

New Harmonic Current Suppressor

Xiaolei Sun, Wei Yang

College of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu
Email: 940541845@qq.com

Received: May 21st, 2018; accepted: Jun. 4th, 2018; published: Jun. 11th, 2018

Abstract

This article is based on the improvement of the existing neutral-line harmonic filters. It is proposed that the conventional zig-zag transformer cannot suppress the zero-sequence harmonic current generated by unbalanced grid voltage, and the neutral line voltage offset problem that is easily caused by a simple neutral-line series filter is proposed. A novel neutral-line harmonic current suppression method combining a zero-sequence filter and a series-neutral-line filter is proposed. This method combines the zero-sequence filter based on zigzag transformer and the series neutral filter, which not only solves the problem of filtering the third harmonic, but also plays a good role in suppressing the midline zero-sequence current, and has little effect on the load.

Keywords

Zero Sequence Third Harmonic, Zigzag Transformer, Series Midline Filter, Matlab/Simulink

新型中性线谐波电流抑制器

孙晓蕾, 杨 伟

南京理工大学自动化学院, 江苏 南京
Email: 940541845@qq.com

收稿日期: 2018年5月21日; 录用日期: 2018年6月4日; 发布日期: 2018年6月11日

摘 要

针对传统曲折变压器无法抑制电网电压不平衡产生的零序谐波电流, 以及简单的中线串联型滤波器容易引起的中线电压偏移问题, 对现有中性线谐波滤波器进行改进, 设计了一种将零序滤波器与串联中线滤波器相结合的新型中性线谐波电流抑制器。并基于Matlab/Simulink对该滤波器进行仿真验证, 结果表明, 其既解决了三次谐波的滤波问题, 又对中线零序电流起到很好的抑制作用, 同时对负载的影响很小。

关键词

零序三次谐波, 曲折变压器, 串联中线滤波器, Matlab/Simulink

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

随着城市化的不断发展, 大量的个人计算机、变频空调等家用电器、照明电源及不间断电源等设备的使用, 使得单相开关设备产生的谐波问题特别是中性线零序谐波电流过大问题, 成为供电系统安全稳定运行的重大隐患[1]。三相电流中零序电流分量将通过中性线和电源构成通路, 特别是三次谐波分量在中性线中的流动, 经常使得中性线的电流超过相线中的电流[2]。

目前, 中性线谐波治理有无源和有源两种[3], 常用的有曲折变压器[4]、中线串联型滤波器、调谐 LC 滤波器[5]和各种有源滤波器[6]等。但在应用中, 现有的各种滤波器均存在自身不同的缺陷。

本文是基于现有中性线谐波滤波器进行改进, 针对传统曲折变压器无法抑制电网电压不平衡产生的零序谐波电流, 以及简单的中线串联型滤波器容易引起的中线电压偏移问题, 设计了一种将零序滤波器与串联中线滤波器相结合的新型中性线谐波电流抑制器。

2. 滤波器结构

2.1. 零序滤波器

零序滤波器由曲折变压器和阻零器组成, 如图 1 所示。

曲折变压器采用了基于曲折移相原理的零序磁通补偿方法[7], 曲折连接是一种特殊的绕组连接方式, 每相绕组被分为两个半绕组, 分别位于两个不同的芯柱上。每一相的线电压是由两个位于不同芯柱上的半绕组反向连接而得。同时将三个下半绕组出线端短接后连接到系统电源的中性线上, 三个上半绕组与系统三相电源直接并联。每一相的下半绕组即移相绕组则作为补偿绕组。

在这种结构下曲折变压器对零序电流只具有很小的零序漏阻抗并且该阻抗远远小于电力系统自身的零序阻抗。而对于基波电流, 根据曲折移相电路的磁通关系, 滤波器中的正序磁通不能抵消, 因此呈现出极大的激磁阻抗。

为抑制由电源的不对称产生的零序电流, 需要在电源与曲折变压器之间接一个阻零器。将三相电源线缆同方向地绕在同一个铁芯上, 每相绕组的匝数相等, 即可以制成一个简单的阻零器。阻零器可以表现出对零序电流极大的阻抗而对基波电流几乎没有什么阻碍。

2.2. 串联中线滤波器

改进后的新型中线滤波器满足以下两个条件: 一为滤波器的零序阻抗需要足够大以达到较好的滤波效果; 二为滤波器的基波阻抗较小, 减小对系统产生的影响。

如下图 2, 新型串联中线滤波器采用谐振回路部分接入主回路的方式。同样采用 LC 串联谐振在 3 次, 对 3 次谐波呈现高阻抗。同时在串联回路的电抗器同一个铁芯上绕制一个匝数较小的电感接入中线。

采用这样的新型结构, 基波电抗可大幅度降低:

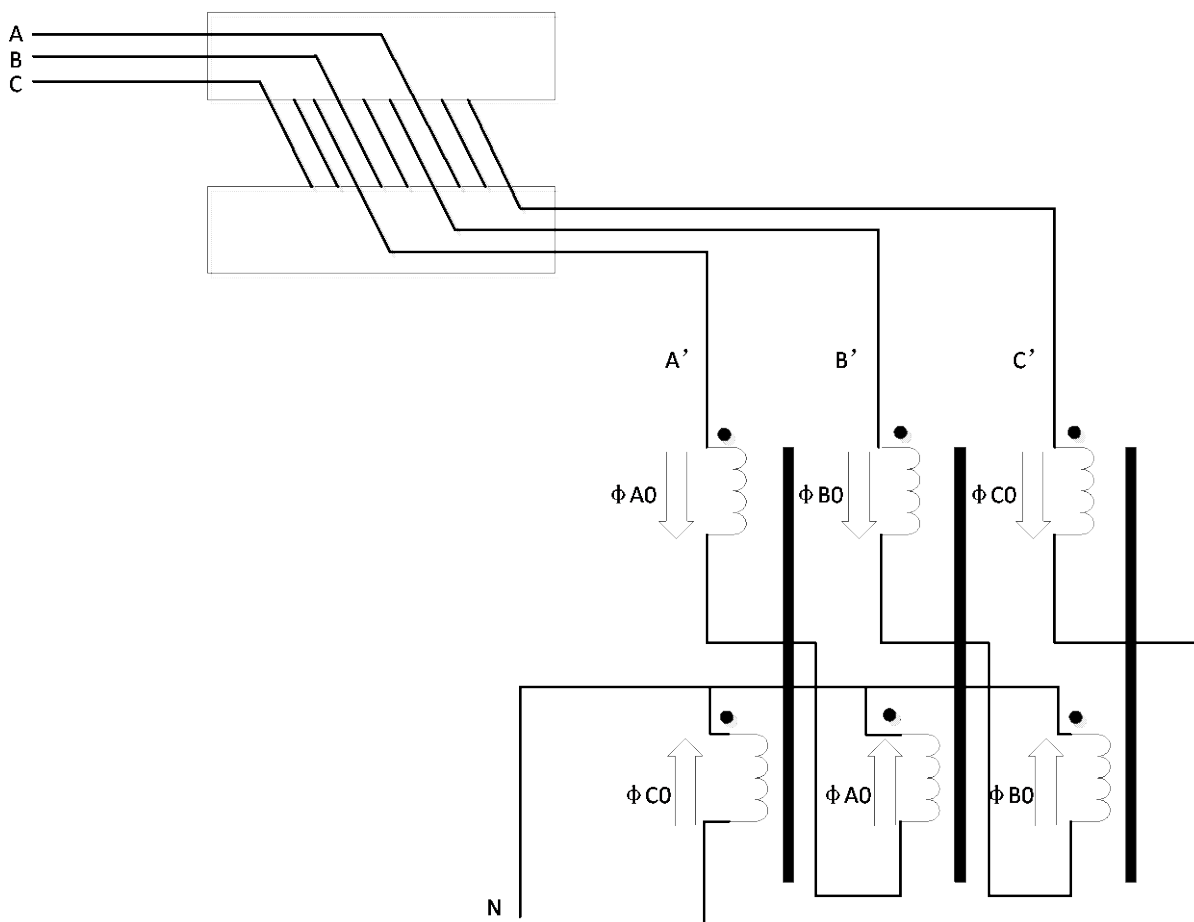


Figure 1. Structure of Zero-sequence filter
图 1. 零序滤波器结构

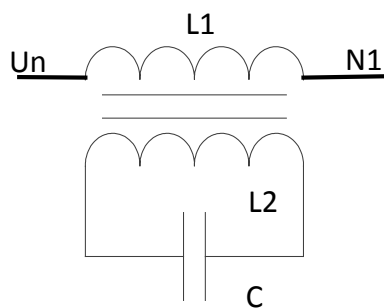


Figure 2. Structure of Serial midline filter
图 2. 串联中线滤波器结构

$$Z_f = \frac{X_{L1} X_C}{X_{L1} + X_{L2} + 2X_M + X_C}$$

式中, X_{L1} 为接入部分电抗; X_{L2} 为非接入部分电抗; X_M 为两个电抗互感电抗; X_C 为电容电抗。

采用抽头结构的滤波器, 加载的时候, 负荷不平衡或者存在缺相的时候, 中性点偏移较小, 滤波器端电压较小, 中线基本没有偏移, 不影响负载和保护装置工作。以较小的串联系数接入系统, 可以较好地滤除整个母线谐波电流, 且对系统安全运行不构成威胁。

3. 等效电路分析

3.1. 零序等效电路

将负载中的谐波电流等效成电流源, 则能得出如图 3 所示的零序等效电路。图中, u_{s0} 表示系统零序电压, i_{s0} 表示负载零序电流, Z_s 为系统电源侧阻抗, Z_z 为阻零器阻抗, Z_{zn} 为曲折变压器阻抗, Z_{sn} 为滤波器与电源间的中性线阻抗, Z_f 为串联中线滤波器阻抗, Z_{ln} 为滤波器与负载间的中性线阻抗。

则根据叠加原理, 可得到流经中性线电流 i_{sn} 和流经零序滤波器电流 i_{zn} 分别为:

$$i_{sn} = \frac{Z_{zn}}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0} + \frac{1}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} u_{s0}$$

$$i_{zn} = \frac{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0} - \frac{1}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} u_{s0}$$

在上述的中性线电流 i_{sn} 和零序滤波器电流 i_{zn} 表达式中, 前一项为负载零序电流的分流, 因为曲折变压器对零序电流只具有很小的零序漏阻抗并且该阻抗远远小于电力系统自身的零序阻抗, 即 $Z_{zn} \ll Z_s$, 因此:

$$\frac{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0} \gg \frac{Z_{zn}}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0}$$

即零序滤波器使得 i_{s0} 几乎全部流过自身, 从而对中性线的零序电流起到抑制作用。

而后一项是由系统零序电压引起的, 由于阻零器的接入, Z_z 很大, 所以对不平衡电压 u_{s0} 引起的零序电流也起到很好的抑制作用。

同时, 计算曲折变压器接入点电压:

$$u_{zn} = \frac{(Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z)(Z_{zn})}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0} - \frac{Z_{zn}}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} u_{s0}$$

因为曲折变压器对零序电流只具有很小的零序漏阻抗, 即 Z_{zn} 的值很小, 所以, 上式前一项中

$$\frac{(Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z)(Z_{zn})}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} \approx Z_{zn}$$

则第一项的值很小, 同理, 因为 Z_{zn} 的值很小, 上式第二项的值也很小。由此可证明, 本发明引起负载侧电压变化小, 对负载的影响很小。

我们同样可以计算中线点电压:

$$u_{zn} = \frac{(Z_{sn} + 3Z_f)(Z_{zn})}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{s0} + \frac{Z_{sn} + 3Z_f}{Z_{sn} + 3Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} u_{s0}$$

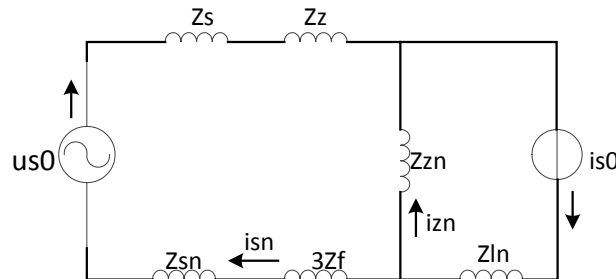


Figure 3. Zero sequence equivalent circuit

图 3. 零序等效电路

因为串联中线滤波器对三次谐波呈现高阻抗而基波电抗大幅降低, 即 Z_f 的值较小, 同时, Z_{zn} 的值又很小, 而 Z_z 很大, 因此上式两项的值都不大。由此解决了简单的中线串联型滤波器容易引起的中线电压偏移问题。

3.2. 三次谐波等效电路

将负载中的谐波电流等效成电流源, 则能得出图 4 所示的三次谐波等效电路。图中, u_{3s} 表示系统三次背景谐波电压, i_{3s} 表示负载三次谐波电流, Z_s 为系统电源侧阻抗, Z_z 为零序阻抗, Z_{zn} 为曲折变压器阻抗, Z_{sn} 为滤波器与电源间的中性线阻抗, Z_f 为串联中线滤波器阻抗, Z_{ln} 为滤波器与负载间的中性线阻抗。

则根据叠加原理, 可得到流经中性线电流 i_{sn} 为:

$$i_{sn} = \frac{Z_{zn}}{Z_{sn} + Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} i_{3s} + \frac{1}{Z_{sn} + Z_f + Z_s + Z_z + Z_{zn}} u_{3s}$$

上式中, 前一项为负载三次谐波电流的分流, 后一项是由系统三次背景谐波引起的, 因为串联中线滤波器对三次谐波呈现高阻抗而基波电抗大幅降低, Z_f 很大, 即 $Z_{zn} \ll Z_f$, 因此, 流过中性线的三次谐波电流很小。

4. 仿真分析

4.1. Matlab/Simulink 仿真模型

本文使用 Matlab/Simulink 对上节所述的等效电路进行建模仿真。图 5 为整体中性线谐波电流抑制器仿真模型。

仿真参数如下: 三相电网电压 380 V/50 Hz, 中线阻抗 0.05 Ω /0.1 mH, 串联中线滤波器电感为 7 mH, 接入电感 L_1 为 2 mH, C 为 160 μ F。

4.2. 仿真结果分析

为了验证文中提出的新型中性线谐波电流抑制器的有效性和可行性, 利用 Matlab/Simulink 建立模型进行对比研究。在相同的负荷和系统阻抗的情况下进行研究, 系统中未加任何滤波装置的仿真结果如图 6 所示; 系统中只加零序滤波器的仿真结构如图 7 所示; 完整的中性线谐波电流抑制器仿真结果如图 8 所示。

从以上仿真波形和 FFT 分析结果可以看出, 只加了零序滤波器而未加串联中线滤波器, 中性线电流总畸变从 357.16% 下降至 214.02%, 三次谐波电流畸变从 130% 下降至 52%; 在此基础上再加上串联中线滤波器之后, 中性线电流总畸变又从 214.02% 下降至 48.84%, 三次谐波电流畸变也从 52% 下降至 30%。

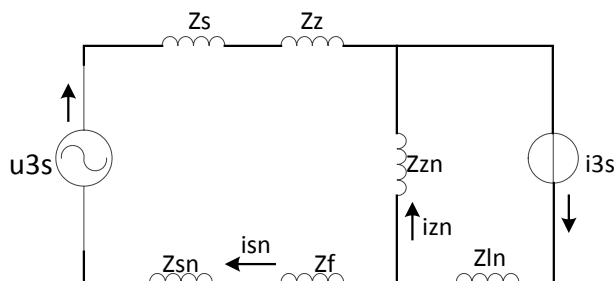


Figure 4. Third harmonic equivalent circuit
图 4. 三次谐波等效电路

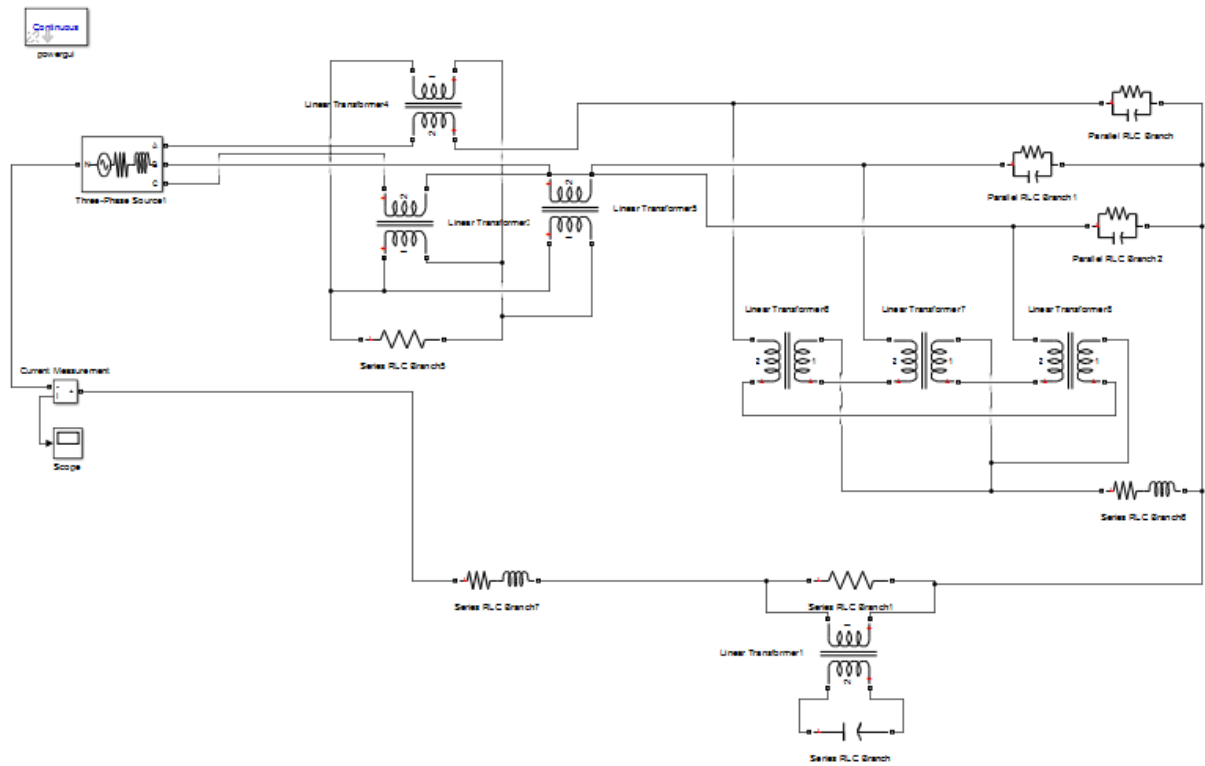


Figure 5. Neutral harmonic current suppressor simulation model
图 5. 三次谐波等效电路

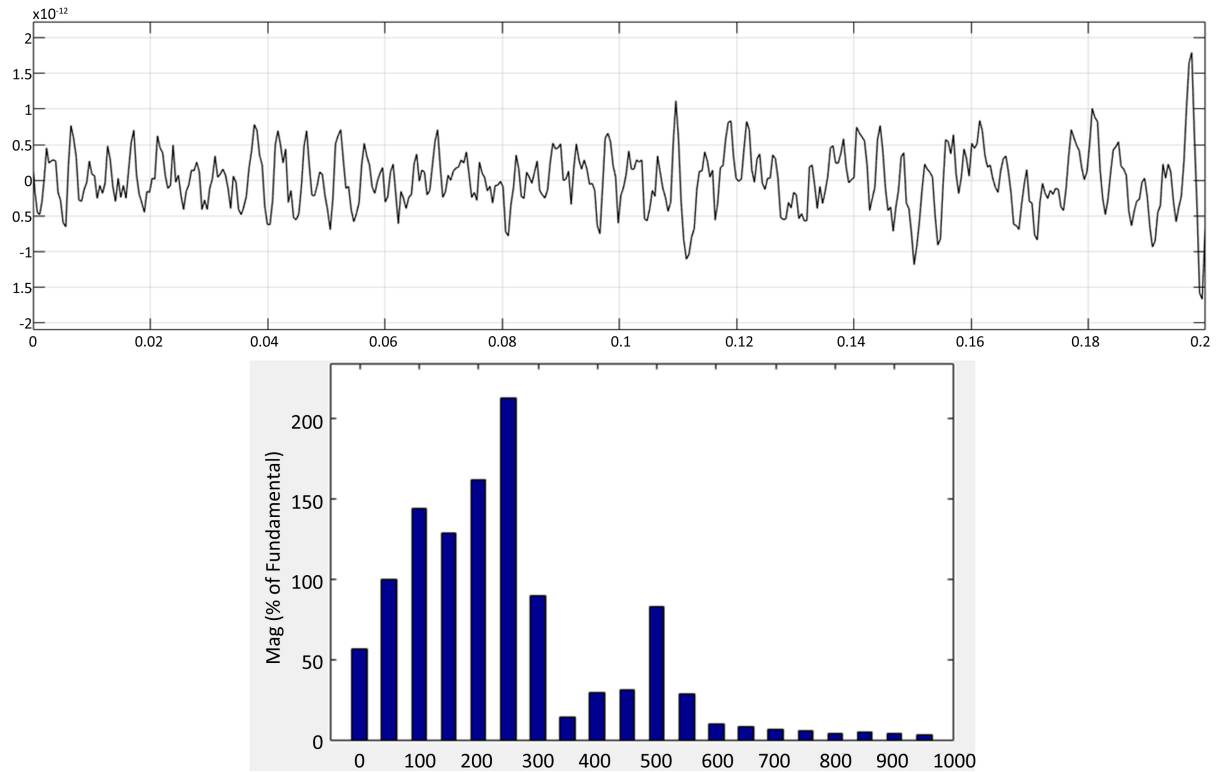


Figure 6. System simulation waveform and FFT analysis without any filtering device
图 6. 未加任何滤波装置的系统仿真波形及 FFT 分析

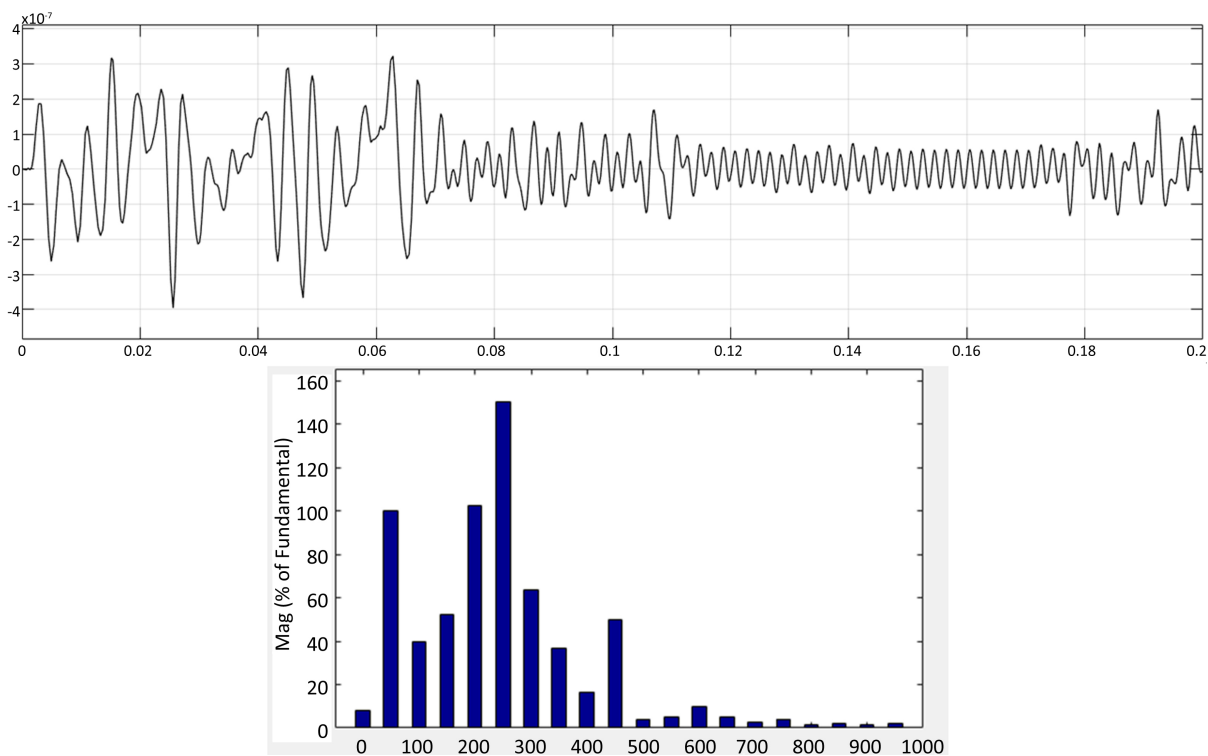


Figure 7. System simulation waveform and FFT analysis only with zero-sequence filter
图 7. 只加零序滤波器的系统仿真波形及 FFT 分析

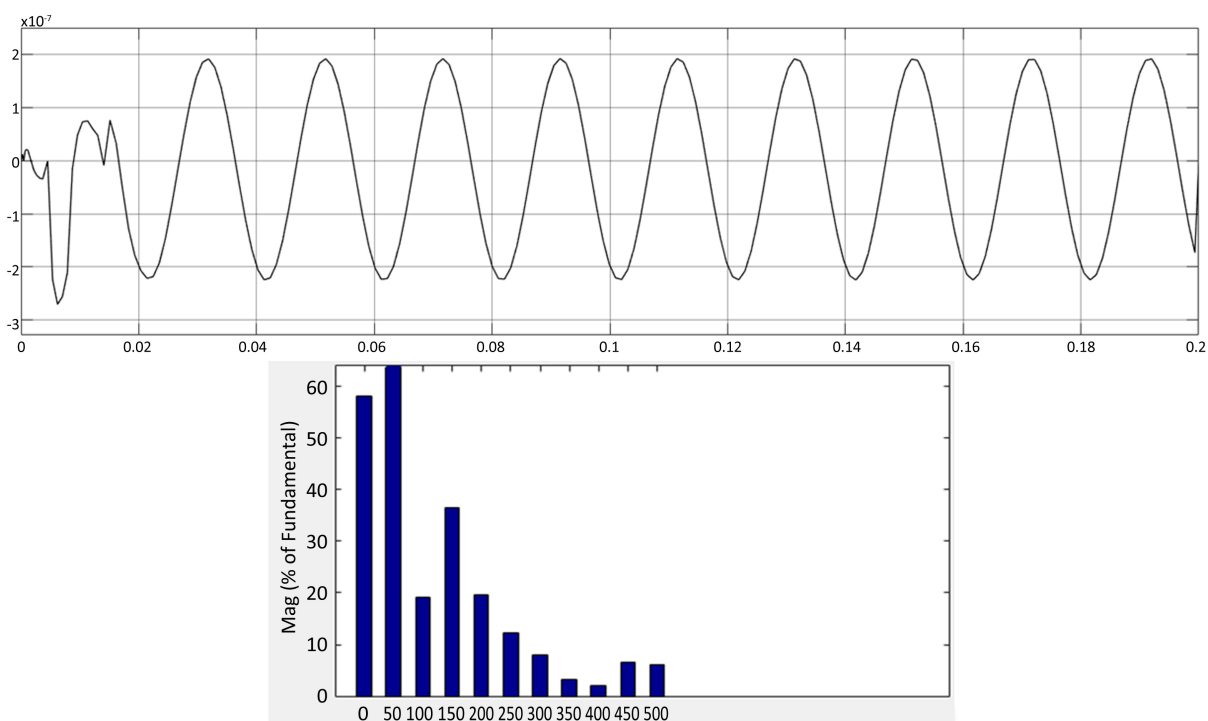


Figure 8. Neutral harmonic current suppressor simulation waveform and FFT analysis
图 8. 中性线谐波电流抑制器仿真波形及 FFT 分析

从上图可以看出, 本文中的装置不但抑制了 3 次谐波, 而且对其他谐波都有抑制作用, 且效果较好;

但只加零序滤波器而未加串联中线滤波器时, 对系统中的 5 次、7 次谐波抑制效果较差。

同时, 从电压波形来看, 未加串联中线滤波器时, 电压波形虽有所改善, 但畸变还是较大, 而加上中线滤波器后, 电压波形明显变好, 畸变很小, 对负荷影响小。

由此可以验证, 本文所设计的中性线谐波电流抑制器对系统中性线谐波电流有很好的抑制作用。

5. 结论

本文通过 Matlab/Simulink 建模仿真, 验证了所设计的中性线谐波电流抑制器的有效性和实用性。对于电网电压不平衡产生的零序谐波电流抑制效果优良; 同时, 由于串联中线滤波器的加入, 中性线电流畸变显著降低, 尤其对三次谐波畸变滤波效果明显。

参考文献

- [1] 王轩, 朱东起, 姜新建. 三相四线制下串联混合滤波器的研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 45-48.
- [2] 王轩, 朱东起, 姜新建. 治理三相四线制配电网谐波电流的新技术[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(15): 44-47.
- [3] 孙建军, 查晓明, 丁凯. 一种低耐压中性线谐波治理电路原理及实现[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 34-37.
- [4] Dahono, P.A. and Widjaya, R.E. (1997) A Practical Approach to Minimize the Zero Sequence Current Harmonics in Power Distribution Systems. *IEEE Proceedings of Power Conversion Conference*, Nagaoka, 6 August 1997, 683-686. <https://doi.org/10.1109/PCCON.1997.638278>
- [5] 庞庆, 张云建, 占江山. 基于桥式逆变器中性线谐波电流治理装置的研究[J]. 电力电子技术, 2007, 41(11): 12-15.
- [6] Zahira, R. and Fathima, A.P. (2012) A Technical Survey on Control Strategies of Active Filter for Harmonic Suppression. *Procedia Engineering*, **30**, 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.915>
- [7] Khera, P.P. (1990) Application of Zig Zag Transformers for Reducing Harmonics in the Neutral Conductor of Low Voltage Distribution System. *IEEE IAS*, No. 2, 1092-1096.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org