

## Homework 5 : Vehicle J-Turn Maneuver

彭盛維, B07502056, 2022/6/7

1. Based on your model established in HW4, with braking model integrated, please try upgrade Vehicle Dynamic Blockset to 3DOF model. Determine how long it takes for your chosen vehicles to perform acceleration and deceleration test according to scenarios listed above? :

### (a) Scenario 1 : 0-60kph-0

如圖 1 所示，M3 在工況 1 所花的總時間 1.91s，油門輸入時間為 0.5s 到 1.9s，而煞車輸入開始時間為 1.9s，完成工況 1。

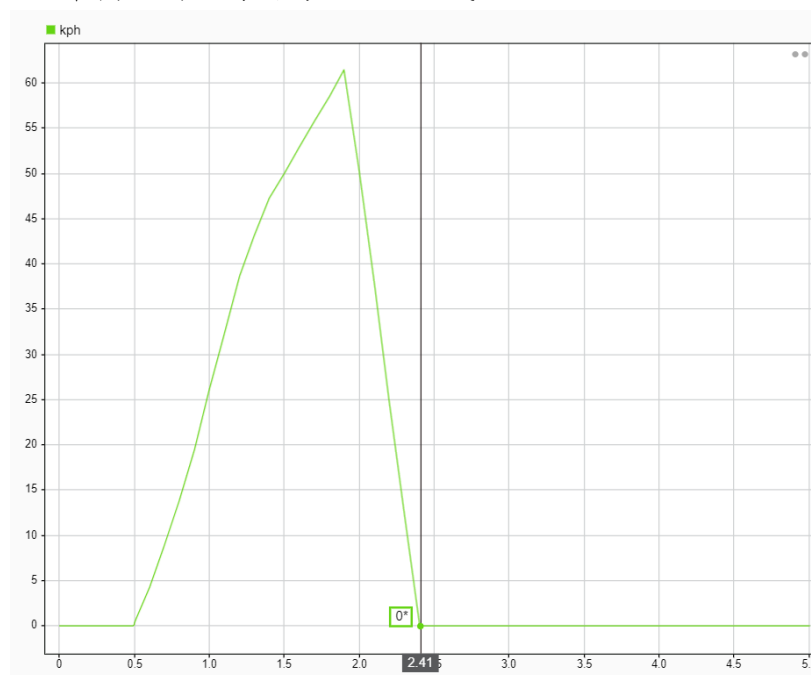


圖 1 0-60kph-0(M3 Competition)

如圖 2 所示，Taycan 在工況 1 所花的總時間 1.81s，油門輸入時間為 0.5s 到 1.6s，而煞車輸入開始時間為 1.6s，完成工況 1。

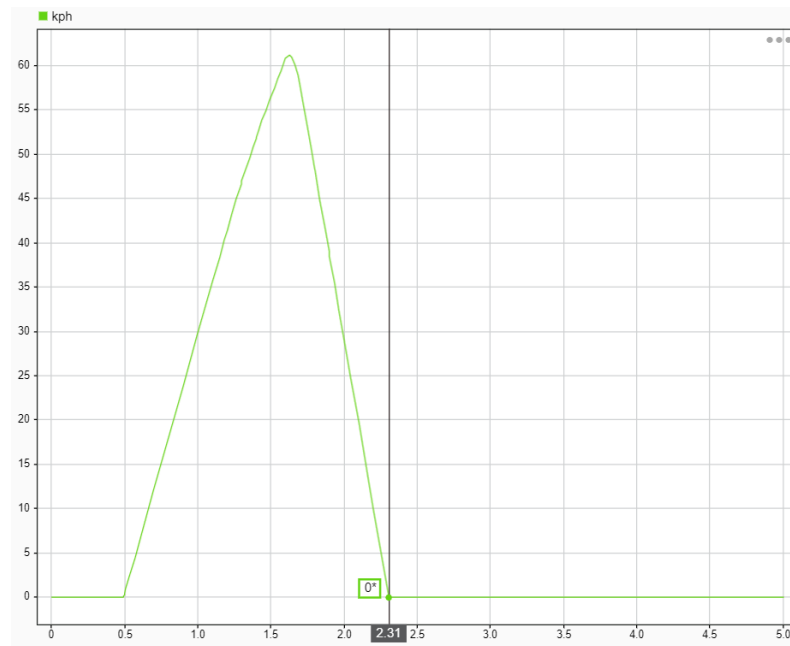


圖 2 0-60kph-0(Taycan GTS)

### (b) Scenario 2 : 0-100kph-0

如圖 3 所示，M3 在工況 2 所花的總時間 4.21s，油門輸入時間為 0.5s 到 3.9s，而煞車輸入開始時間為 3.9s，完成工況 2。

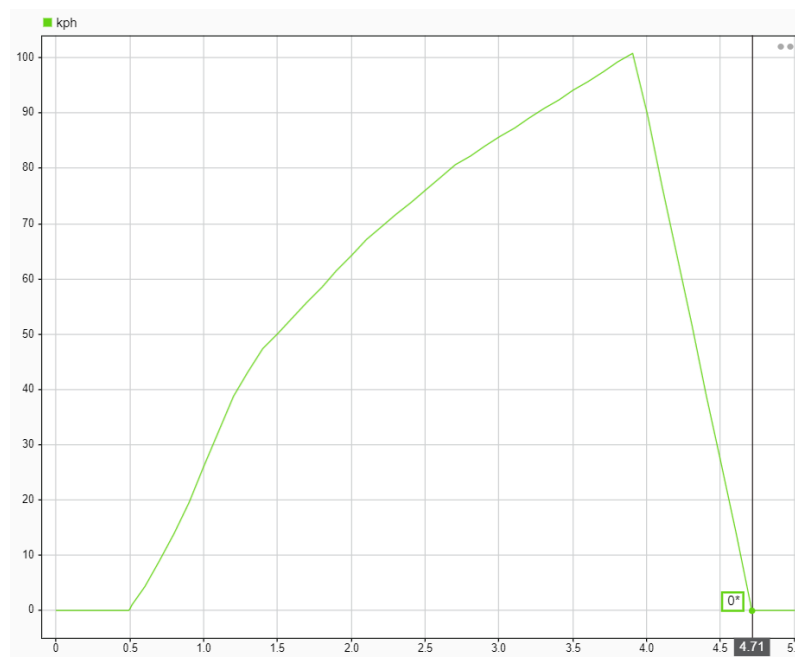


圖 3 0-100kph-0(M3 Competition)

如圖 4 所示，Taycan 在工況 2 所花的總時間 3.62s，油門輸入時間為 0.5s 到 3s，而煞車輸入開始時間為 3s，完成工況 2。

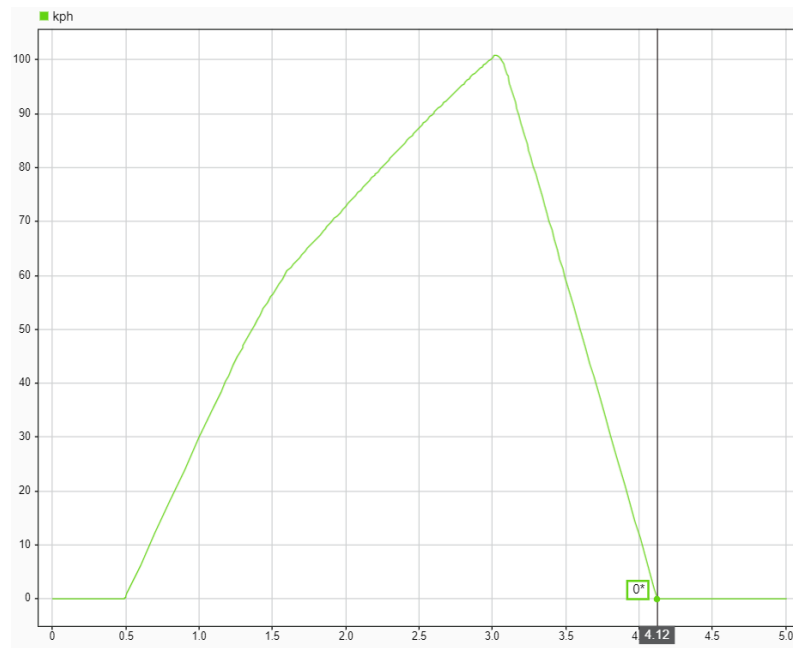


圖 4 0-100kph-0(Taycan GTS)

### (c) Scenario 3 : 0-200kph-0

如圖 5 所示，M3 在工況 3 所花的總時間 16s，油門輸入時間為 0.5s 到 15s，而煞車輸入開始時間為 15s，完成工況 3。

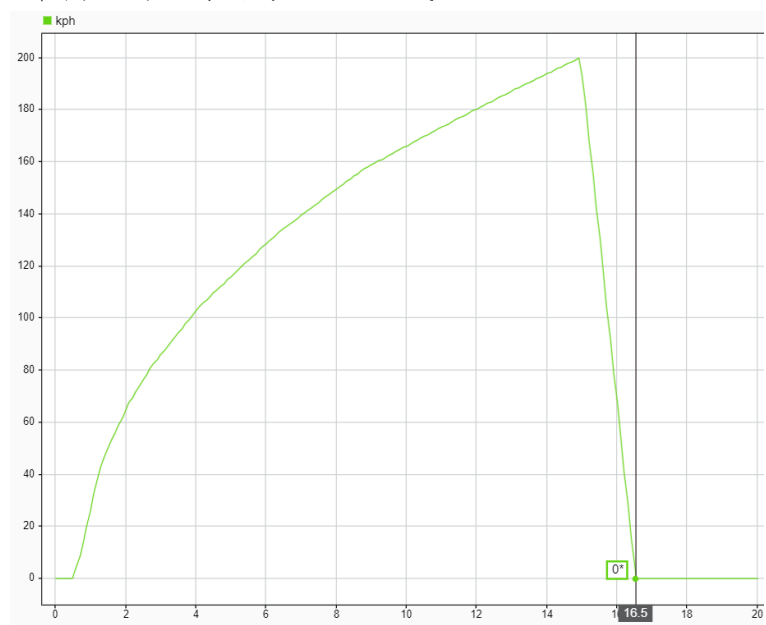


圖 5 0-200kph-0(M3 Competition)

如圖 6 所示，Taycan 在工況 3 所花的總時間 11.2s，油門輸入時間為 0.5s 到 9.5s，而煞車輸入開始時間為 9.5s，完成工況 3。

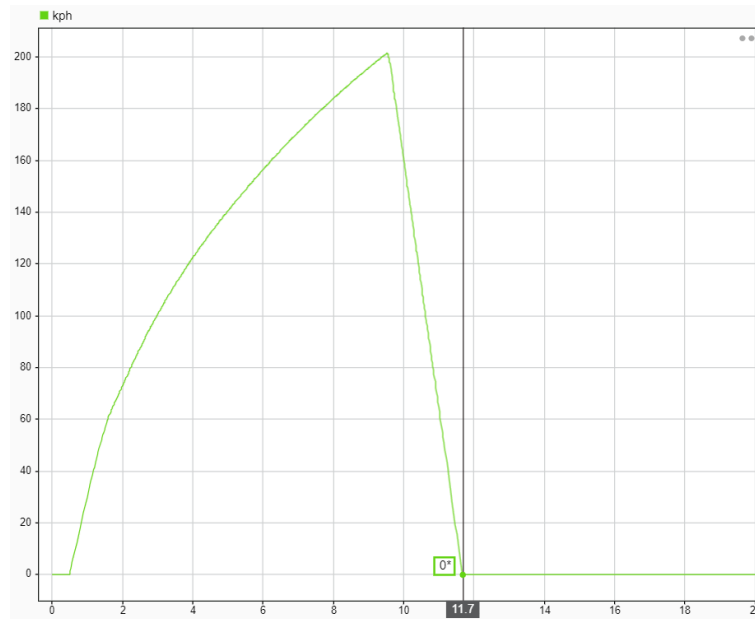


圖 6 0-200kph-0(Taycan GTS)

2. Please compare your chosen vehicles among test scenarios above.  
 Which vehicle has better performance while acceleration test?  
 Which vehicle has better performance while deceleration test?  
 Can both of your chosen vehicles achieve all scenarios listed above?  
 What cause the difference between test results among these vehicles?

我此次選擇的車輛為 BMW M3 Competition 以及 Porsche Taycan GTS 做比較，三次工況的結果如表 1 所示(較佳為橘色底所示)。

所需時間	BMW M3 Competition	Porsche Taycan GTS
0-60 加速	1.4s	1.1s
60-0 減速	0.51s	0.71s
0-60-0 完整工況	1.91s	1.81s
0-100 加速	3.4s	2.5s
100-0 減速	0.81s	1.12s
0-100-0 完整工況	4.21s	3.62s
0-200 加速	14.5s	9s
200-0 減速	1.5s	2.2s
0-200-0 完整工況	16s	11.2s

表 1 三種工況花費時間結果

由表 1 可以知道我選擇的兩輛車皆可以完成三者工況，其中 Taycan GTS 在加速性能皆優於 M3 Competition，但 M3 Competition 在減速性能皆優於 Taycan GTS，而總時間皆是 Taycan GTS 較快完成工況。

以上結果之原因我認為為以下：

- 第一、電動車在轉速低時能給最大扭力，此使得 Taycan GTS 在加速性能由於使用內燃機的車 M3 Competition。
- 第二、Taycan GTS 內有二段變速箱設計，此能使電動車馬達仍在最大扭力區間工作，此解決了電動車極速較低的問題，使得 Taycan GTS 也能完成 0-200-0 的工況。
- 第三、減速性能方面因為兩輛車使用相同煞車系統，以及相同輪胎尺寸，理論上應該有相同性能，但結果 M3 Competition 皆優於 Taycan GTS，我認為原因是 M3 Competition 有多段變速箱，能靠降檔使車輛減速性能更加。
- 第四、兩者結果在速度低時，差異不大，但加速至高速電動車越有優勢，但若極速再提高電動車可能無法達到，例如 Taycan GTS 的極速為 250kph 但 M3 Competition 的極速為 290kph 優於電動車。

**3. Consider  $V_2 = 60$  kph. Please determine your value of  $V$  and  $T$  to finalize your J-Turn test. Model your vehicle at this scenario. Plot the final path,  $V$ - $T$ , and the loads on four wheels over time of both vehicles.  $T$  is meant to be minimized.**

以下為 M3 Competition。考慮  $V_2$  為 60kph，車輛油門煞車及轉向輸入如圖 7，油門為 0.5s 至 3.5s 踩至底，直線加速，而當 3.5s 後油門放掉全踩煞車，所以煞車輸入為 3.6s 至 3.8s，此時達成車速 60kph 進彎，接著轉向輸入，轉向輸入為 3.9s 轉至 9.6s 停，而  $\delta = 0.12$ ，如圖 8，但為了使過彎速度為等速 60kph，所以在過彎時我選擇加入油門輸入，此輸入為從 5s 至 8s 線性增為踩至底。

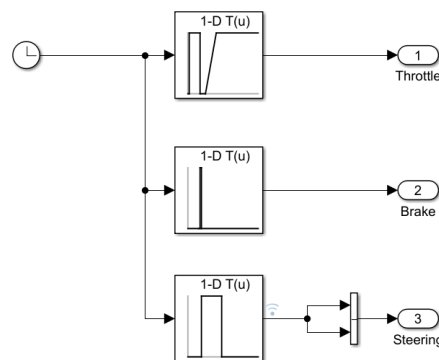


圖 7 油門煞車及轉向輸入 Q3(M3 Competition)

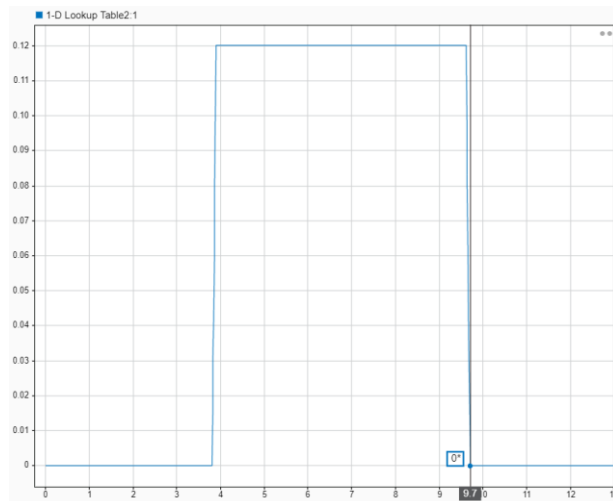


圖 8 T –  $\delta$ 圖 Q3(M3 Competition)

透過以上輸入，完成 J-Turn test，final path 如圖 9 所示，為了符合最佳過彎，我讓入彎時車輛在跑道最左側，出彎時車輛在跑道最右側，由圖 9 可知，車輛在橫坐標 0-60m，且過彎時切彎道的 apex，為縱坐標 90m。而車輛 v-T 圖如圖 10 所示，由圖 10 可得 T1 為 3s，車輛加至最高速為 93.9kph，而 T2 為 3.4s，車速降至入彎速度為 56.9kph，大約為要求的 60kph。

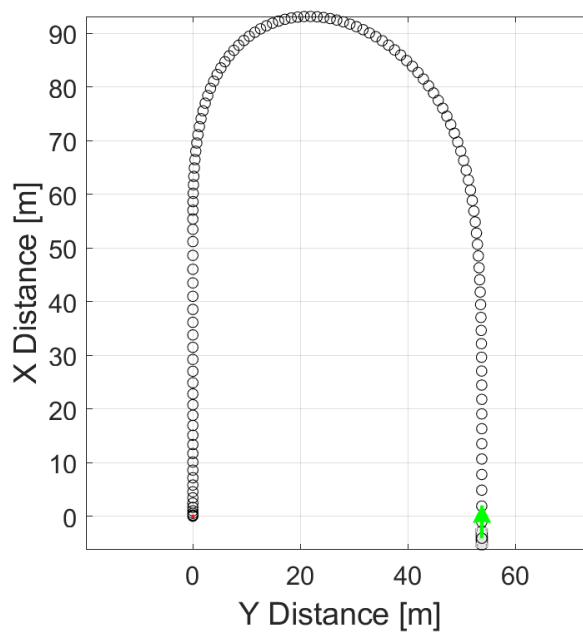


圖 9 final path Q3(M3 Competition)

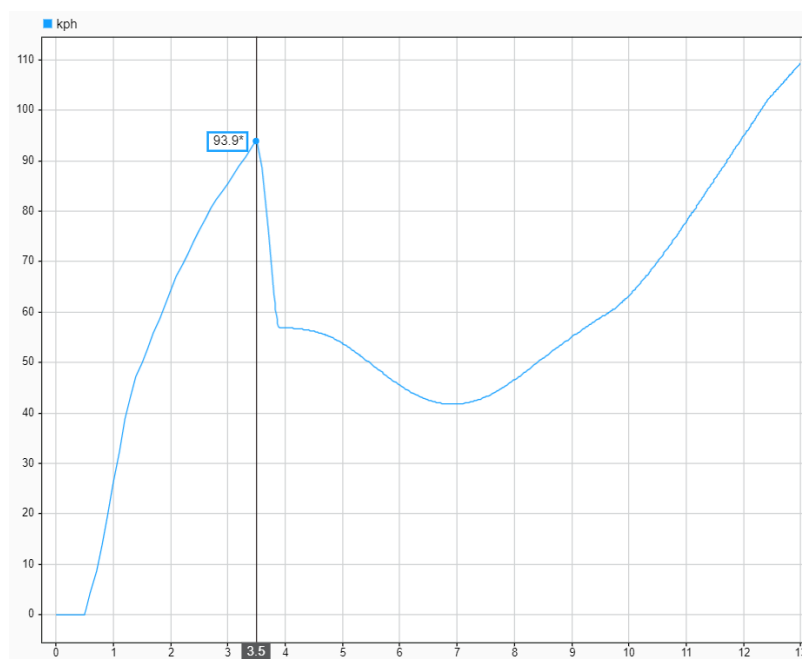


圖 10 v-T 圖 Q3(M3 Competition)

而前輪 F-T 圖如圖 11 所示，其中紅線為左前輪，藍線為右前輪，由圖 11 可以知道當車輛加速時前輪受力變小，但一旦煞車前輪受力增大，此時左右前輪受力皆一致，當車輛右轉時，左前輪受到比右前輪更大的力，符合理論。而後輪 F-T 圖如圖 12 所示，其中橘線為左後輪，紅線為右後輪，由圖 12 可知，其加減速受力與前輪相反，且左右兩輪一致，而當車輛右轉時，受力分配與前輪一致，左輪受到比右輪更大的力。

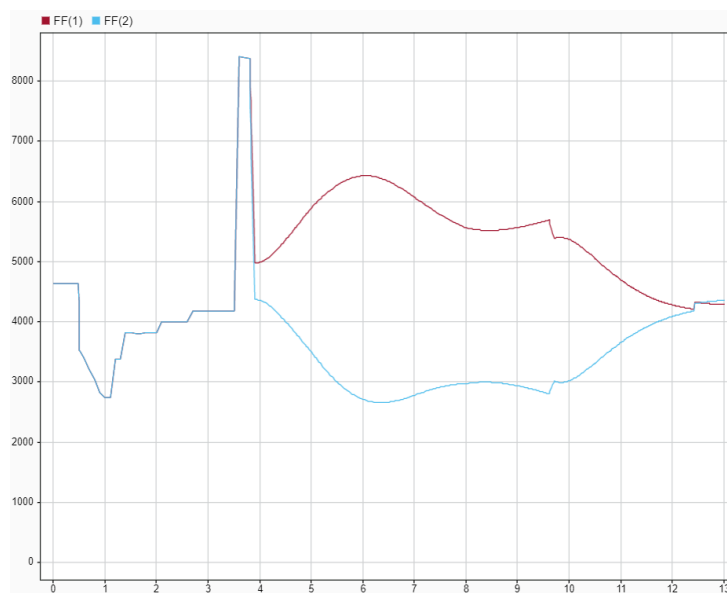


圖 11 前輪 F-T 圖 Q3(M3 Competition)

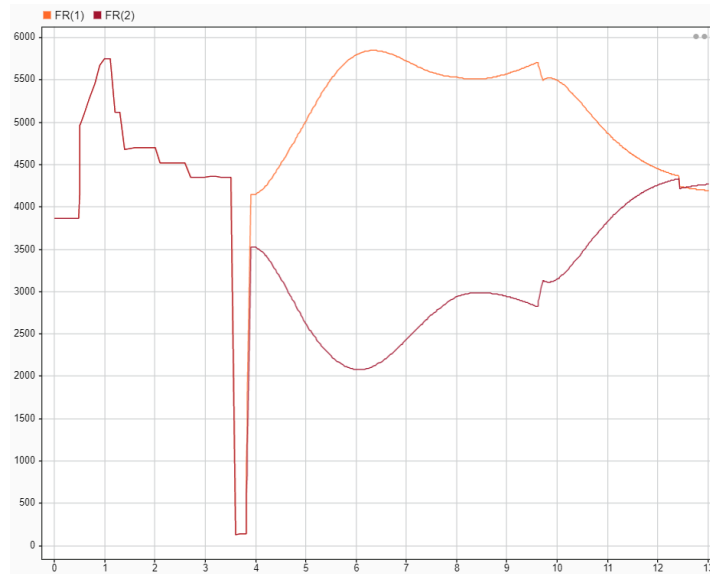


圖 12 後輪 F-T 圖 Q3(M3 Competition)

由以上的分析結果可得 BMW M3 在初速為 0kph 時，且過彎速度為 60kph 時，J-Turn test 總時間約為 12.5 秒。

以下為 Taycan GTS。考慮 V2 為 60kph，車輛油門煞車及轉向輸入如圖 13，油門為 0.5s 至 2.5s 踩至底，直線加速，而當 2.5s 後油門放掉全踩煞車，所以煞車輸入為 2.6s 至 2.9s，此時達成車速 60kph 進彎，接著轉向輸入，轉向輸入為 2.9s 轉至 8.3s 停，而  $\delta = 0.14$ ，如圖 14，但為了使過彎速度為等速 60kph，所以在過彎時我選擇加入油門輸入，此輸入為從 4s 至 10s 線性增為踩至底。

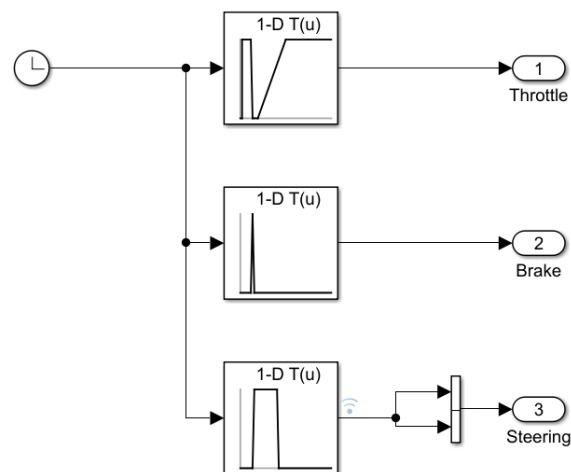


圖 13 油門煞車及轉向輸入 Q3(Taycan GTS)



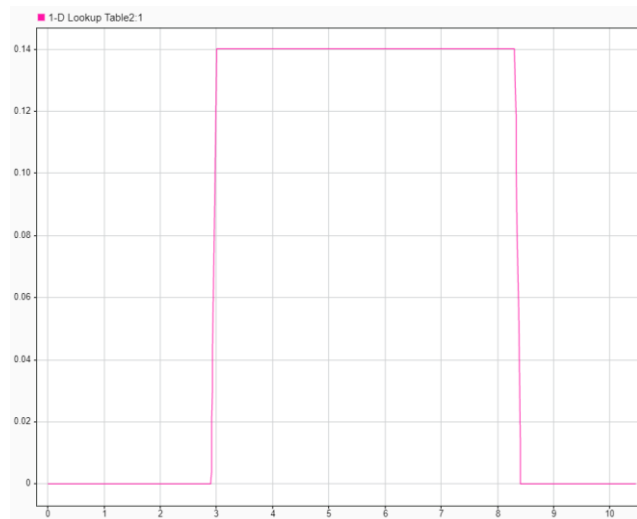


圖 14 T –  $\delta$ 圖 Q3(Taycan GTS)

透過以上輸入，完成 J-Turn test，final path 如圖 15 所示，由圖 15 可知，車輛在橫坐標 0-60m，且過彎時切彎道的 apex，為縱坐標 90m。而車輛 v-T 圖如圖 16 所示，由圖 16 可得 T1 為 2s，車輛加至最高速為 96.5kph，而 T2 為 2.5s，車速降至入彎速度為 60kph，為要求的 60kph。

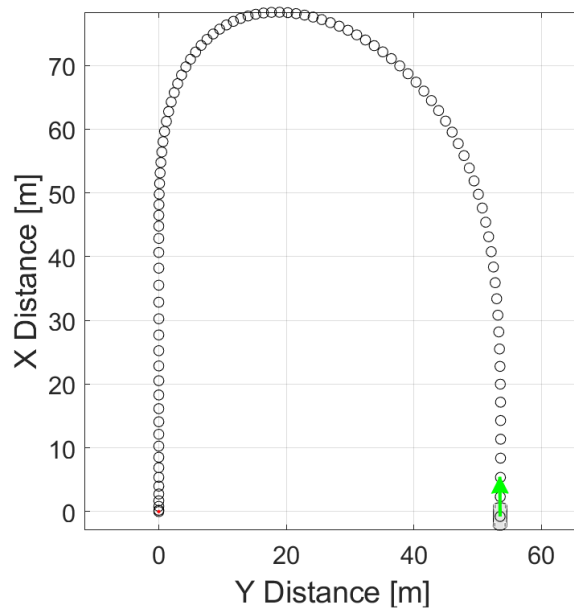


圖 15 final path Q3(Taycan GTS)

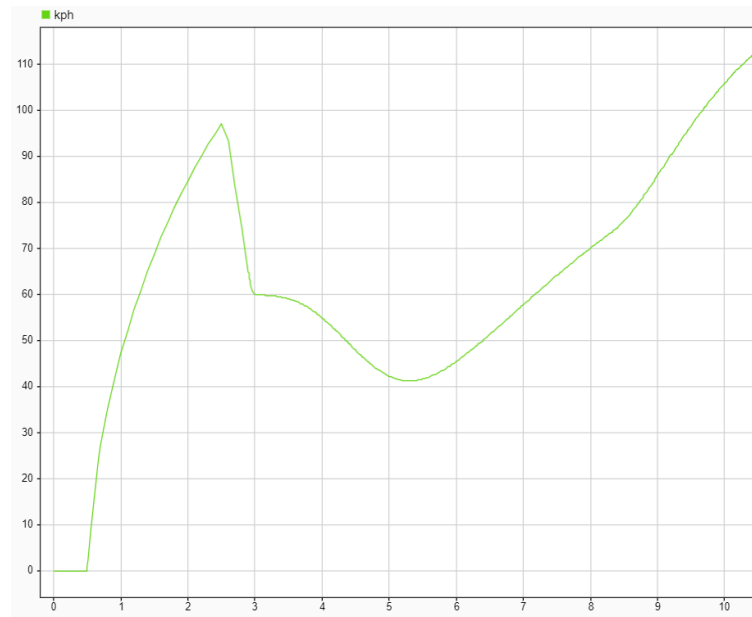


圖 16 v-T 圖 Q3(Taycan GTS)

而前輪 F-T 圖如圖 17 所示，其中紫線為左前輪，紅線為右前輪，由圖 17 可以知道當車輛加速時前輪受力變小，但一旦煞車前輪受力增大，此時左右前輪受力皆一致，當車輛右轉時，左前輪受到比右前輪更大的力，符合理論。而後輪 F-T 圖如圖 18 所示，其中藍線為左後輪，綠線為右後輪，由圖 18 可知，其加減速受力與前輪相反，且左右兩輪一致，而當車輛右轉時，受力分配與前輪一致，左輪受到比右輪更大的力。

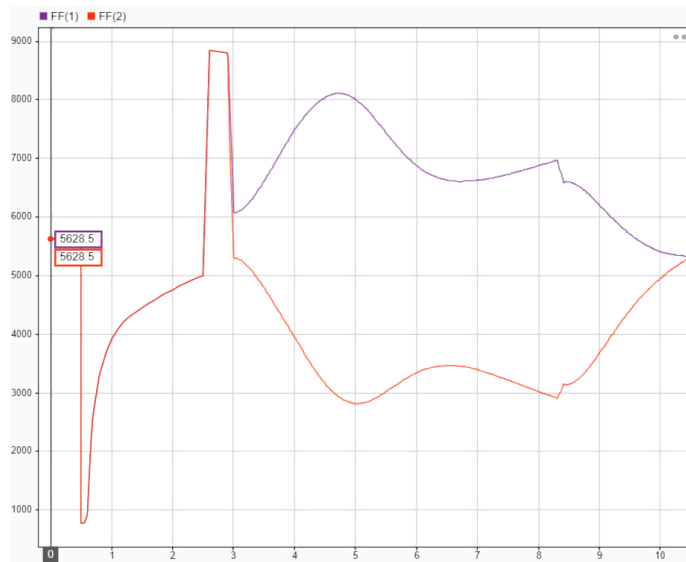


圖 17 前輪 F-T 圖 Q3(Taycan GTS)

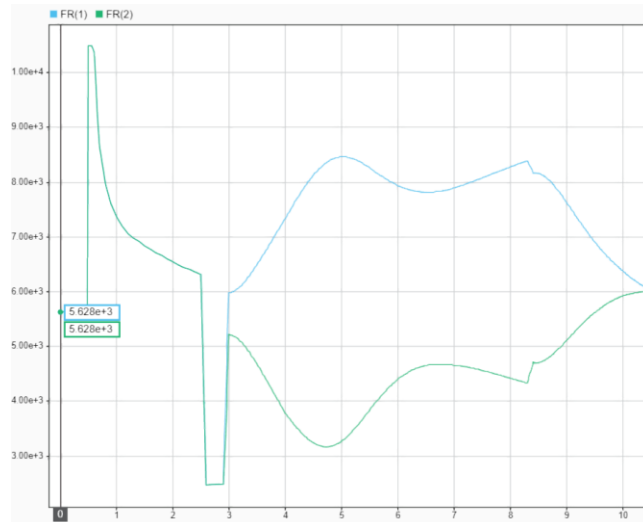


圖 18 後輪 F-T 圖 Q3(Taycan GTS)

由以上的分析結果可得 Porsche Taycan GTS 在初速為 0kph 時，且過彎速度為 60kph 時，J-Turn test 總時間約為 10 秒。

4. Following the previous question, retry the simulation if the vehicle starts at  $V_0 = 100$  kph at  $T = 0$ ? Also plot the final path, V-T, and the loads on four wheels over time of both vehicles.

以下為 M3 Competition。考慮  $V_2$  為 60kph，且  $V_0$  為 100kph，所以先使車輛加速至 100kph，再接續 J-Turn test，車輛油門煞車及轉向輸入如圖 19，油門為 0.5s 至 3.9s 踩至底，車速即達 100kph，行駛距離為 60m 需扣掉，接著再加速至 5.4s，車輛經過 70m 直線，而當 5.4s 後油門放掉全踩煞車，所以煞車輸入為 5.4s 至 5.8s，此時達成車速 60kph 進彎，接著轉向輸入，轉向輸入為 5.9s 轉至 12s 停，而  $\delta = 0.105$ ，如圖 20，但為了使過彎速度為等速 60kph，所以在過彎時我選擇加入油門輸入，此輸入為從 5.9s 至 10s 線性增為踩至底。

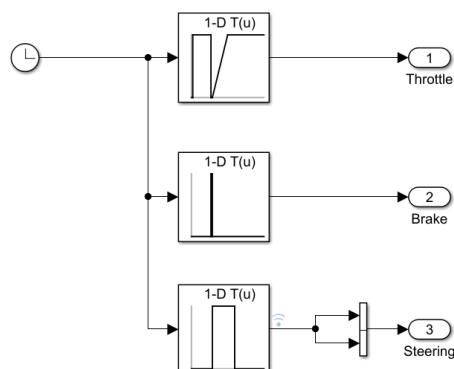


圖 19 油門煞車及轉向輸入 Q4(M3 Competition)

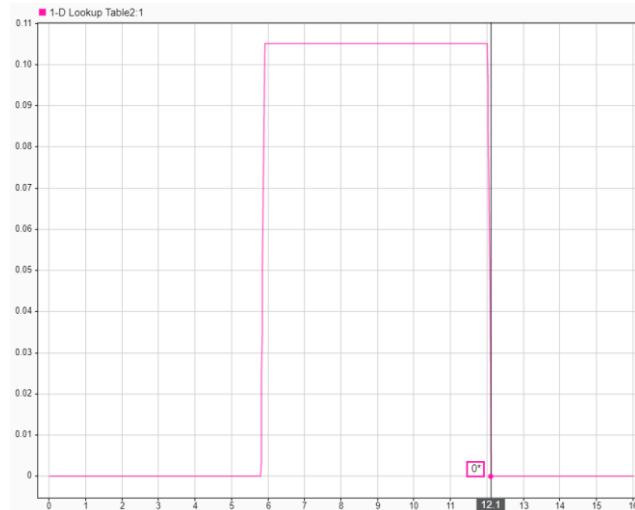


圖 20 T –  $\delta$ 圖 Q4(M3 Competition)

透過以上輸入，完成 J-Turn test，final path 如圖 21 所示，由圖 21 可知，車輛在橫坐標 0-60m，且過彎時切彎道的 apex，為縱坐標 160m，因為須扣除加速至 100kph 的距離 60m。而車輛 v-T 圖如圖 22 所示，由圖 22 可得 T1 為 1.6s，車輛加至最高速為 119.2kph，而 T2 為 2.1s，車速降至入彎速度為 56.9kph，大約為要求的 60kph。

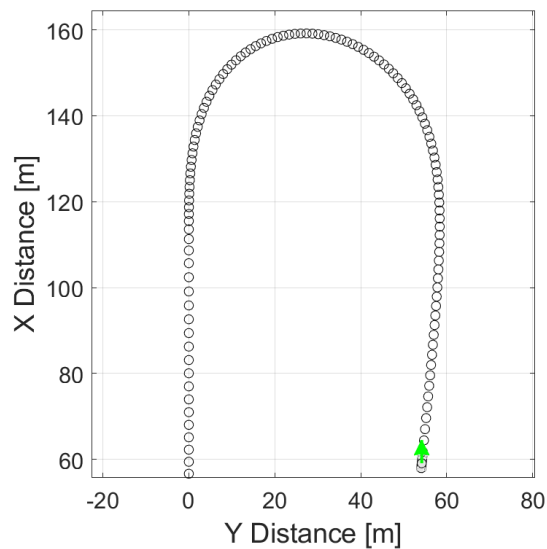


圖 21 final path Q4(M3 Competition)

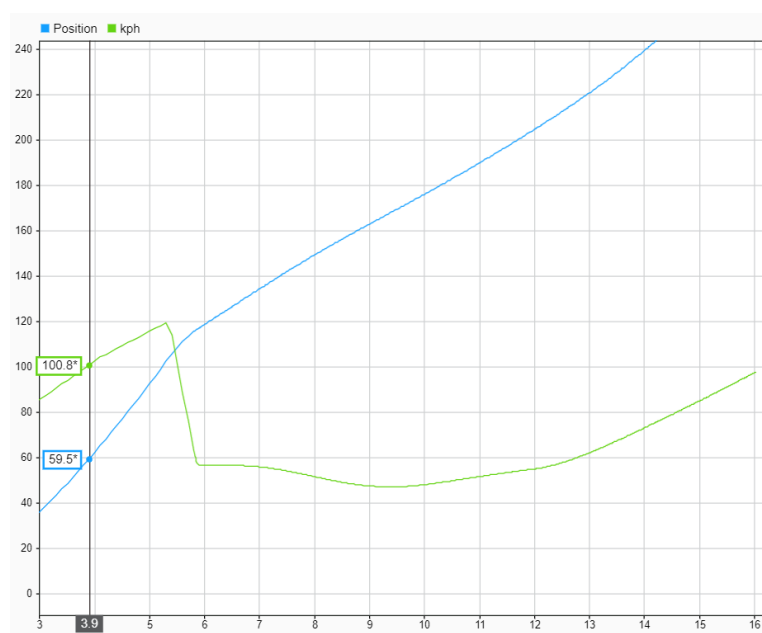


圖 22 v(綠線)-T 圖 Q4(M3 Competition)

而前輪 F-T 圖如圖 23 所示，其中紫線為左前輪，紅線為右前輪，而後輪 F-T 圖如圖 24 所示，其中藍線為左後輪，綠線為右後輪，其結果分析與 Q3 相同。

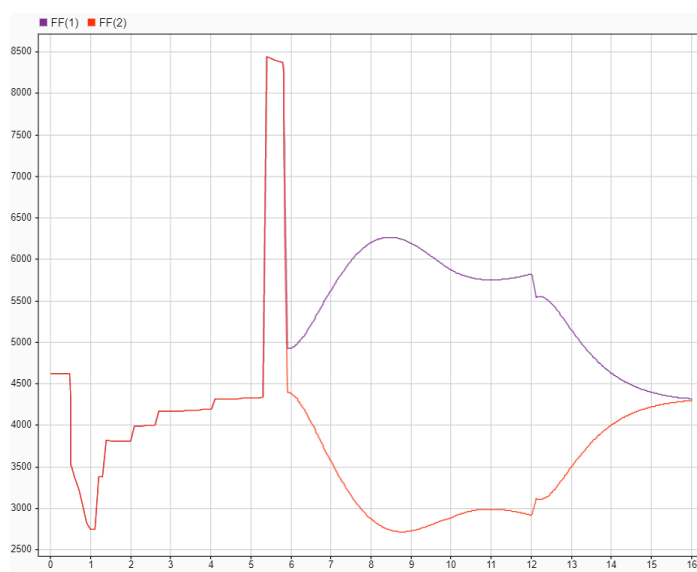


圖 23 前輪 F-T 圖 Q4(M3 Competition)

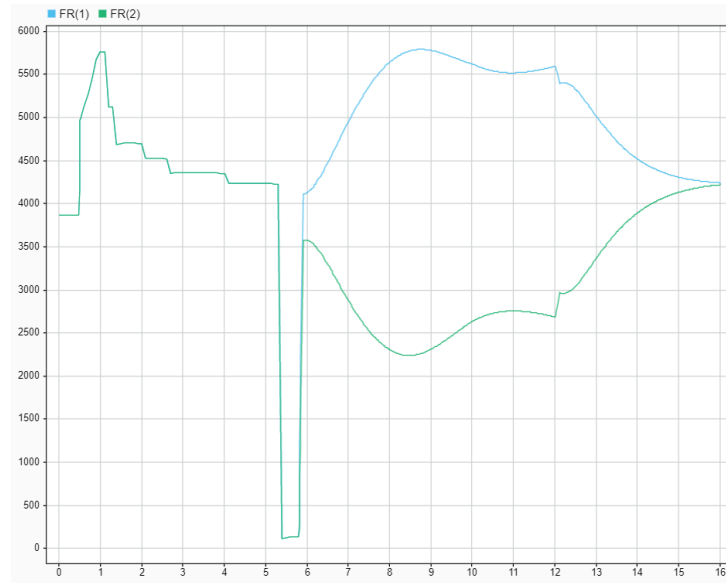


圖 24 後輪 F-T 圖 Q4(M3 Competition)

由以上的分析結果可得 BMW M3 在初速為 100kph 時，且過彎速度為 60kph 時，J-Turn test 總時間約為 12s，較初速為 0kph 快 0.5s。

以下為 Taycan GTS。考慮 V2 為 60kph，且 V0 為 100kph，所以先使車輛加速至 100kph，再接續 J-Turn test，車輛油門煞車及轉向輸入如圖 25，油門為 0.5s 至 2.6s 踩至底，車速即達 100kph，行駛距離為 40m 需扣掉，接著再加速至 3.8s，車輛經過 70m 直線，而當 3.8s 後油門放掉全踩煞車，所以煞車輸入為 3.8s 至 4.3s，此時達成車速 60kph 進彎，接著轉向輸入，轉向輸入為 4.4s 轉至 9.6s 停，而  $\delta = 0.156$ ，如圖 26，但為了使過彎速度為等速 60kph，所以在過彎時我選擇加入油門輸入，此輸入為從 4.5s 至 10s 線性增為踩至底。

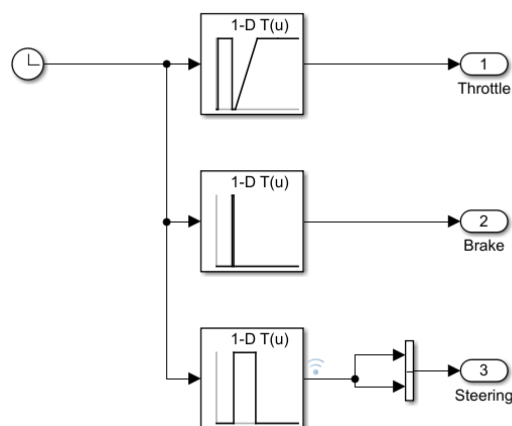


圖 25 油門煞車及轉向輸入 Q4(Taycan GTS)

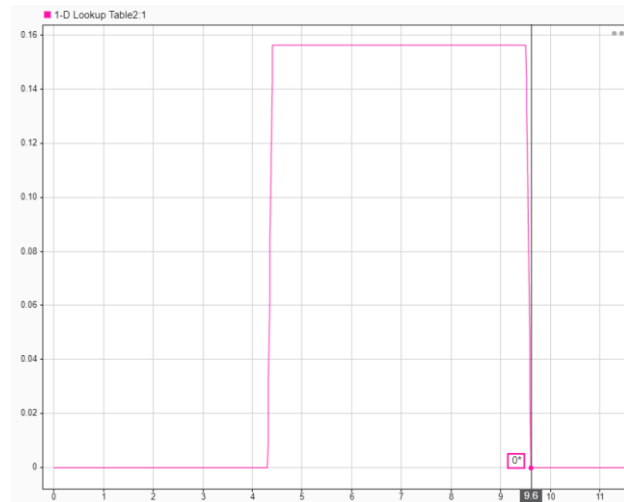


圖 26 T –  $\delta$ 圖 Q4(Taycan GTS)

透過以上輸入，完成 J-Turn test，final path 如圖 27 所示，由圖 27 可知，車輛在橫坐標 0-60m，且過彎時切彎道的 apex，為縱坐標 126m，因為須扣除加速至 100kph 的距離 40m。而車輛 v-T 圖如圖 28 所示，由圖 28 可得 T1 為 1.1s，車輛加至最高速為 116.6kph，而 T2 為 1.7s，車速降至入彎速度為 69kph，大約為要求的 60kph。

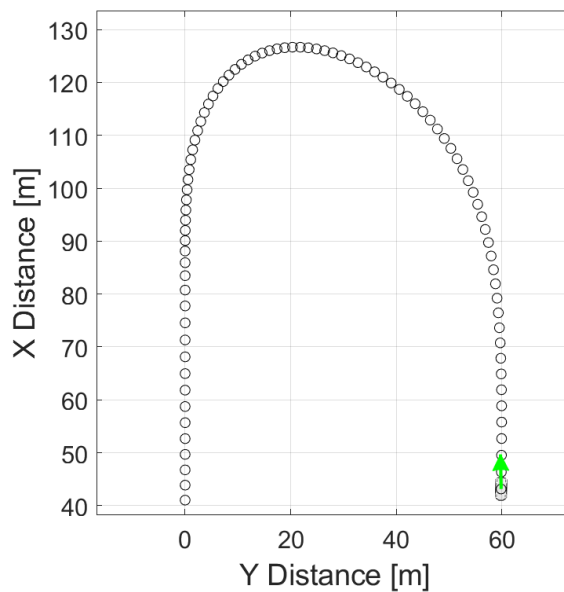


圖 27 final path Q4(Taycan GTS)

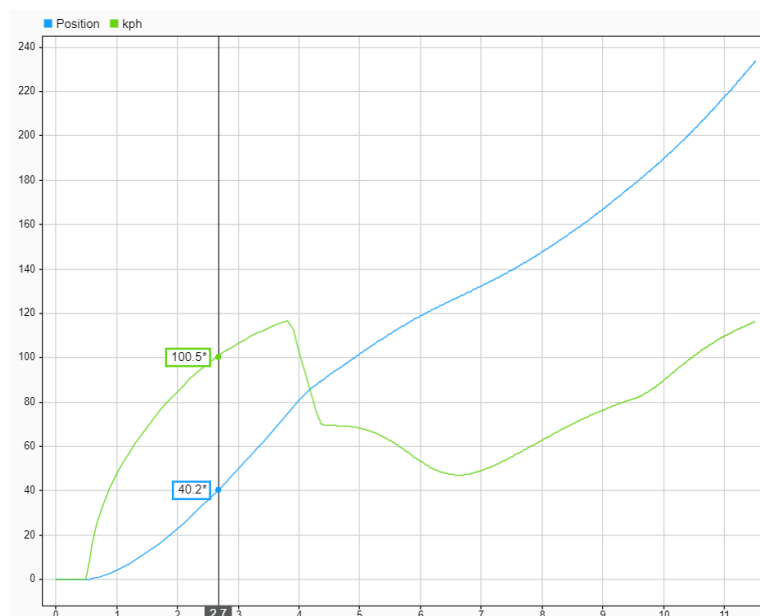


圖 28 v(綠線)-T 圖 Q4(Taycan GTS)

而前輪 F-T 圖如圖 29 所示，其中紫線為左前輪，紅線為右前輪，而後輪 F-T 圖如圖 30 所示，其中藍線為左後輪，綠線為右後輪，其結果分析與 Q3 相同。

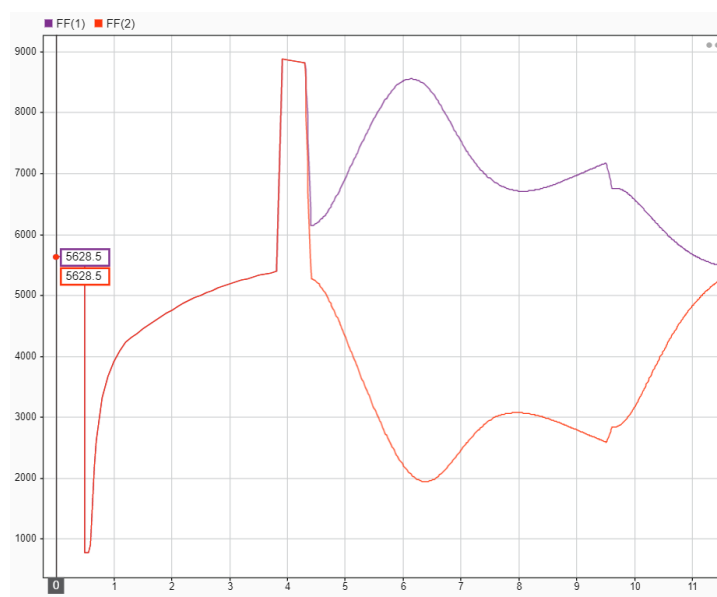


圖 29 前輪 F-T 圖 Q4(Taycan GTS)



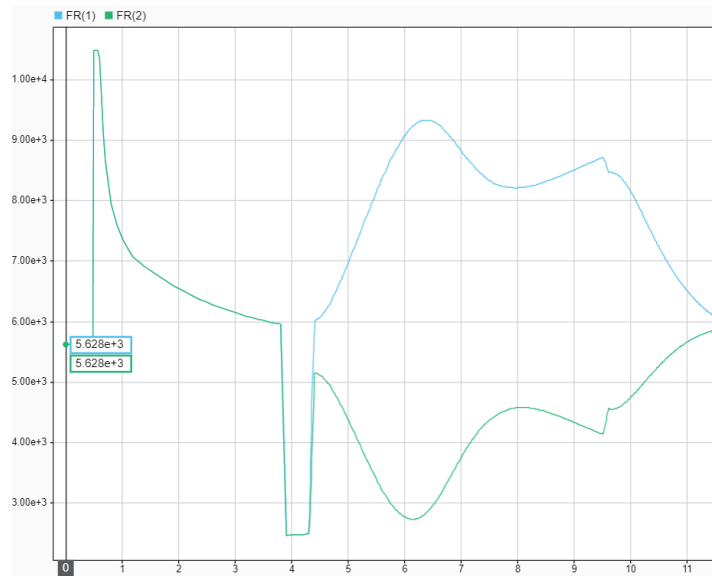


圖 30 後輪 F-T 圖 Q4(Taycan GTS)

由以上的分析結果可得 Porsche Taycan GTS 在初速為 100kph 時，且過彎速度為 60kph 時，J-Turn test 總時間約為 8.8s，較初速為 0kph 快 1.2s。

5. If we maintain the same speed as Q3 while doubling the steering angle, what do you see? Plot the final path, V-T, and the loads on four wheels over time and compared with Q3.

以下為 BMW M3 Competition，將所有輸入皆調為 Q3，而將轉角兩倍為  $\delta = 0.24$ ，其餘不變，final path 如圖 31 所示，由圖 31 可知，車輛在過彎時，因轉角過大，而產生 oversteering，車輛轉向過度，最終失控跑離跑道。而車輛 v-T 圖如圖 32 所示，由圖 32 可得 T1 為 3s，車輛加至最高速為 93.8kph，而 T2 為 3.4s，車速降至入彎速度為 56.9kph，大約為要求的 60kph，皆與 Q3 一致，但在過彎時車速明顯下降，原因為方向盤轉角過大造成。

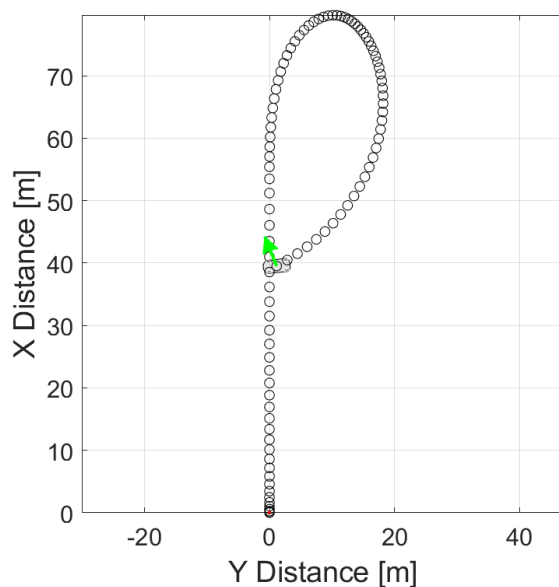


圖 31 final path Q5(M3 Competition)

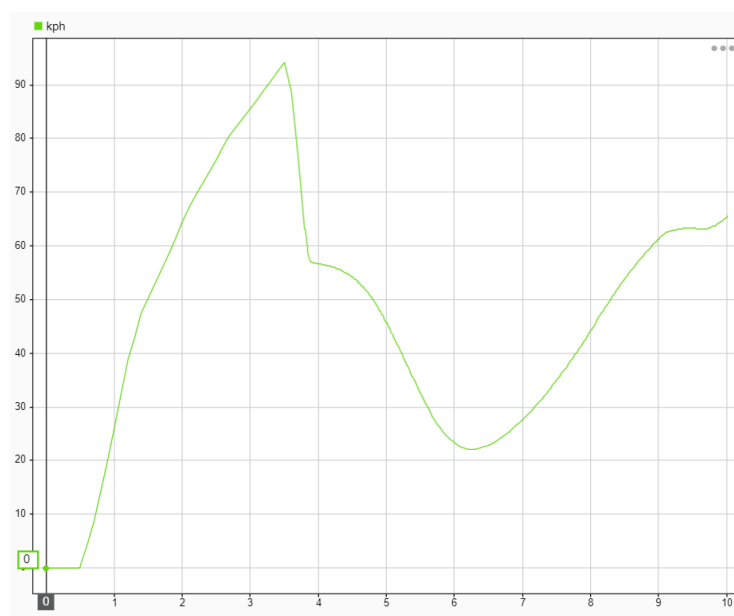


圖 32 v-T 圖 Q5(M3 Competition)

而前輪 F-T 圖如圖 33 所示，其中紫線為左前輪，紅線為右前輪，而後輪 F-T 圖如圖 34 所示，其中藍線為左後輪，綠線為右後輪，由圖 33、34 可知其受力趨勢與 Q3 一致，但在過彎時，外側輪受力明顯大很多，其為轉向過度的結果，最終導致車輛跑離跑道。

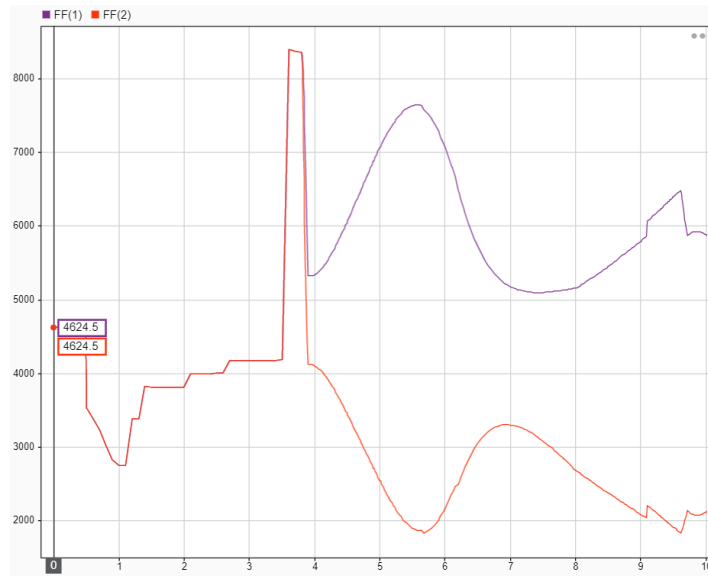


圖 33 前輪 F-T 圖 Q5(M3 Competition)

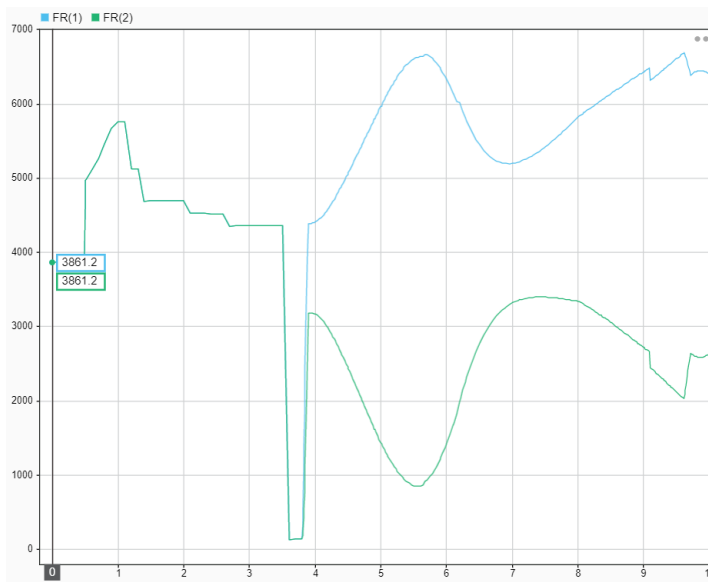


圖 34 後輪 F-T 圖 Q5(M3 Competition)

由以上的分析結果可得 BMW M3 在初速為 0kph 時，且過彎速度為 60kph 時，而轉角為 Q3 兩倍時，J-Turn test 無法完成車輛會失控。

以下為 Porsche Taycan GTS，將所有輸入皆調為 Q3，而將轉角兩倍為  $\delta = 0.28$ ，其餘不變，final path 如圖 35 所示，由圖 35 可知，車輛在過彎時，因轉角過大，而產生 oversteering，車輛轉向過度，最終失控跑離跑道。而車輛 v-T 圖如圖 36 所示，由圖 36 可得 T1 為 s，車輛加至最高速為 kph，而 T2 為 s，車速降至入彎速度為 kph，大約為要求的 60kph，皆與 Q3 一致，但在過彎時車速明顯下降，原因為方向盤轉角過大造成。

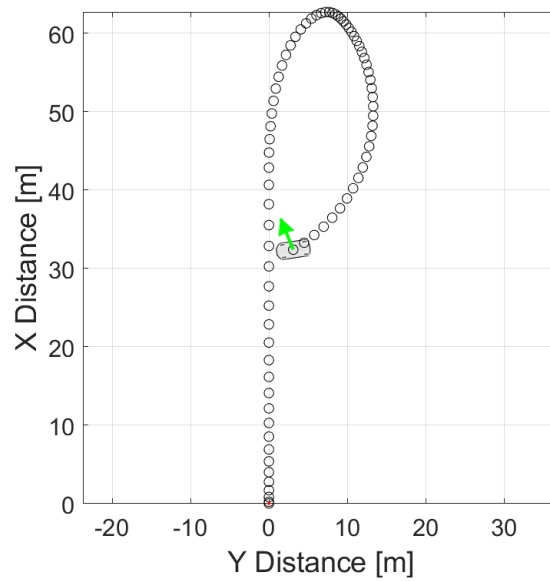


圖 35 final path Q5(Taycan GTS)

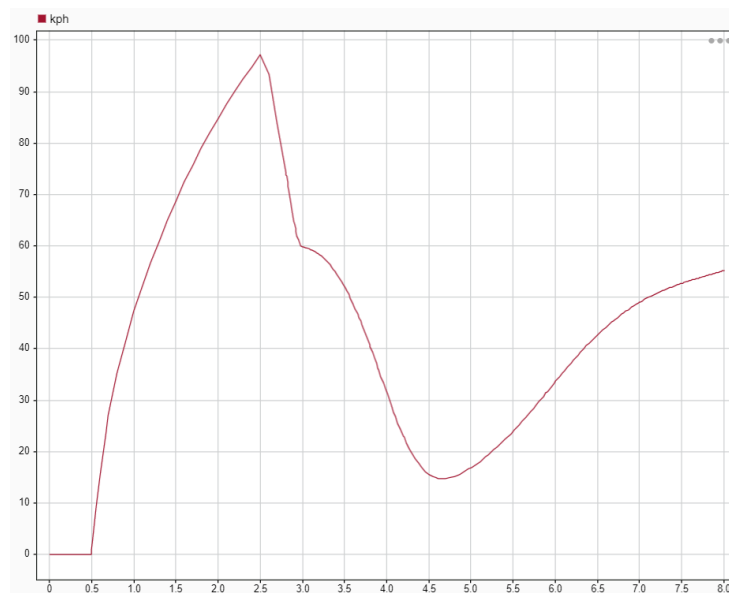


圖 36 v-T 圖 Q5(Taycan GTS)

而前輪 F-T 圖如圖 37 所示，其中綠線為左前輪，橘線為右前輪，而後輪 F-T 圖如圖 38 所示，其中橘線為左後輪，綠線為右後輪，由圖 37、38 可知其受力趨勢與 Q3 一致，但在過彎時，外側輪受力明顯大很多，大過煞車時受的力，其為轉向過度的結果，最終導致車輛跑離跑道。

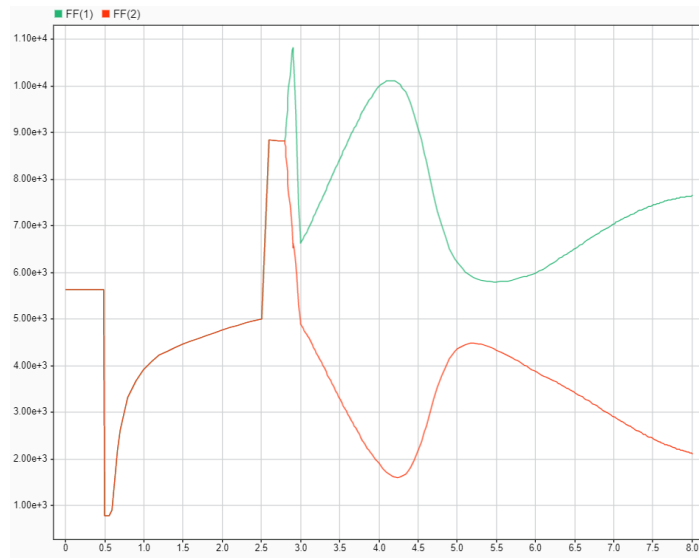


圖 37 前輪 F-T 圖 Q5(Taycan GTS)

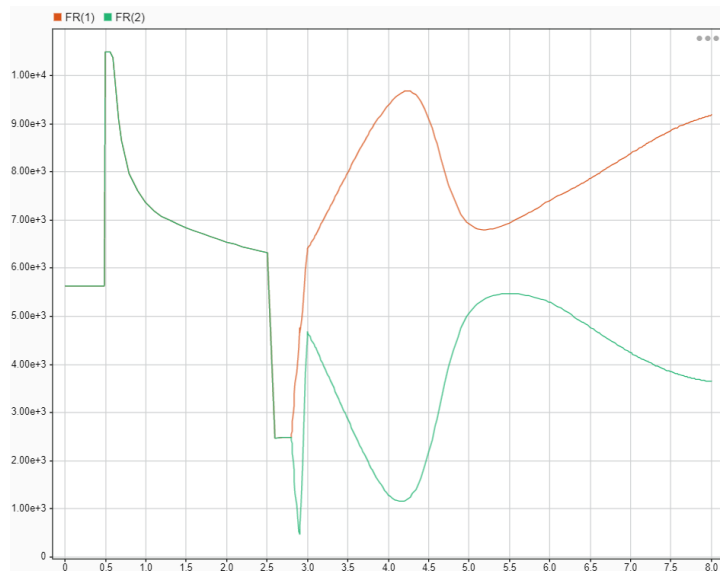


圖 38 後輪 F-T 圖 Q5(Taycan GTS)

由以上的分析結果可得 Porsche Taycan GTS 在初速為 0kph 時，且過彎速度為 60kph 時，而轉角為 Q3 兩倍時，J-Turn test 無法完成車輛也會失控，其分析與 BMW M3 類似。