



主动配电网大作业

姓名： 尚子轩

学号： 22121497

学院： 电气工程学院

班级： 硕 2201 班

目 录

1 单台逆变器工作原理	1
2 并联运行工作原理	2
3 MATLAB/Simulink 模型搭建	4
4 实验结果	5

1 单台逆变器工作原理

发电机可以通过调节功角 δ 实现对输出有功功率 P 的调节。

通过调节端电压 E 相对受电端母线电压 V 的幅值差实现对输出无功功率 Q 的调节。

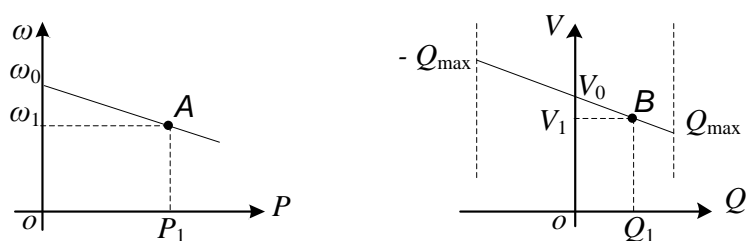


图 1.1 下垂曲线

发电机输出的有功功率过多，则按照 P - f 下垂特性，输出频率将降低，而受电端母线频率不变，功角 δ 将减小，发电机输出有功功率 P 将减小。

形成负反馈，发电机输出有功功率 P 符合 P - f 下垂特性曲线时系统进入稳态。

发电机输出的无功功率过多，则按照 Q - V 下垂特性，输出电压将降低，而受电端母线电压不变，压差将减小，发电机输出无功功率 Q 将减小。

形成负反馈，发电机输出无功功率 Q 符合 Q - V 下垂特性曲线时系统进入稳态。

2 并联运行工作原理

以 2 台逆变器并联为例，图 2.1 为微电网运行结构图，其中含有 2 个分布式电源，使用电压源型逆变器，逆变器输出通过 LC 滤波器滤除高频毛刺，再由线路连接到输出交流母线上。 K_1 、 K_2 分别为两逆变器的输出继电器，控制分布式发电单元的投切； r_1 、 r_2 分别等效逆变器 1、2 的输出电阻和线路电阻之和， X_1 、 X_2 分别等效逆变器 1、2 的输出感抗和线路感抗之和； Z_l 为负载值。与图 2.1 相对应的简化原理图如图 2.2 所示。图中， $E \angle 0$ 为并联交流母线电压； $U_1 \angle \phi_1$ 和 $U_2 \angle \phi_2$ 分别为逆变器 1、2 的空载输出电压； ϕ_1 、 ϕ_2 分别为逆变器 1、2 的空载输出电压与母线电压的相角差。

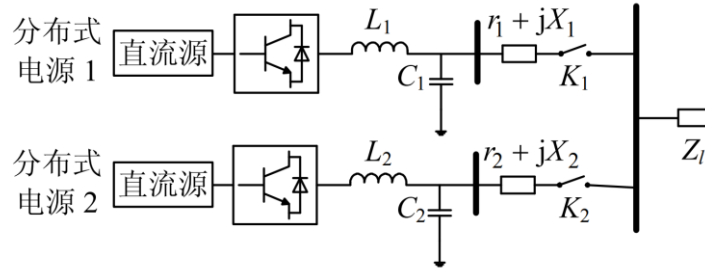


图 2.1 含有 2 个分布式电源的微电网结构图

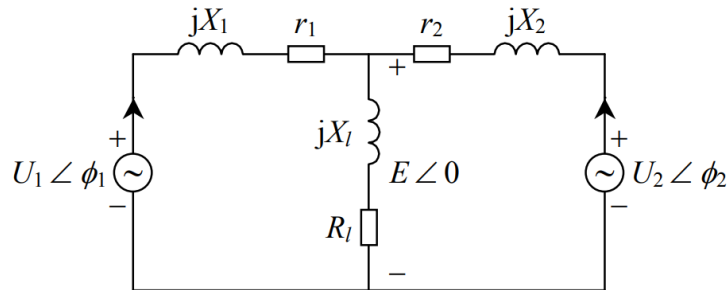


图 2.2 含有 2 个分布式电源的微电网简化原理图

由图 2.2 所示关系，可得逆变器 $i(i=1,2)$ 输出的有功功率和无功功率分别为

$$P_i = \frac{1}{|Z_i|} \left[(EU_i \cos \phi_i - E^2) \cos \theta_i + EU_i \sin \phi_i \sin \theta_i \right] \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{1}{|Z_i|} \left[(EU_i \cos \phi_i - E^2) \sin \theta_i - EU_i \sin \phi_i \cos \theta_i \right] \quad (2)$$

式中 $|Z_i|$ 为逆变器 i 对应的阻抗幅值：

$$|Z_i| = \sqrt{r_i^2 + X_i^2} \quad (3)$$

式中： Z_i 包含逆变器输出阻抗和线路阻抗两部分； r_i 为逆变器 i 输出电阻与线路电阻之和； X_i 为逆变器 i 输出感抗与线路感抗之和； U_i 为逆变器 i 空载输出电压幅值； ϕ_i 为逆变器 i 空载输出电压与母线电压的相角差； θ_i 为阻抗角，其值为

$$\theta_i = \arctan \frac{r_i}{X_i} \quad (4)$$

实际中 ϕ_i 很小，可近似认为 $\sin\phi_i \approx \phi_i$ ， $\cos\phi_i \approx 1$ 。当 X_i 远大于 r_i 时，式(1)和(2)可分别写为

$$P_i \approx \frac{EU_i}{X_i} \phi_i \quad (5)$$

$$Q_i \approx \frac{E}{X_i} (U_i - E) \quad (6)$$

可见，有功功率主要与逆变器输出电压相角差有关，而无功功率主要与输出电压幅值有关。又因电压相角差和角频率满足关系： $\omega_i = d\phi_i/dt$ ，由此，可通过调节有功功率来改变输出角频率，进而实现电压相角差的控制；通过调节无功功率来实现电压幅值的控制。

$$\begin{cases} \omega_i = \omega_i^* - mP_i \\ U_i = U_i^* - nQ_i \end{cases} \quad (7)$$

式中： ω_i^* 、 U_i^* 分别为空载输出电压角频率和幅值； m 、 n 为下垂控制系数，由 ω_i 、 U_i 合成电压环的参考电压。

3 MATLAB/Simulink 模型搭建

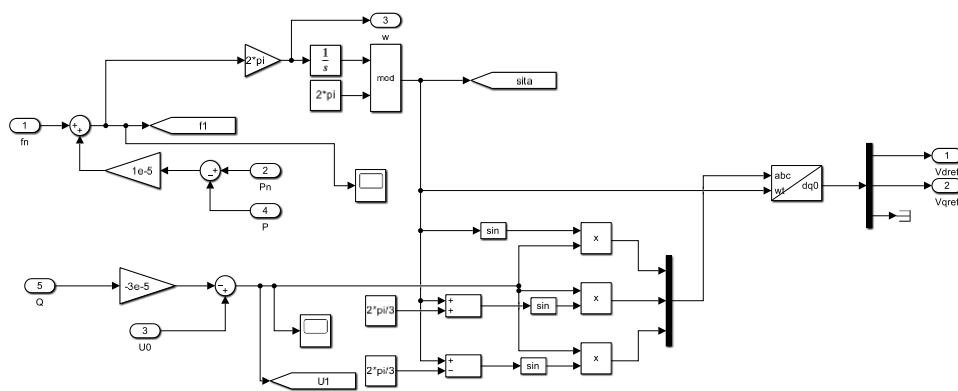


图 3.1 外部功率下垂控制

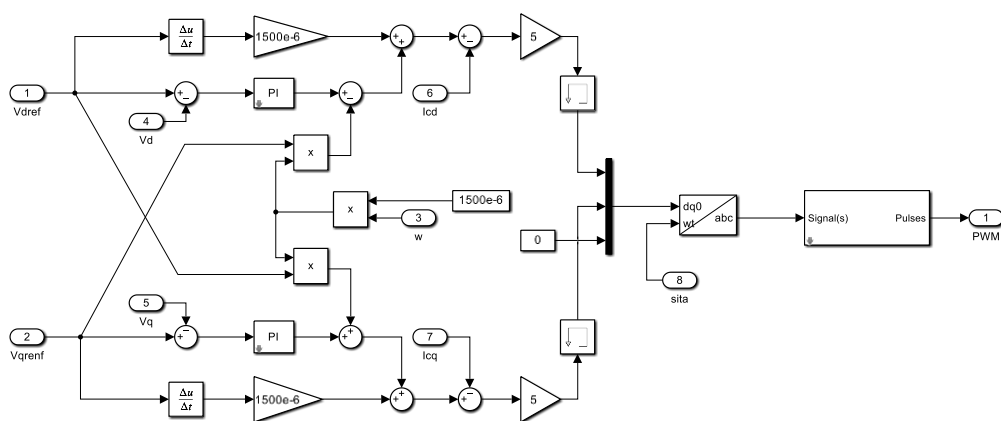


图 3.2 内部 V_f 控制

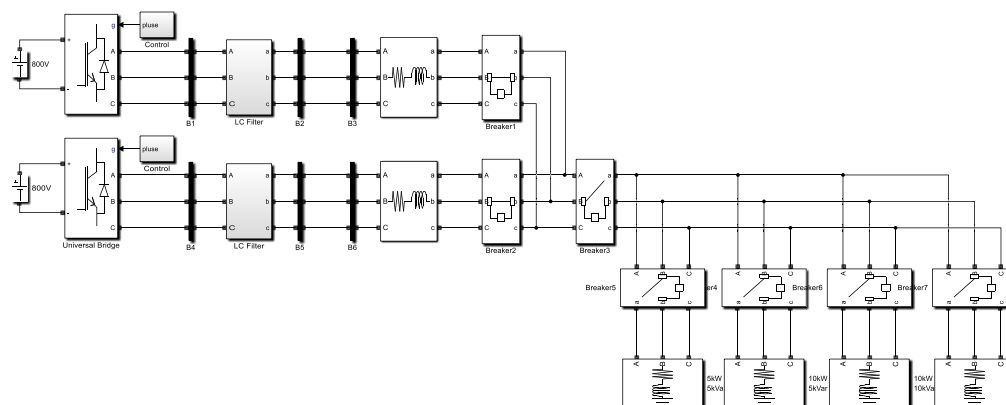


图 3.3 主电路图

4 实验结果

两台逆变器输出功率波形如图 4.1 所示。

可以看出，在 0.2s 时负荷由有功 $P=0\text{kW}$ ，无功 $Q=0\text{kVar}$ 变为有功 $P=5\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ ，两台逆变器的功率经过短暂波动之后均能维持在有功 $P=2500\text{W}$ ，无功 $Q=2500\text{Var}$ 。

在 0.4s 时，负荷由有功 $P=5\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ 变为有功 $P=10\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ ，两台逆变器的功率经过短暂波动之后均能维持在有功 $P=5000\text{W}$ ，无功 $Q=2500\text{Var}$ 。

在 0.6s 时，负荷由有功 $P=10\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ 变为有功 $P=10\text{kW}$ ，无功 $Q=10\text{kVar}$ 。两台逆变器的功率经过短暂波动之后均能维持在有功 $P=5000\text{W}$ ，无功 $Q=5000\text{Var}$ 。

在 0.8s 时，负荷由有功 $P=10\text{kW}$ ，无功 $Q=10\text{kVar}$ 变为有功 $P=5\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ 。两台逆变器的功率经过短暂波动之后均能维持在有功 $P=2500\text{W}$ ，无功 $Q=2500\text{Var}$ 。

在 1s 时，负荷由有功 $P=5\text{kW}$ ，无功 $Q=5\text{kVar}$ 变为有功 $P=0\text{kW}$ ，无功 $Q=0\text{kVar}$ 。两台逆变器的功率经过短暂波动之后均能维持在有功 $P=0$ ，无功 $Q=0$ 。

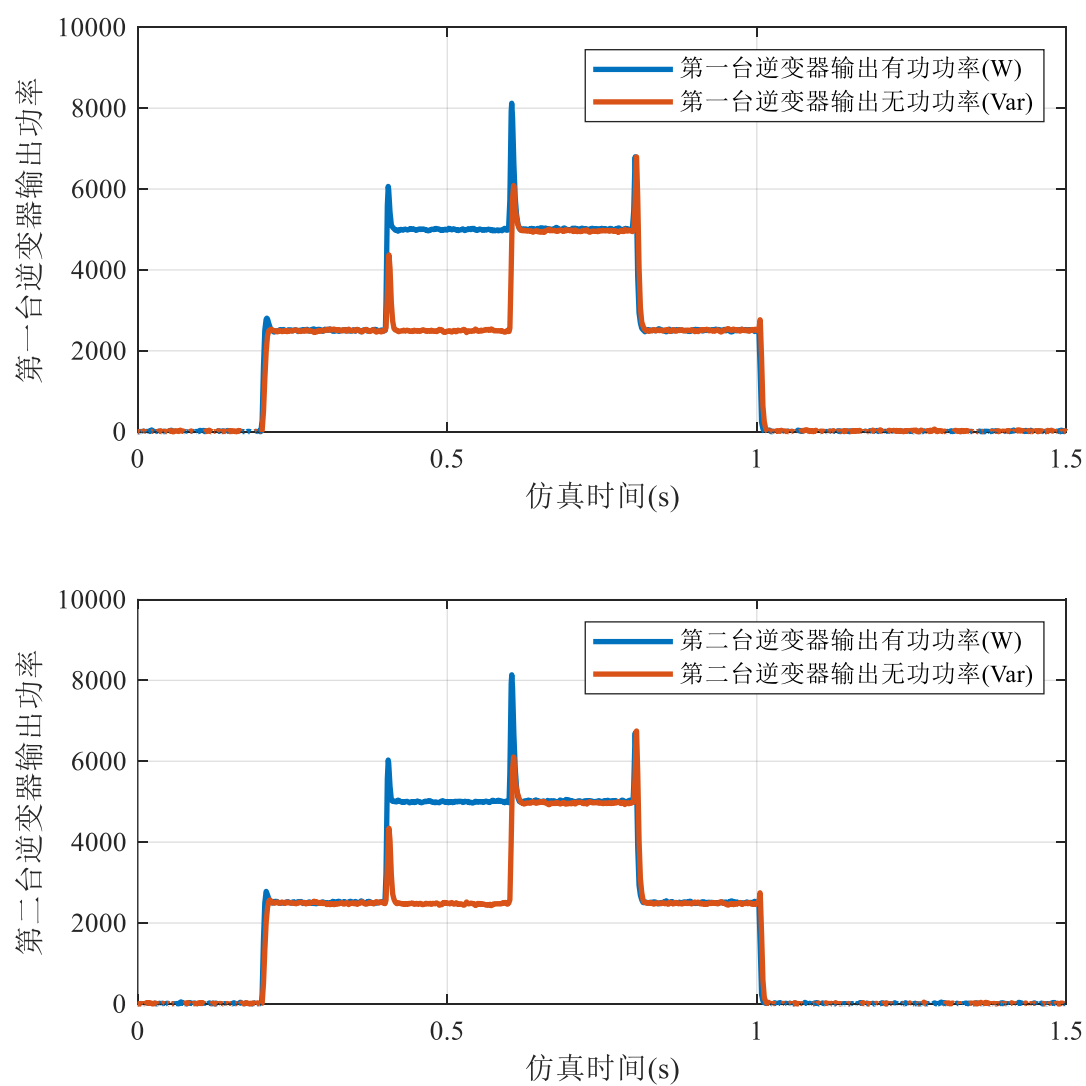


图 4.1 两台逆变器输出功率波形

两台逆变器输出的 1.2~1.3s 的三相电压波形如图 4.2 所示，可以看出稳态状态下电压谐波含量较低。

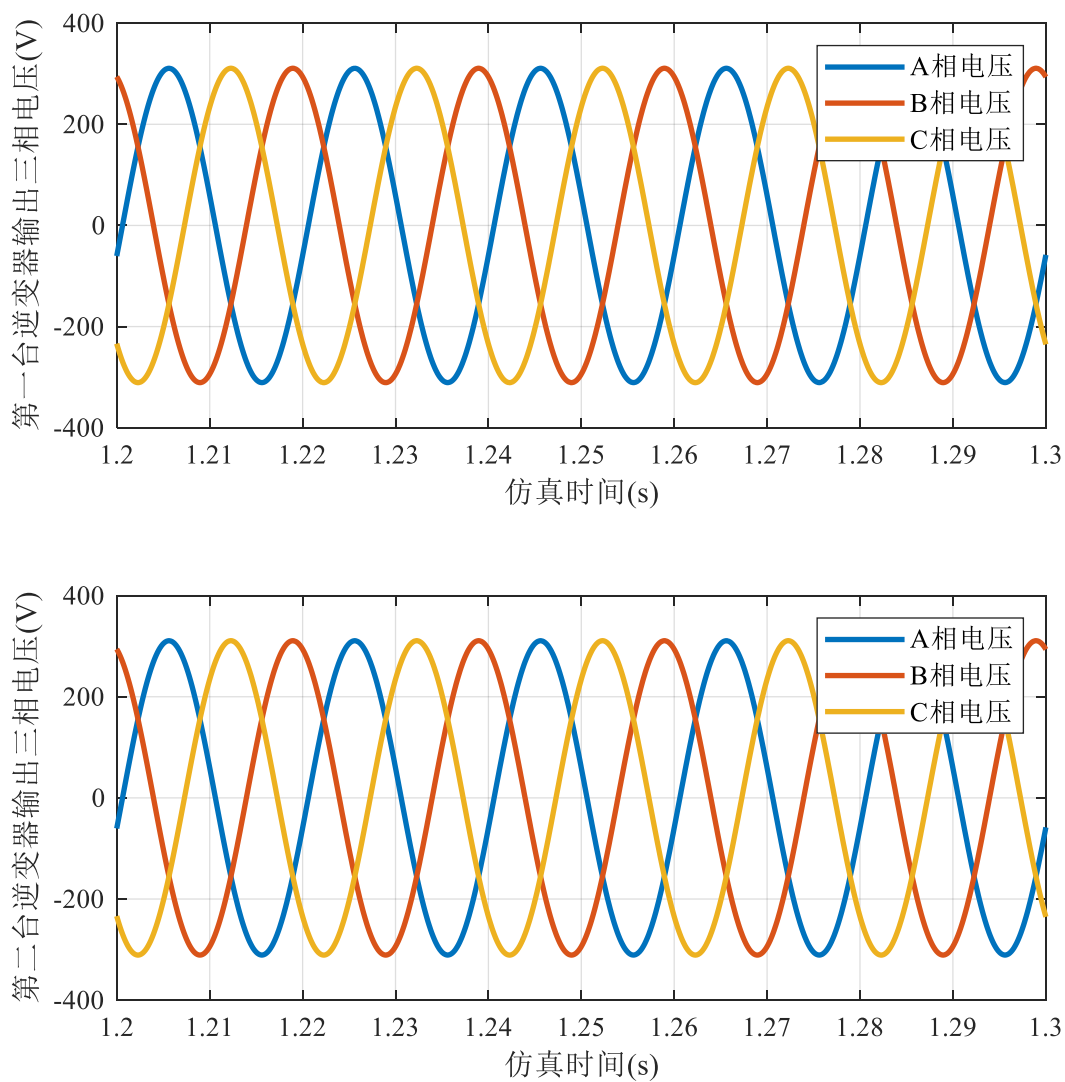


图 4.2 两台逆变器输出三相电压波形（1.2~1.3s）

对两台逆变器输出三相电压中的 A 相电压进行 FFT 分析，分析结果如图 4.3 所示，两台 A 相电压 THD 均为 0.01%，满足 $\text{THD} < 3\%$ 的要求。

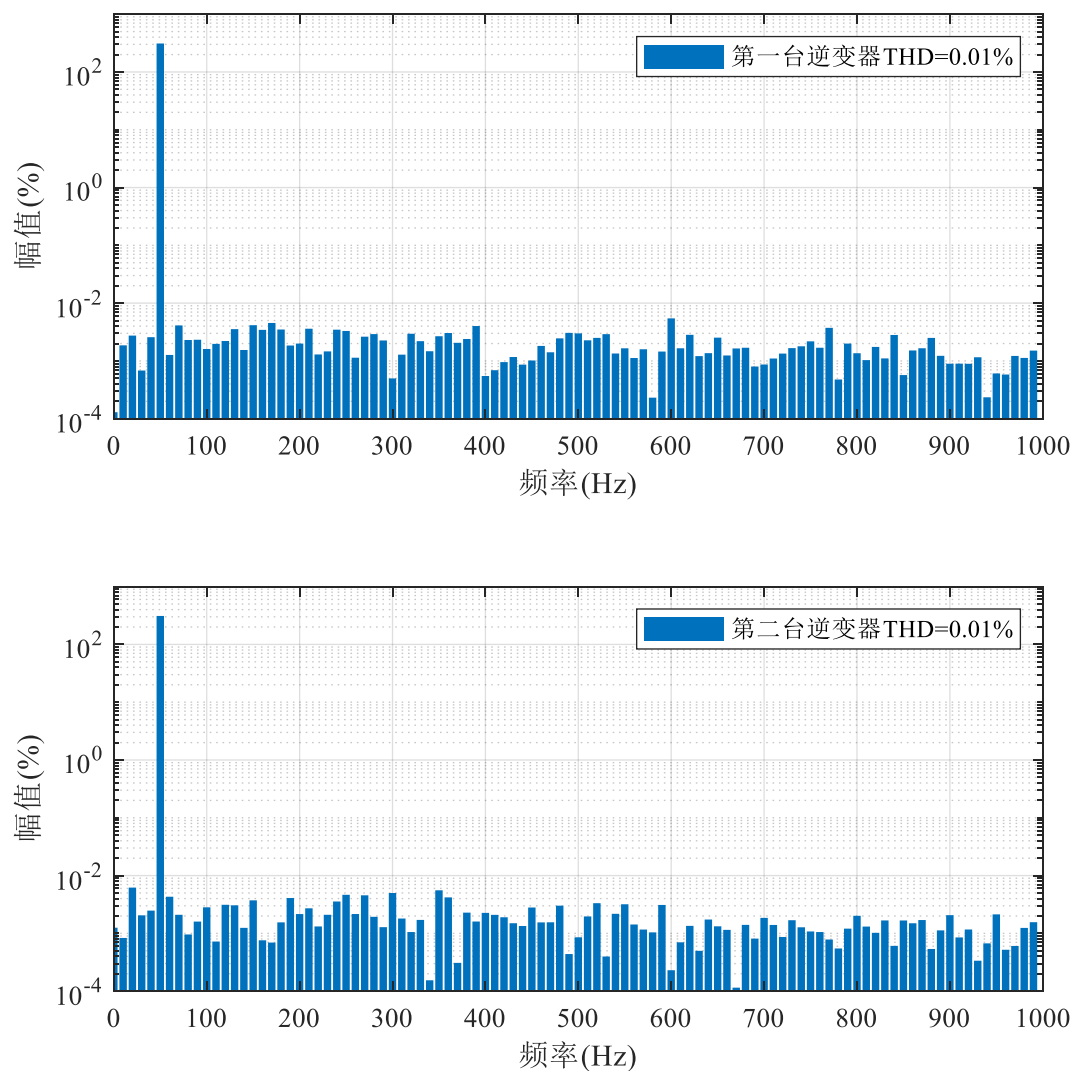


图 4.3 两台逆变器输出 A 相电压具体波形

对两台逆变器输出电压的频率进行比较如图 4.4 所示，可以看出，当负荷增加时，两台逆变器频率同时降低并保持可以稳定；负荷降低时，两台逆变器频率同时提高并可以保持稳定。

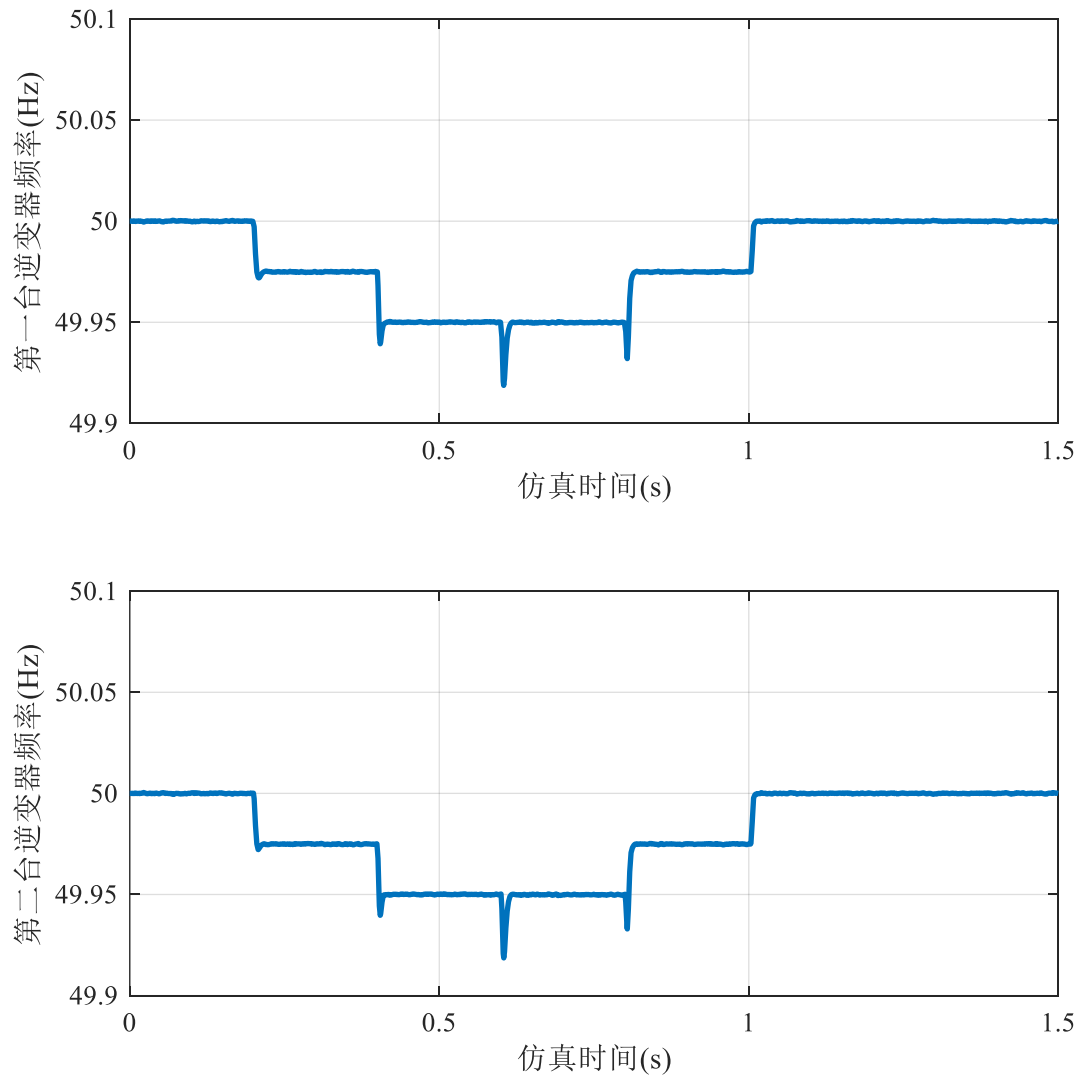


图 4.4 两台逆变器频率波形