



Dq变换的开关分析

Switching analysis of Dq
conversion



"开关分析与DQ变换"

Switching analysis and DQ conversion

在DCDC电力电子变换器中，我们分析开关区域，都将之傅里叶变换，观察基波、谐波，再后续电路滤波。而在DCAC电力电子变换器中，我们也进行以上操作，可以辅助我们选择开关频率。但是其方法与我们控制器时总隔了一层，使得在控制器中进行谐波分析较为困难，我们希望在dq坐标系下观察开关谐波，从而辅助控制器的设计和系统稳定性的分析，辅助选择调制技术。该方法可以结合小信号模型进行整体分析。

| 傅里叶变换

| 调制方法分析

| 同步旋转坐标系

 关键词"
The keywords

DQ变换下的开关傅里叶分析是怎么样子的呢？

Analyze the relationship of key parameters through mathematical methods, thus providing assistance in analyzing and controlling the circuit.

开关分析与DQ变换



我们都很清楚dq变换就是在一个与对应正弦变化信号同步的坐标系上进行观察看到的值。

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = T_{abc/dq} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (1)$$
$$T_{abc/dq} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(wt + \beta) & \cos(wt + \beta - 2\pi/3) & \cos(wt + \beta + 2\pi/3) \\ -\sin(wt + \beta) & -\sin(wt + \beta - 2\pi/3) & -\sin(wt + \beta + 2\pi/3) \end{bmatrix}$$

对信号处理后为

$$Signal = \begin{bmatrix} A \cos(w_x t + \alpha) \\ A \cos(w_x t + \alpha - 2\pi/3) \\ A \cos(w_x t + \alpha + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} S_d \\ S_q \end{bmatrix} &= \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(wt + \beta) & \cos(wt + \beta - 2\pi/3) & \cos(wt + \beta + 2\pi/3) \\ -\sin(wt + \beta) & -\sin(wt + \beta - 2\pi/3) & -\sin(wt + \beta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \cos(w_x t + \alpha) \\ A \cos(w_x t + \alpha - 2\pi/3) \\ A \cos(w_x t + \alpha + 2\pi/3) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} A \cos((w_x - w)t + \alpha - \beta) \\ A \sin((w_x - w)t + \alpha - \beta) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

若只a相信号在时域和d轴分量来说，相当于进行了一次频率切换。

DQ 开关

需求调研

DQ变换

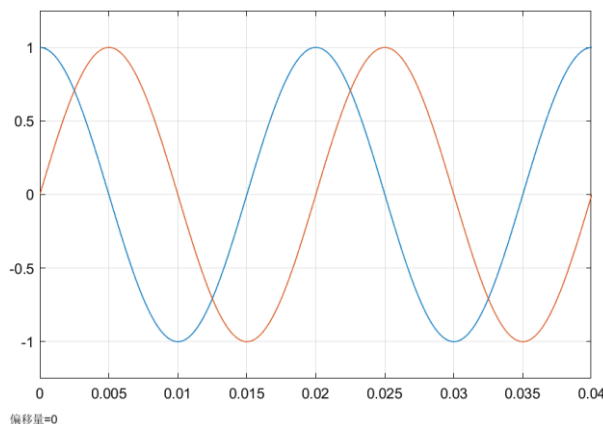
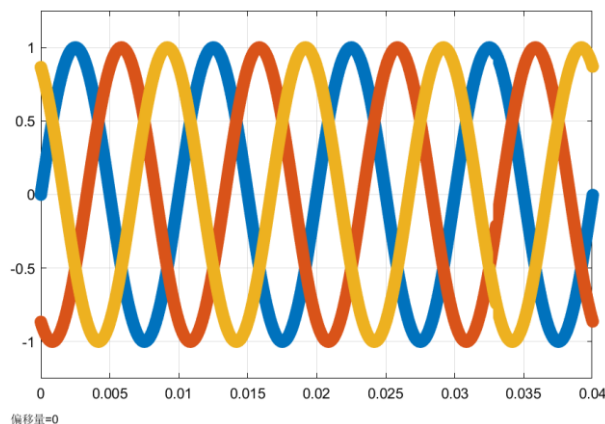
仿真验证

Vienna分析

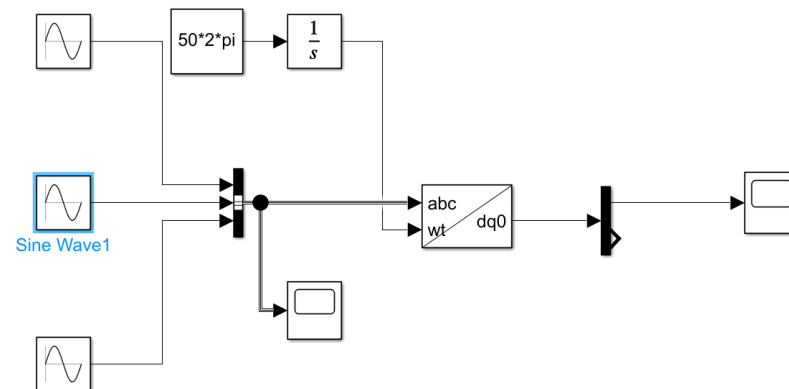
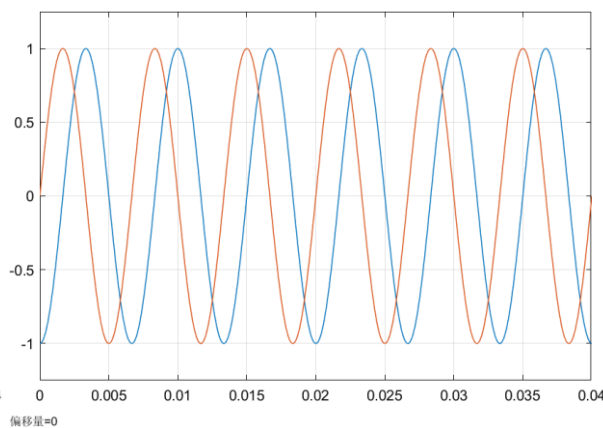
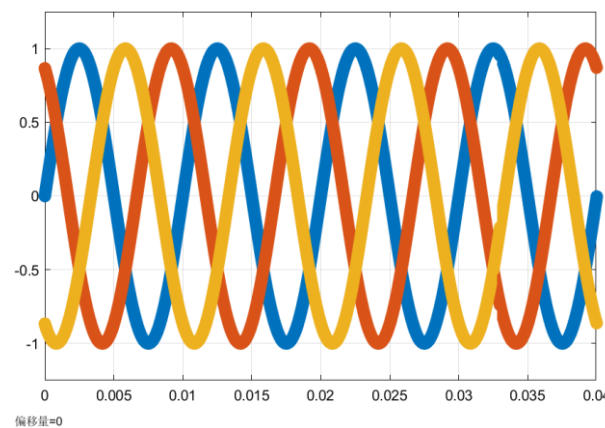
总结与分析

开关分析与DQ变换

正序100Hz



负序100Hz



进行测试

100Hz的正序波输出为50Hz的正序波

50Hz的正序波输出为直流量

直流量输入输出为0

50Hz负序输入时输出为100Hz反序输出。

从而我们得到结论，dq变换本质是混频器。

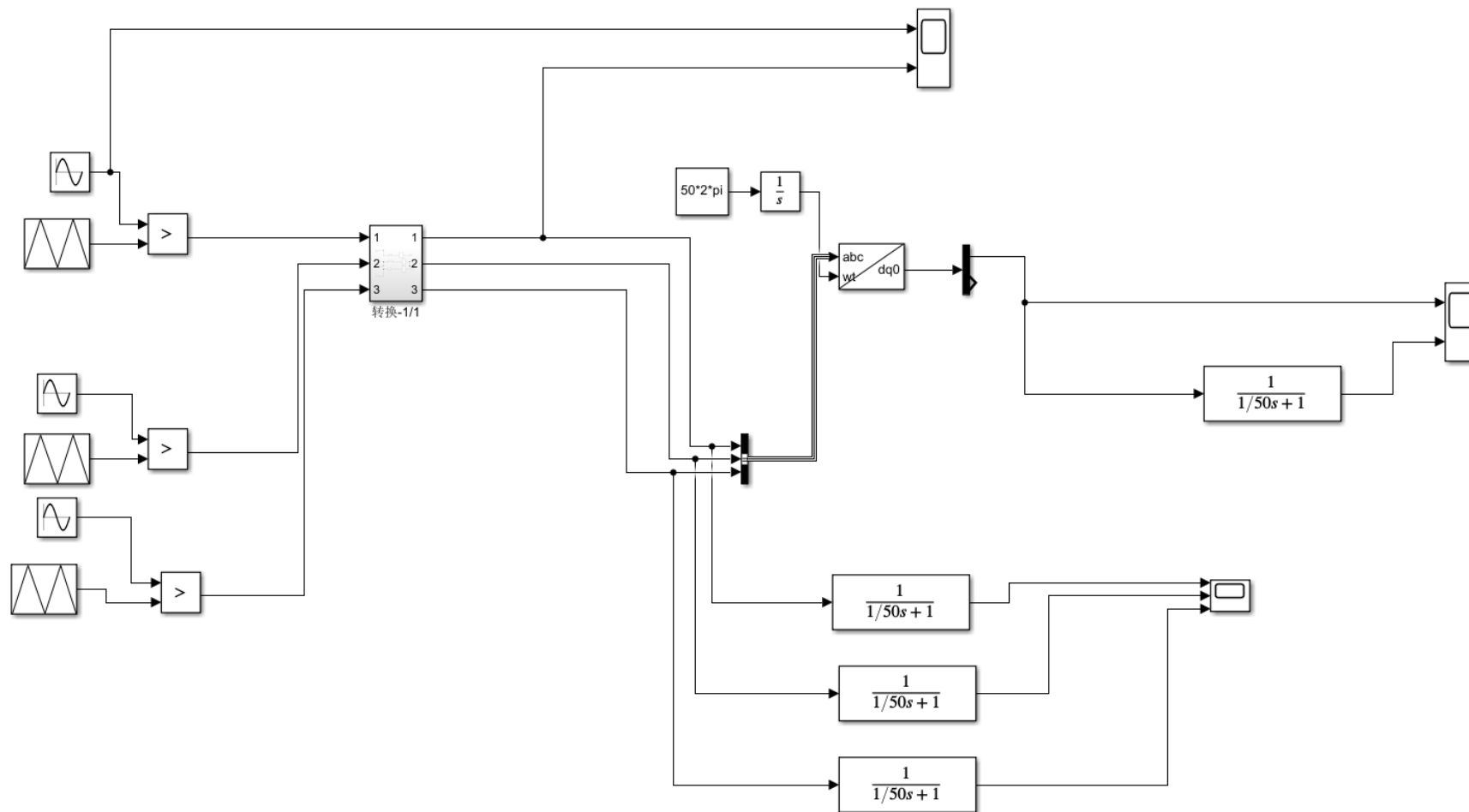
DQ
开关

需求调研
DQ变换
仿真验证
Vienna分析
总结与分析

开关分析与DQ变换

Discrete
1e-07 s.

SPWM产生和dq变换后的
SPWM波形记录





开关分析与DQ变换

A相SPWM傅里叶分析

FFT Analyzer
Help

Structure with time
(click to update)

SIN

Signal: unnamed (input 2)

Dimension: 1

Zoom on: Signal

FFT Analysis:

Start time (s): 0

Number of cycles: 2

Fundamental frequency (Hz): 50

Max frequency (Hz): 50e3

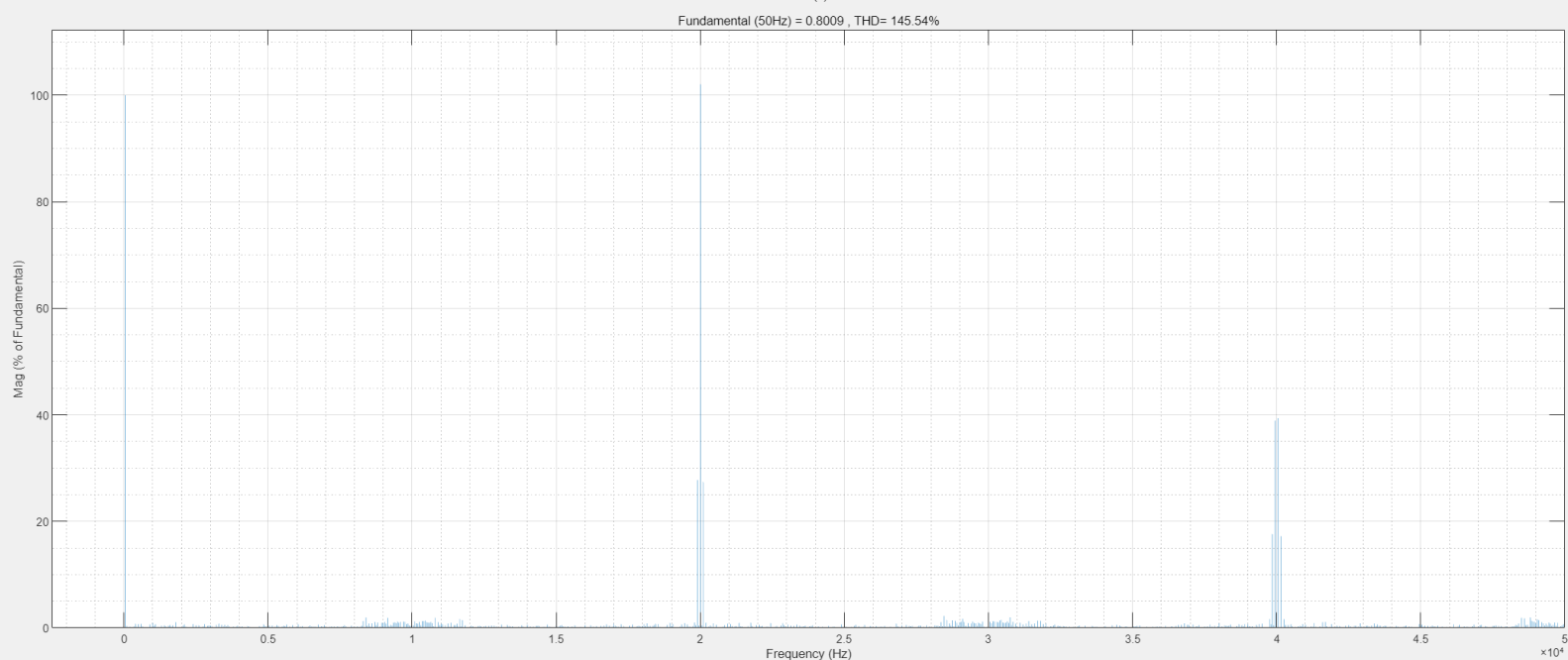
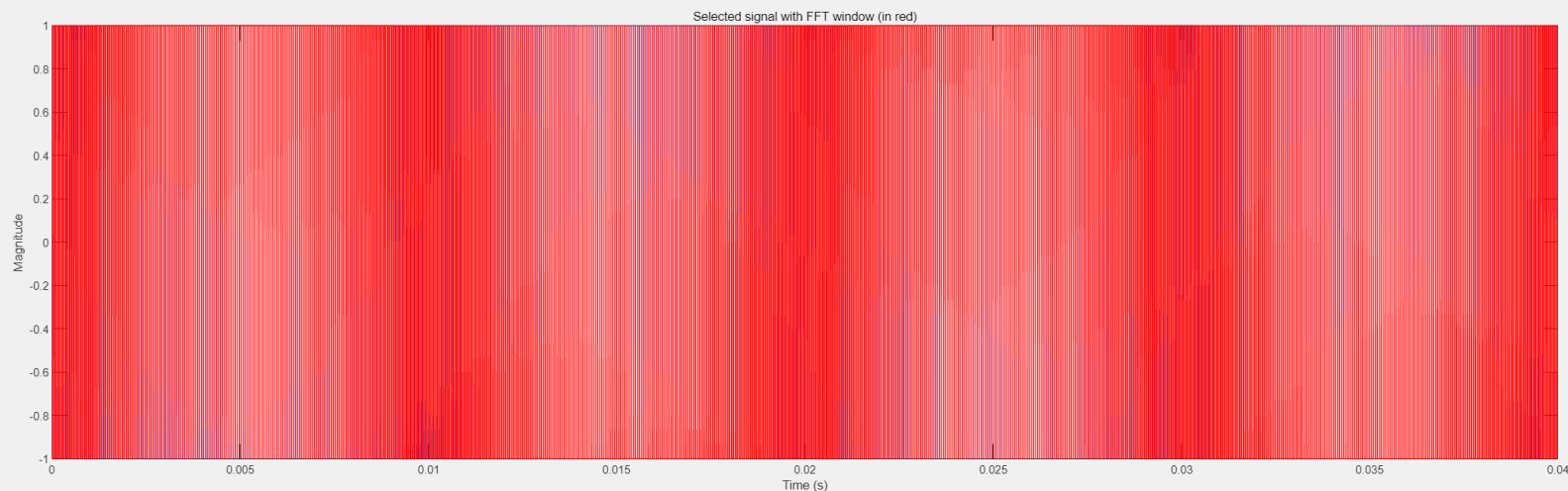
Max frequency for THD computation: Nyquist frequency

Display style: Bar (relative to funda...)

Base value: 1.0

Frequency axis: Hertz

Compute FFT



DQ
开关

需求调研
DQ变换
仿真验证
Vienna分析
总结与分析



开关分析与DQ变换

D轴SPWM傅里叶分析

FFT Analyzer
Help

Structure with time
(click to update)

DQ_SPWM

Signal: unnamed (input 1)

Dimension: 1

Zoom on: Signal

FFT Analysis:

Start time (s): 0

Number of cycles: 1

Fundamental frequency (Hz): 50

Max frequency (Hz): 50e3

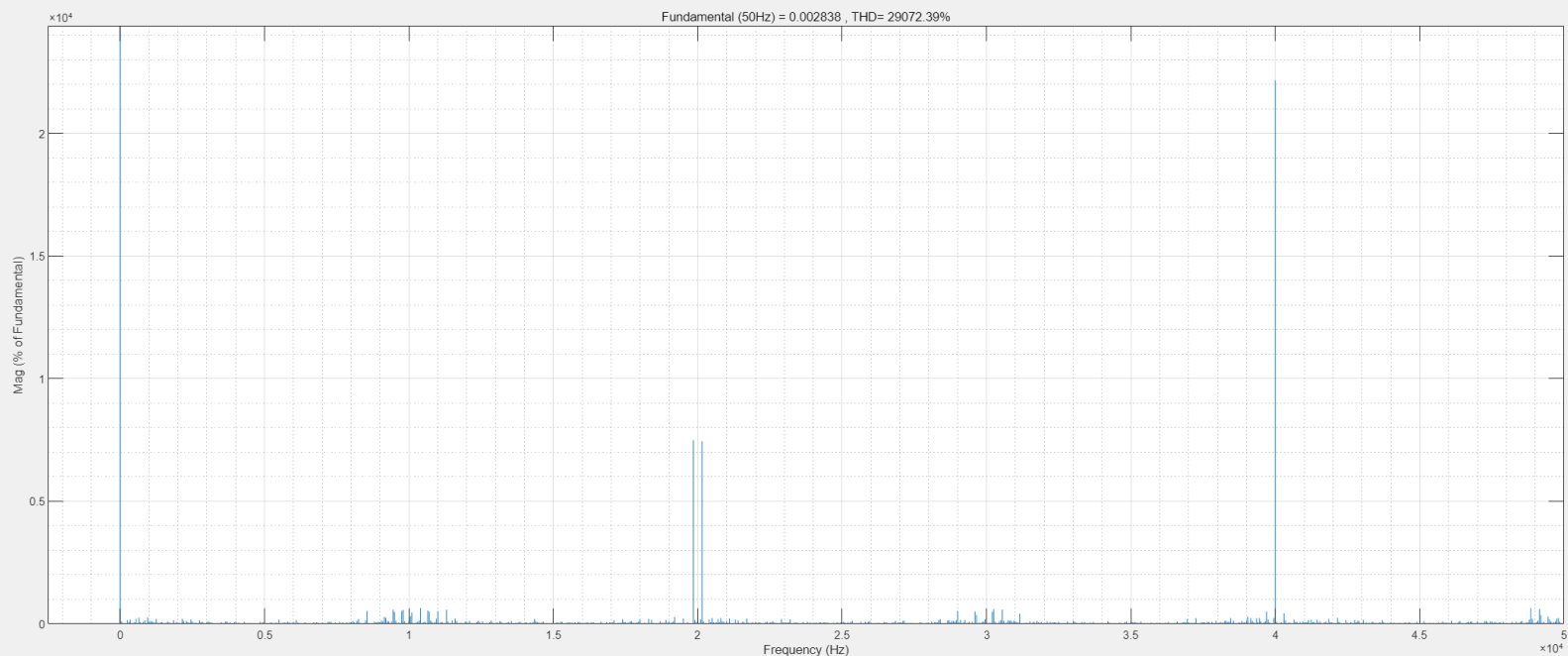
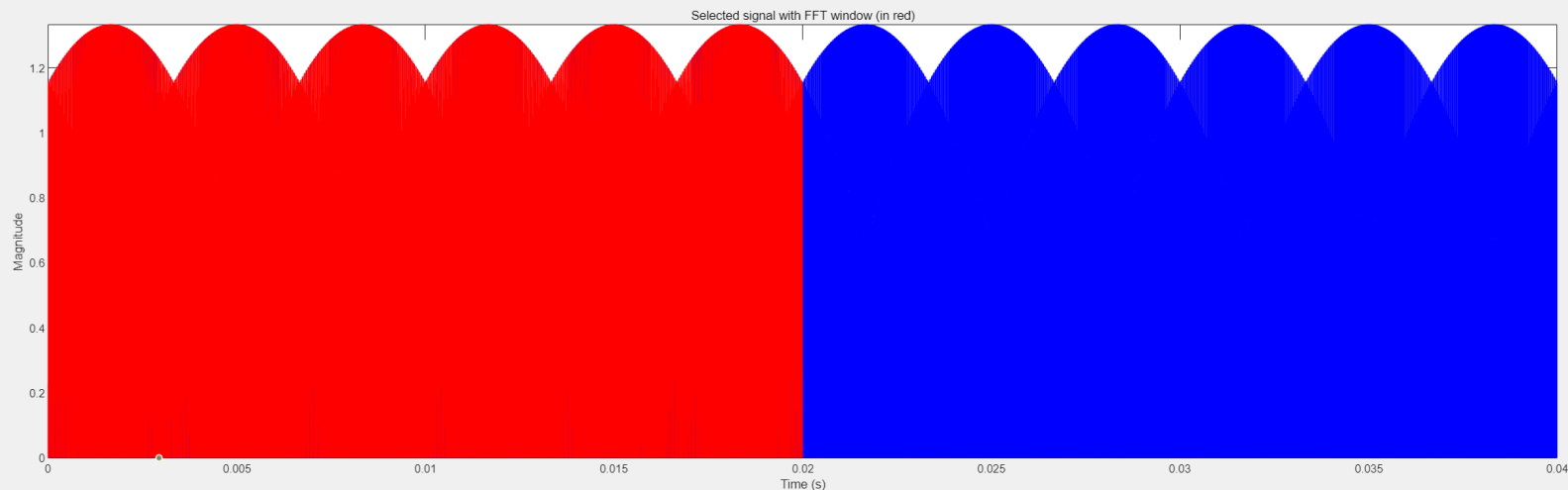
Max frequency for THD computation: Nyquist frequency

Display style: Bar (relative to funda...)

Base value: 1.0

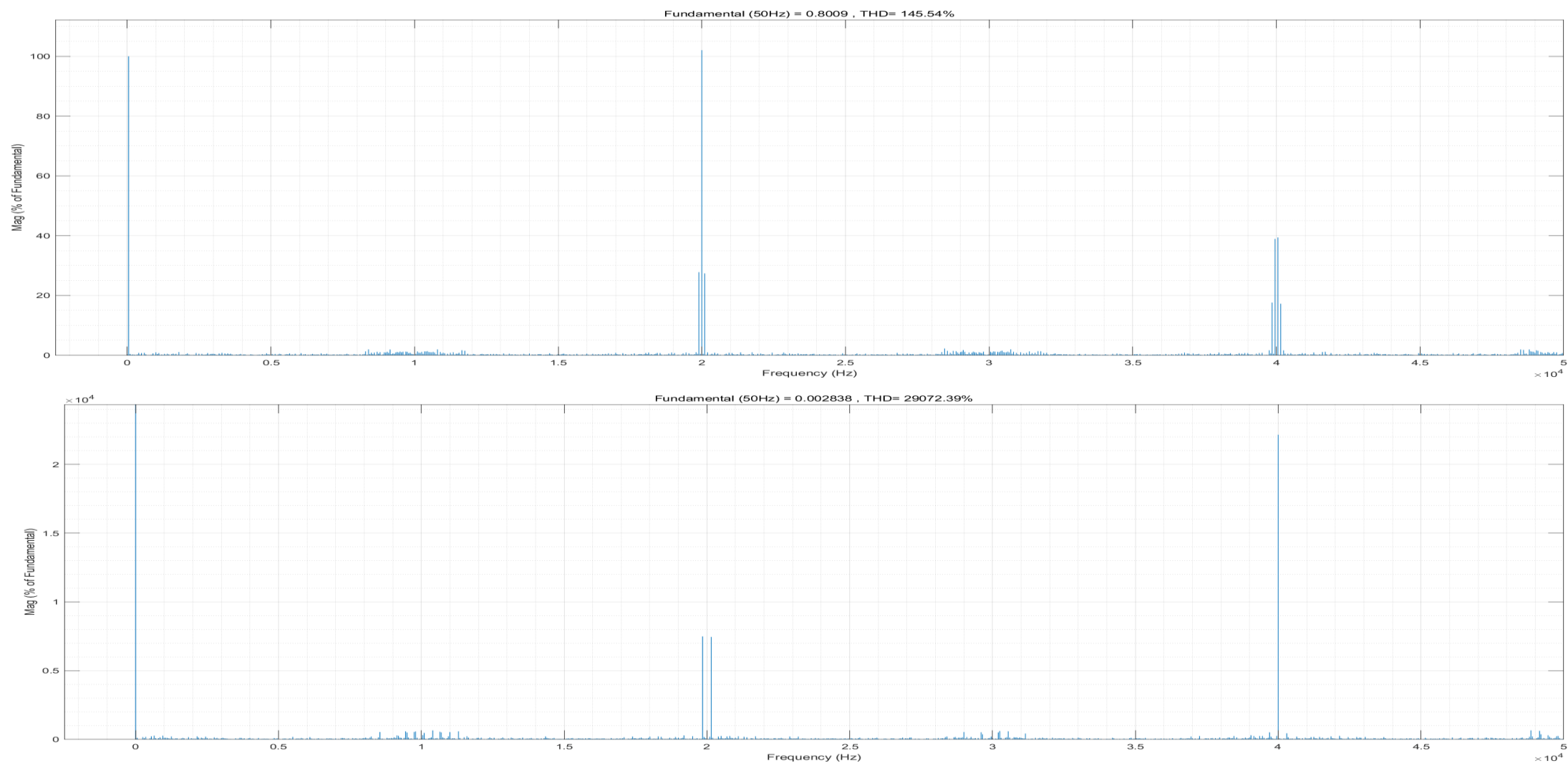
Frequency axis: Hertz

Compute FFT



开关分析与DQ变换

D轴SPWM傅里叶分析



DQ
开关

需求调研

DQ变换

仿真验证

Vienna分析

总结与分析

开关分析与DQ变换

$$Z_{dq} \frac{dX_{dq}}{dt} = A_{dq} X_{dq} + B_{dq} U_{dq}$$

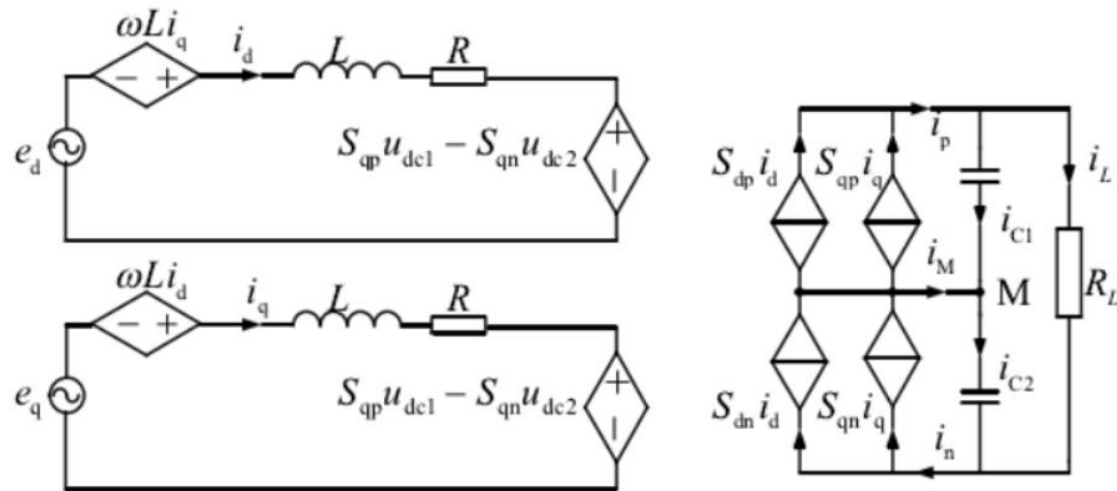
$$X_{dq} = [i_d \quad i_q \quad u_{dc1} \quad u_{dc2}]^T$$

$$B_{dq} = \text{diag}[1 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

$$U_{dq} = \text{diag}[e_d \quad e_q \quad 0 \quad 0]$$

$$Z_{dq} = \text{diag}[L \quad L \quad C_1 \quad C_2]$$

$$A_{dq} = \text{diag} \begin{bmatrix} -R & \omega L & -S_{dp} & S_{dn} \\ -\omega L & -R & -S_{qp} & S_{qn} \\ S_{dp} & S_{qp} & -\frac{1}{R} & -\frac{1}{R} \\ S_{dn} & S_{qn} & -\frac{1}{R} & -\frac{1}{R} \end{bmatrix}$$



a) 交流侧等效电路

b) 直流侧等效电路

图 2.11 两相旋转坐标系下电路等效图

Fig.2.11 The equivalent model under two-phase rotary coordinate system

DQ轴Vienna电路变换

我们可以控制的是 $S_{dp}/S_{dn}/S_{qp}/S_{qn}$

对不同的调制方法，改变的只有谐波量

直流量的变化幅度可以沿用PWM占空比，用小信号进行分析

开关分析与DQ变换

我们现在的方法——谐波滤除分析

视 $\begin{bmatrix} S_d \\ S_q \end{bmatrix}$ 为输入量改写方程。

对输入侧

$$\begin{aligned} L \frac{di_q}{dt} + Ri_q &= u_q + (S_{qp}u_{dc1} - S_{qn}u_{dc2}) \\ L \frac{di_d}{dt} + Ri_d &= u_d + (S_{dp}u_{dc1} - S_{dn}u_{dc2}) \end{aligned} \quad (6)$$

对输出侧

$$\begin{aligned} C \frac{du_{dc1}}{dt} + \frac{u_{dc1} + u_{dc2}}{R_L} &= S_{dp}i_d + S_{qp}i_q \\ C \frac{du_{dc2}}{dt} + \frac{u_{dc1} + u_{dc2}}{R_L} &= S_{dn}i_d + S_{qn}i_q \end{aligned} \quad (7)$$

如果我们假定，输入侧电压不变，输出侧电流不变

则可以发现

$$i_q = \frac{1}{Ls + R} [u_q + (S_{qp}u_{dc1} - S_{qn}u_{dc2})] \quad (8)$$

故可以把开关影响滤除。同理输出侧也是一样。从而我们可以分析开关谐波对整个电路的影响。

开关分析与DQ变换

总结

DQ变换本质上是混波器。

通过DQ变换对开关状态进行处理，我们可以得到一些看上去有些混乱的波形，但是通过傅里叶变换可以发现其谐波在开关频率的倍频上较多，可以容易的滤除掉。

在dq坐标下进行该分析再针对任何调制方法进行相关优劣判断。

结合小信号分析可以进行控制器设计。

分析

本原理方法可以对各种调制方法进行分析。比如切换载波，换SVPWM，采用注入谐波的SPWM等。比如PFM和PWM等等。

本方法证明了冲量等效定理的可行性。

本方法可以对载波频率影响进行分析，辅助设计载波频率，和开关电感、输出侧电容设计。

本方法结合小信号分析对直流量可以进行控制分析，与普通方法并无太多差别。