& \quad \left. + \frac{C_n}{C_e + C_h} 2\text{sh} \frac{\lambda^*}{2} \text{Ch}\lambda^* \left(m - \frac{1}{2} \right) \right] \\
& = \frac{2V_0 \text{sh} \frac{\lambda^*}{2}}{\text{sh}\lambda^* n} \left[\frac{C_e}{C_e + C_h} \text{ch}\lambda^* \left(n - m + \frac{1}{2} \right) + \frac{C_h}{C_e + C_h} \text{ch}\lambda^* \left(m - \frac{1}{2} \right) \right]
\end{aligned} \tag{11}$$

对于 (11) 式以 m 为自变量求极值, 可得承受反向电压最大的是自高压端的第一只管, 承受反压最小的是自高压端数起的第 m_0 只管, m_0 的表达式为:

$$\begin{aligned}
m_0 &= n + 1 - \frac{1}{2\lambda h} \ln \frac{C_3 e^{\lambda h n} + C_2}{C_3 e^{-\lambda h n} + C_2} \\
&= n + 1 - \frac{1}{2\lambda^*} \ln \left[\frac{C_h e^{\lambda^* n} + C_e}{C_h e^{-\lambda^* n} + C_e} \right]
\end{aligned}$$

4 实验与结论

实验验证采用 10 只 2CL 系列高压整流二极管, 仔细选取使各管的参数基本相等 (相对偏差小于 $\pm 5\%$), 根据以上公式和无线电手册上的数据, 分别进行不同电阻值均压的实验, 所得实验结果如表所示。

表 1 电阻均压的实验结果

元 件 编 号	相 对 压 降 (%)		
	$\lambda^{*2} = 1$	$\lambda^{*2} = 1/10$	$\lambda^{*2} = 1/100$
1	50.60	21.33	11.80
2	18.62	16.43	11.01
3	6.86	12.26	10.52
4	2.56	9.33	10.10
5	1.01	7.38	9.69
6	0.57	6.19	9.44
7	0.64	5.65	9.28
8	1.76	5.68	9.20
9	4.68	6.27	9.21
10	12.64	7.30	9.33

以上 $\frac{C_e}{C_e + C_h} = \frac{4}{5}$, $R_j = 10^3 \text{M}\Omega$, $C_j = 10 \text{pF}$, $V_0 = 10 \text{KV}$

表 1 中第一列为均压电阻取二极管反向电阻值时的实验数据, 第二 (下转第 94 页)

三、对文件服务器中的数据做好备份工作,利用备份数据修复较严重的网络故障

任何物理介质都可能会出现故障和失效的。为保证服务器上文件和数据的安全,防止某些珍贵的有价值的资料丢失,网络管理员应该对系统以及数据提供适当的安全保护,即应尽早做好数据的备份工作,以便随时能够恢复它们。

系统管理员可以使用 Nbackup 菜单实用程序进行信息的备份和恢复工作。(备份及恢复的过程这里不再赘述)

如果目的设备具有足够大的容量,可以对整个文件服务器进行备份。如果目的设备的容量有限可对系统及编联文件、用户信息等进行有选择的备份。

做好了数据的备份工作,即便出现了无法修复的较严重的网络故障也不会束手无策了。

[审稿 萧洪生]

参 考 文 献

- 1 庄德秀等. NOVELL NETW ARE 386 网络操作系统,长春:吉林科学技术出版社,1991年11月
- 2 陈鸣.NetWare 386 技术大全,北京:人民邮电出版社,1995年5月

Several methods of quickly removing soft failures of Novell network file server

(Testing Centre, Zhanjiang Normal College, Xu Zhihong, Zhanjiang, 524048)

Abstract This Article gives several methods of removing soft failures of Novell network file server volume, bindery and etc.

Key words Novell network file server soft failure

(上接第 91 页) 列为均压电阻取二极管反向电阻 $\frac{1}{10}$ 时的实验数据,第三列为均压电阻取二极管反向电阻值 $\frac{1}{100}$ 时的实验数据。

从表 1 可以看出,当均压电阻等于二极管反向电阻或为二极管反向电阻 $\frac{1}{10}$ 时,均压效果不好,这时自高压端第一只二极管承受电阻值约为 V_0 的 20% 以上,容易被击穿;当均压电阻为二极管反向电阻的 $\frac{1}{100}$ 左右,才能取得好的均压效果,同时还可以看出,承受反向电压最大的是自高压端的第一只管,而受反压最小的管子随参数 λ^* 的不同而有所变化, $\lambda^{*2} = 1$ 时, $m_0 = 6$; $\lambda^{*2} = \frac{1}{10}$ 时, $m_0 = 7$; $\lambda^{*2} = \frac{1}{100}$ 时, $m_0 = 8$ 。

对于其它型号的高压整流二极管如 2DL 系列等;也得到与上类似的实验结果,由此证实本文提出的观点和理论计算是正确的。

[审稿 邹慰亲]

参 考 文 献

1. 武汉大学编.《电子线路》.北京:人民教育出版社,1979
2. 长春邮电学校编.《电子电路》(上册).北京:人民邮电出版社,1978
3. 刘恩科、朱秉升等.《半导体物理学》.国防工业出版社,1979
4. 无线电通信半导体器件手册编写组.《半导体器件手册》.人民邮电出版社,1975