

# Simulation Analysis and Comparison of Four Voltage Doubling Rectifier Circuit

Lijun Liu

Engineering University of PAP, Xi'an Shaanxi  
Email: cainan2001@163.com

Received: May 28<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jun. 12<sup>th</sup>, 2020; published: Jun. 19<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The input voltage is the mains supply. Multisim 14 simulation software is used to simulate the simple voltage doubling rectifier circuit, half-wave voltage doubling rectifier circuit, symmetrical voltage doubling rectifier circuit, Schenkel voltage doubling rectifier circuit and full-wave voltage doubling rectifier circuit. The circuit structure, the effective value of output voltage, ripple and stable time about various common several voltage doubling rectifier circuits have been analyzed and compared. Then, a summary is given about merits and drawbacks as well as different applicable occasions, providing a theoretical basis for the design of high voltage circuit.

## Keywords

Voltage Doubling Rectifier Circuit, Multisim 14.0 Software, Simulation

---

# 多种4倍压整流电路的仿真分析与比较

刘立军

武警工程大学某工程学院, 陕西 西安  
Email: cainan2001@163.com

收稿日期: 2020年5月28日; 录用日期: 2020年6月12日; 发布日期: 2020年6月19日

---

## 摘要

输入电压为市电, 应用Multisim 14仿真软件对简单倍压整流电路、半波倍压整流电路、对称倍压整流电路、信克尔倍压整流电路、全波倍压整流电路进行了4倍压电路的仿真, 分析与对比电路结构特点、输出电压的有效值、纹波与稳定时长, 总结出各自电路的优缺点以及适用场合, 为高压电路的设计提供了一定的理论参考。

## 关键词

倍压整流电路, Multisim 14, 仿真

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

一般的直流电路中都需要提供一定的直流电压, 工业上常用的方法是将交流电整流成直流电, 过程是先经过变压器的匝数调整来实现初次级端的电压变换, 然后经过整流、滤波与稳压后得到稳定的直流且纹波分量很小, 基本能够满足电路需求[1] [2]。

要得到直流高压, 可以通过以下三种方法实现: 一是在电源的源端, 通过改变变压器的初次级线圈的匝数比能够满足工业电压需求。但是这种方式当初次级电压数值差距较大时, 需要初次级线圈的匝数比较大。当初次级线圈匝数比达到一定程度时, 会产生很大的损耗, 利用率比较低。所以, 通常利用变压器可以改变初次级电压差距不是很大的情况。二是可以利用二极管的单向导电性来实现电荷数量的累积, 从而达到电压数值增大的效果, 即利用倍压整流电路来实现。然而, 直接利用倍压整流电路得到的直流高压含有一定的交流纹波成分, 在对电压要求不是很高的情况下, 可以使用, 但是若对电压属性要求较高时, 不宜使用倍压整流电路, 可在其后增加必要的滤波与稳压电路来改善其电压特性。三是可以将变压器特性与倍压整流电路特性相结合, 先通过变压器的匝数比得到次级电压增大, 再通过倍压整流电路进一步对变压器产生的高压进行倍压。这种方式的思路是前面两种方法的结合[3] [4]。

## 2. 4 倍压整流电路

倍压整流电路主要是利用反向峰值电压较高的半导体二极管和耐压值较高的电容串并联组成, 能够将输入较低的电压“整流”出较高输出电压的电路, 实质上是二极管的单向导电性将电荷聚集到电容上从而实现电压升高的过程, 即电荷泵原理。一般倍压整流电路多用于低电流高电压的场合[5]。本文搜集相关资料, 着重对简单倍压整流电路、半波倍压整流电路、对称倍压整流电路、倍克尔倍压整流电路以及全波倍压整流电路进行仿真分析与对比, 从而得出各自电路功能特点与适用场合, 为工业上高压电路的设计提供一定的理论参考。本文所列举电路均为能够实现 4 倍压的整流电路, 且仿真时间均为 1000 ms。由理论可知, 电路在无负载的情况下(即负载无穷大)时, 输出电压应为输入信号源信号的 4 倍。一般而言, 负载不同所得到的输出电压将不同。相同负载但电路不同将得到不同的输出电压[2]。具体可见如下仿真电路及波形。

通常每 2 倍为一阶, 用  $N$  表示, 则本文中所描述的均为 2 阶电路, 即  $N = 2$ 。如果希望输出电压极性不同, 只需将电路中的二极管反接即可以实现。

本文是在 Multisim 14 仿真软件的基础上进行的倍压整流电路的分析仿真, 由于不同结构的倍压整流电路决定了不同的特性, 因而仿真结果会出现不同的波形。

## 3. 电路仿真与分析[6] [7]

### 3.1. 简单倍压整流电路

图 1 为简单倍压整流电路仿真及测试结果, 由图 1(b)仿真波形可知, 该电路在 500 ms 时基本上达到

了稳定(左边为初始态,右边为稳定态;下线为输入电压,上线为输出电压,以下同)。但从图 1(c)的仿真电压有效值与纹波值可知,输出电压的有效值达到了 861 V 左右,纹波在 155 V 左右,纹波分量较大,输出直流电压效果较差。

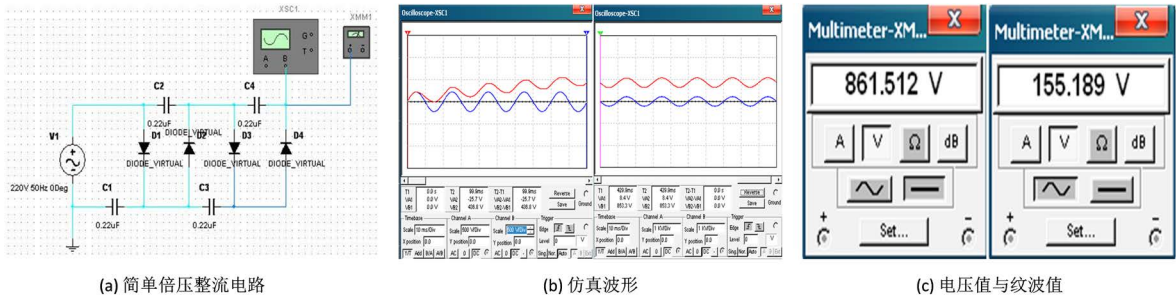


Figure 1. Simulation and test results of single voltage doubling rectifier circuit  
图 1. 简单倍压整流电路仿真及测试结果

### 3.2. 半波倍压整流电路

图 2 为半波倍压整流电路仿真及测试结果,由图 2(b)可知,该电路在 600 ms 左右基本上达到稳定。该电路达到稳定输出时间较长,输出直流电压约 856 V 左右,纹波电压约 2.7 V。

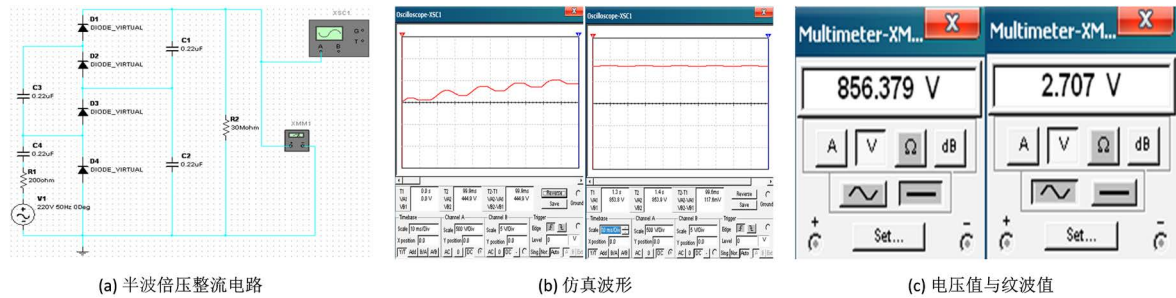


Figure 2. Simulation and test results of half-wave voltage doubling rectifier circuit  
图 2. 半波倍压整流电路仿真及测试结果

### 3.3. 对称倍压整流电路

图 3(a)电路是在简单倍压电路的基础上进行了改进,优点是电容电压不超过  $2u_{in}$ 。缺点是电路复杂,输出纹波较大。该电路在 550 ms 时达到稳定。稳定输出电压在 984 V 左右,纹波在 42 V 左右,如图 3(b)所示。该电路中纹波分量较大,输出直流电压效果不好。

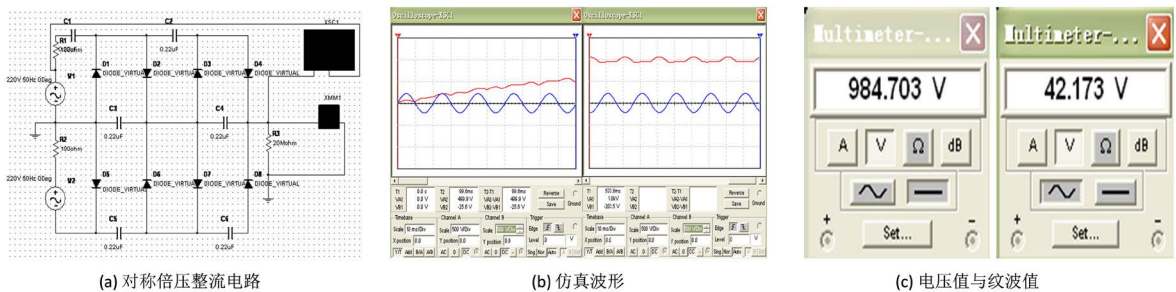


Figure 3. Simulation and test results of symmetrical voltage doubling rectifier circuit  
图 3. 对称倍压整流电路仿真及测试结果

### 3.4. 倍克勒尔倍压整流电路

该电路结构如图 4(a)所示, 在 400 ms 左右输出基本上达到稳定。该电路实质是对第一种简单倍压整流电路稍加修改, 使电容对输出电压进行了滤波。电路稳定后的电压值在 867 V 左右, 纹波在 759 mV 左右。优点是结构简单, 纹波较小, 如图 4(b)所示; 缺点是电路对每一个电容的耐压要求较高, 且随着 N 的增加, 电容的电压随之增加, 该电路中 C<sub>4</sub>上的电压达到了 4u<sub>in</sub>。

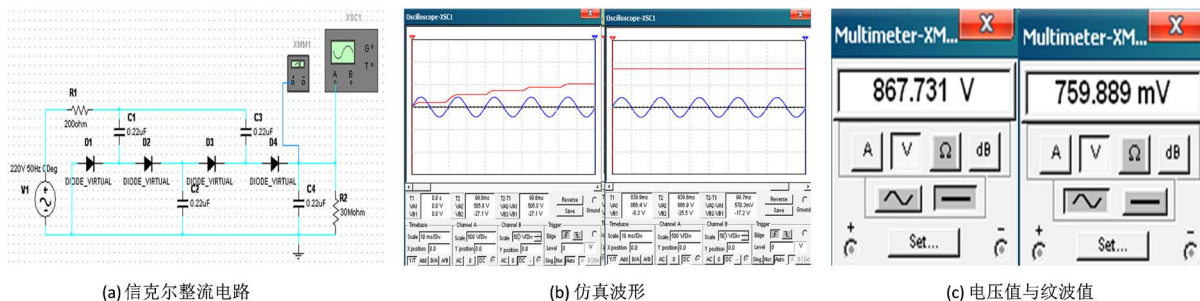


Figure 4. Simulation and test results of Schenkel voltage doubling rectifier circuit  
图 4. 倍克勒尔倍压整流电路及仿真测试结果

### 3.5. 全波倍压整流电路

如图 5 所示, 该电路在 150 ms 左右基本上达到稳定输出, 稳定输出电压在 869 V 左右, 交流成分在 740 mV 左右。可以看出该电路明显有以下几个特点: 一是达到稳定输出波形的时间特别短; 二是从图 c 中可知, 该电路交流纹波非常小, 不到 1 V; 三是每个电容上的电压不会超过初级输入电压的两倍, 故可选用耐压相对较低的电容; 缺点是电容是串联放电, 从图 5(a)可知, 该电路中电源 V1 被直流悬浮, 所以该电路对变压器的绝缘性要求比较高。

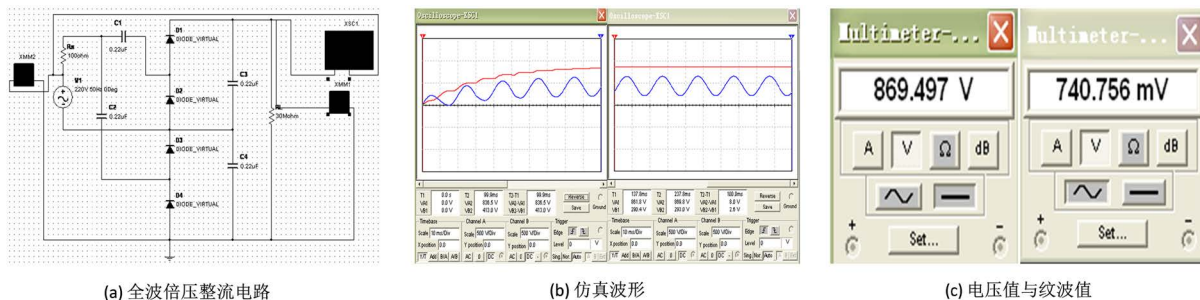


Figure 5. Simulation and test results of full-wave voltage doubling rectifier circuit  
图 5. 全波倍压整流电路仿真及测试结果

## 4. 性能比较

通过应用 Multisim 14 仿真软件对不同结构的倍压整流电路进行了仿真分析, 现将各自有关参数对比如下。由表 1 可知, 在倍压整流电路中, 不同结构的电路存在着不同的优缺点, 我们可根据不同电路功能需求选择不同的结构电路。

简单倍压整流电路与半波倍压整流电路由于二极管的单向导电性, 使电荷单向传输, 并大量聚集在电容上产生电荷量的积累, 电荷量的积累必然形成电势差。随着电容上电荷量的增多, 电势差随之增大, 将对电容产生一定的影响, 因此需要选用耐压值较高的电容。但并非电荷量无限增大, 当电荷量达到一



定值时，电容将被击穿。因此，这两种电路不适合大功率且电压值较高的场合。若对纹波电压与稳定时长要求不是很高的情况下可以采用，如微型高压电源等[7]。

**Table 1.** Characteristic analysis and comparison of voltage doubling rectifier circuit

**表 1.** 倍压整流电路特性分析与对比

电路名称	结构特点	输出电压/V	纹波电压/V	稳定时长/ms	优点	缺点
简单倍压整流电路	简单	861	155	约 500	结构简单	纹波极大
半波倍压整流电路	简单	856	2.7	约 600	电容耐压要求较小，纹波小	稳定时间较长
对称倍压整流电路	复杂	984	42	约 550	电容耐压要求较小	结构复杂，纹波较大
信克尔倍压整流电路	简单	867	0.76	约 400	结构简单，纹波较小	电容耐压要求较高
全波倍压整流电路	中等	869	0.74	约 150	纹波较小，建立时间较短	不适合特高压

对称倍压整流电路从电路结构可知，其电路实质是由 2 个半波倍压整流电路叠加而成的，即上、下两部分各是一个完整的半波倍压整流电路，中间共用了  $C_3$ 、 $C_4$  电容，由于电路是由两个半波倍压整流电路构成的，所以相对而言电路结构复杂。同时，由于单个半波倍压整流电路输出电压相位相反，所以在总的输出电压保持不变的情况下，半波倍压整流电路上电容的耐压将是原半波倍压整流电路电容耐压值的一半。因此，对称倍压整流电路适合于大负载、大功率的电路场合。

由仿真结果可知，信克尔倍压整流电路结构简单，纹波电压较小，可根据需求电压的高低进行级联，便于形成多倍压整流电路。但它对电容的耐压要求较高，且随着需求电压值的增加，后级电容耐压值将随之增加。图 4 电路中， $C_4$  上的电压达到了  $4u_{in}$ ，当为  $k$  倍压整流电路时，末级电容耐压将达到  $k \times u_{in}$ 。因此，当输出电压倍数需求较高时，后级电容耐压要求较高，使得实际电路制造时对绝缘处理技术要求比较高，工艺难度加大[7]。

全波倍压整流电路比较突出的优点是稳定时长较短，纹波电压很小，且对每一个电容的耐压要求较低。缺点是电容串联充放电。电容是用来存储电荷的元器件，一般要求其正常工作时两端的电压不能超过其最大耐压值。当全波倍压整流电路接上输入电压时，由于该电路中的电容是串联结构，由电压与电容值的关系可知，容值越大，电压值越小。当进行放电时，所接电阻的阻值决定了放电电流的大小。当阻值较大时，电流较小，不会对电容产生影响，也不会影响电容两端的电压；当阻值过小，将产生较大的放电电流，将对部分电容产生影响，甚至是破坏。

## 5. 结束语

随着电子信息技术的不断发展，不同电器对高压电源的需求也在不断的具体化。本文为了分析各自电路的结构特性，采用了 Multisim 14 对不同结构的 4 倍压整流电路进行了仿真对比，得出了每一种电路的优缺点，为后期倍压电路的选择与设计提供了一定的理论参考。

## 参考文献

- [1] 闫良, 闫英敏, 杨凤彪. 倍压整流电路的分析和仿真[J]. 电子设计工程, 2017, 25(8): 119-123.
- [2] 赵文杰, 万成安, 郑岩. 基于倍压整流电路的空间高压电源设计[J]. 电子设计工程, 2019, 27(20): 64-69, 74.

- [3] 陈鼎元, 邓吉利. 高铁中倍压整流电路的原理分析与仿真[J]. 电焊机, 2018, 48(3): 384-386.
- [4] 张文昌, 刘海鹏, 孙晓钰. 单相功率倍压整流电路的建模与仿真[J]. 通信电源技术, 2019, 36(9): 33-34, 37.
- [5] 徐周, 王宏华, 郭鹏. 基于倍压整流电路的高压交流电源设计[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(13): 191-194.
- [6] 刘立军. 纳米金刚石场致发射显示器驱动电路设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2008.
- [7] 银志军, 赵扬, 孙大维, 等. 倍压整流电路的仿真与分析[J]. 光电技术应用, 2006, 21(5): 71-75.