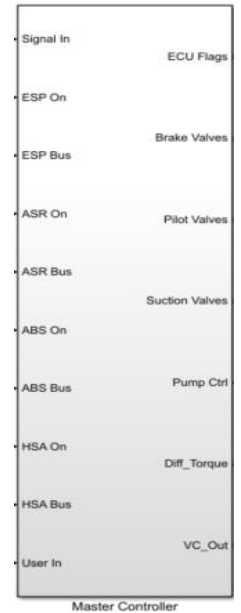
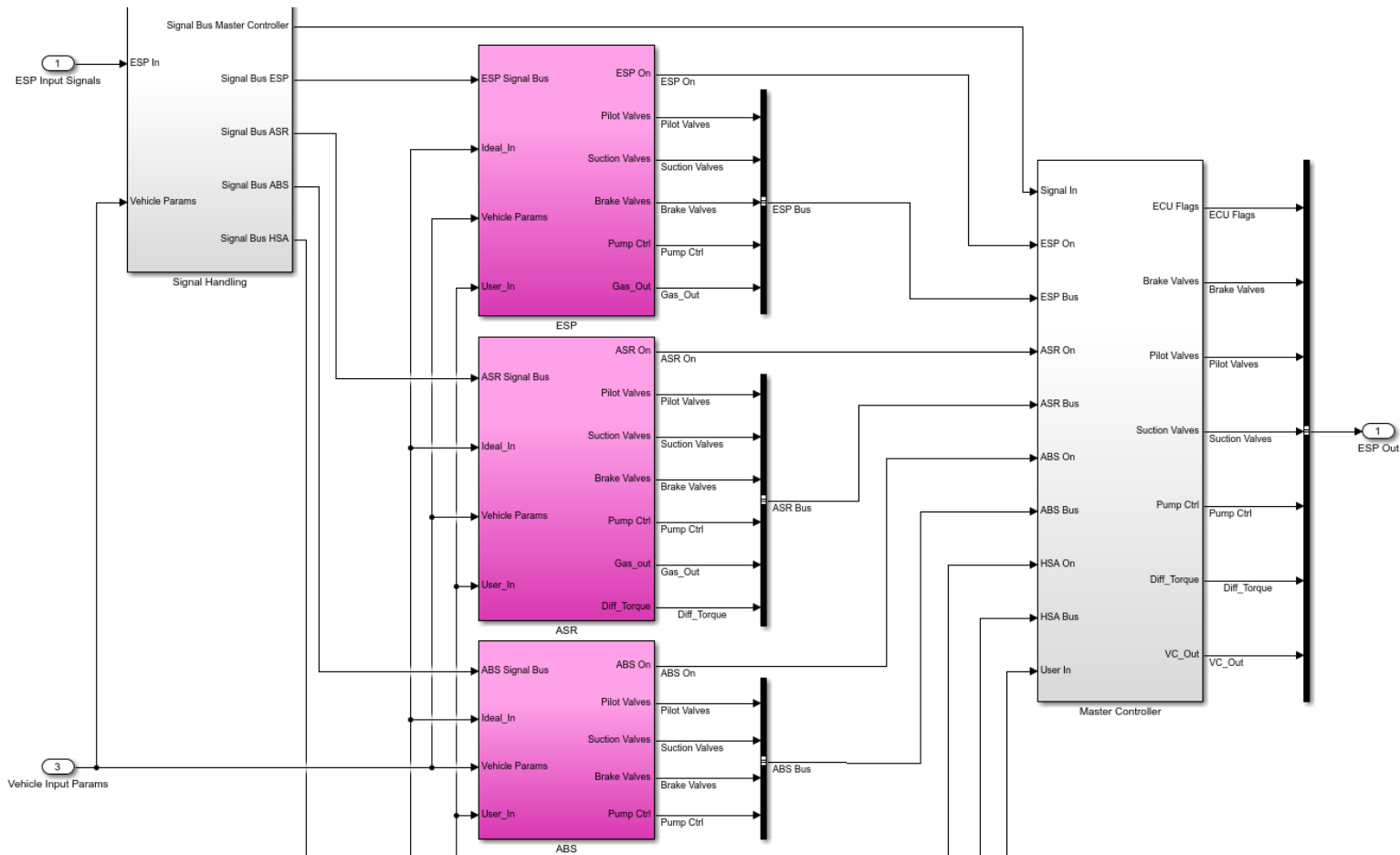


BREMSBASIERTE
ASSISTENZFUNKTIONEN
-
FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME
(ABS, ASR, ESP[®] - ÜBUNGEN)

ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ

Fahrdynamikregelsysteme

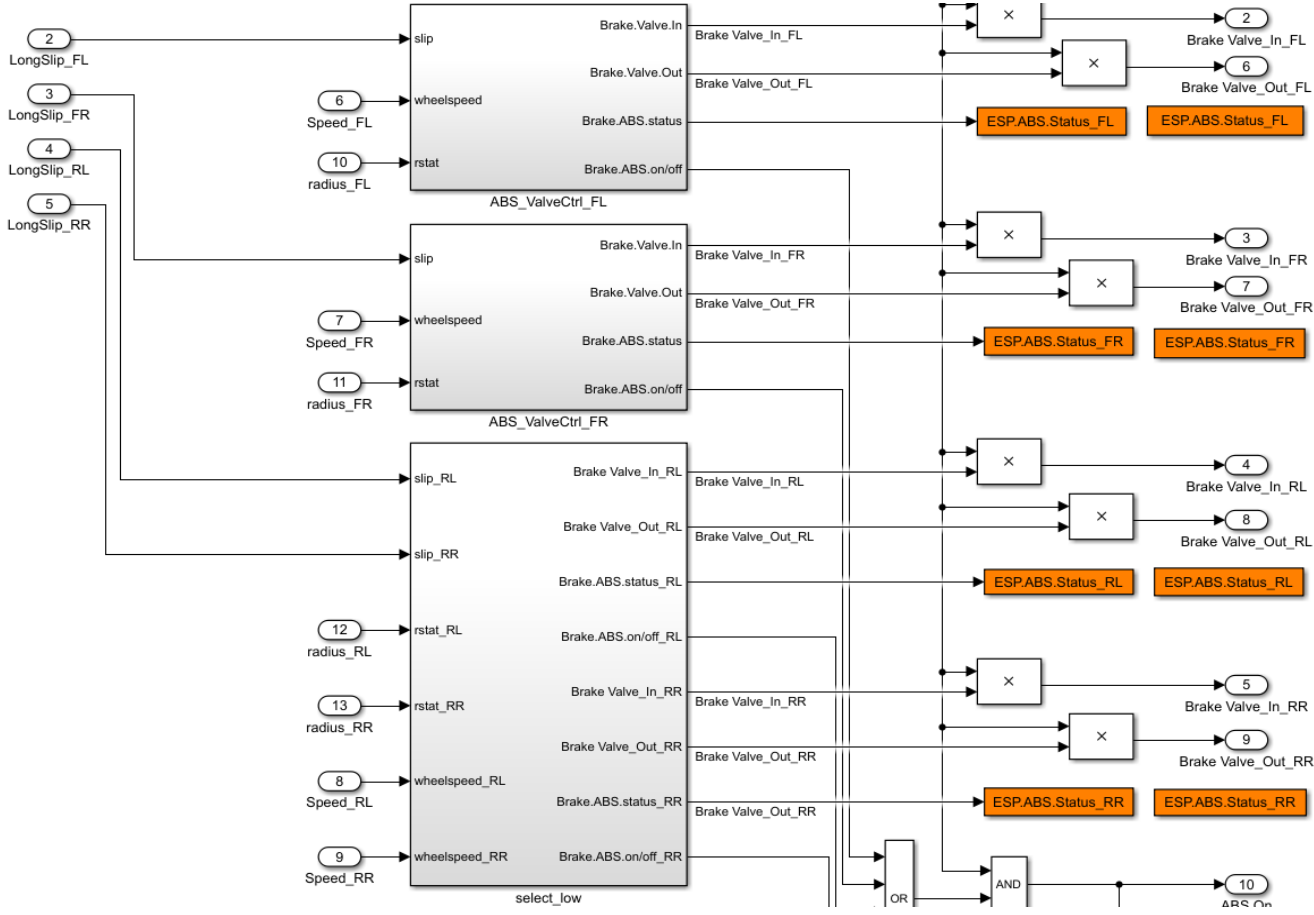
Übungen – ESC_{IPG}-Struktur



Master Controller
 - Priorisierung der Regler (ABS, ESC, ASR, HAS)

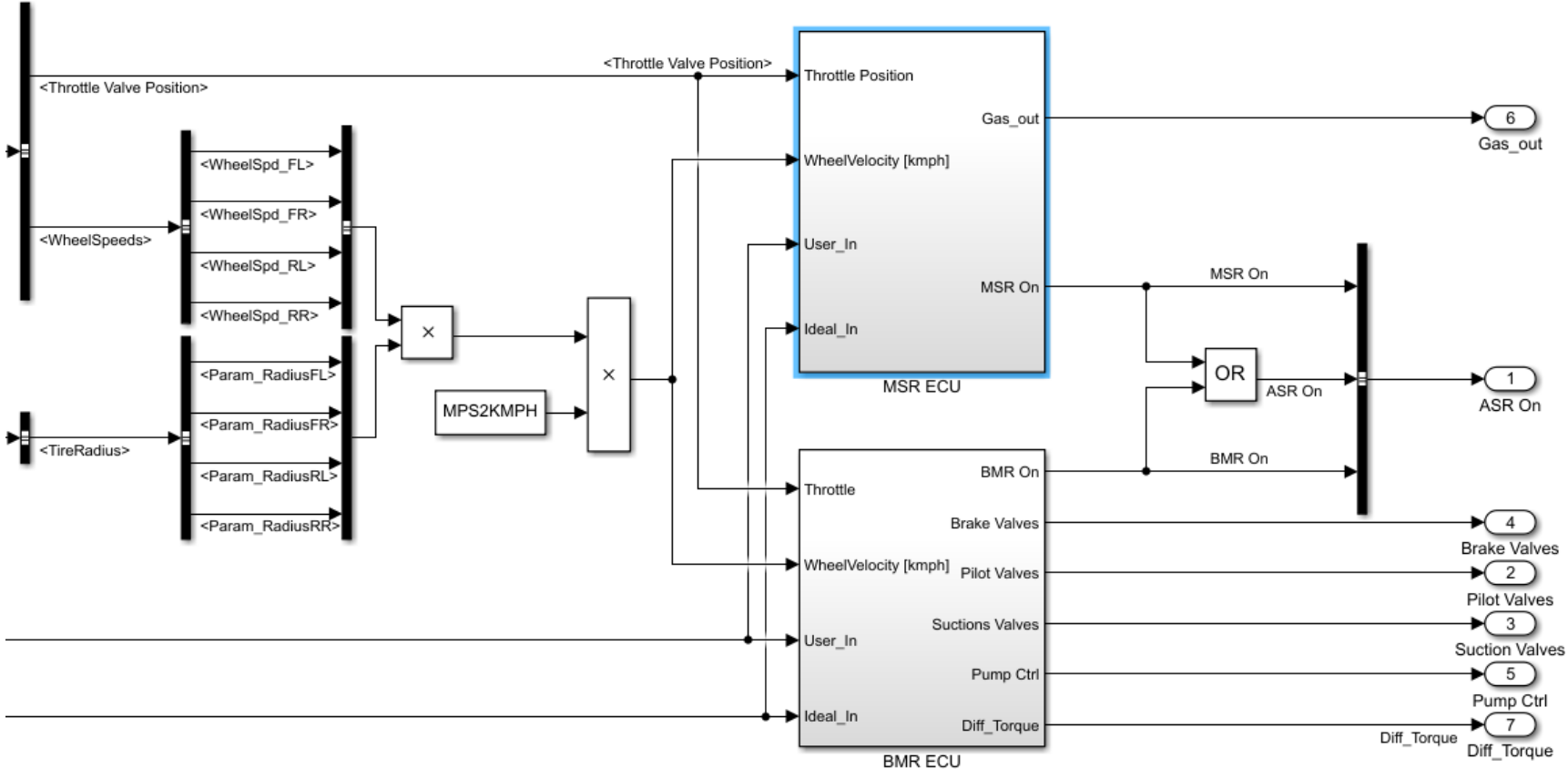
Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ABS_{IPG}-Struktur



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ASR_{IPG}-Struktur

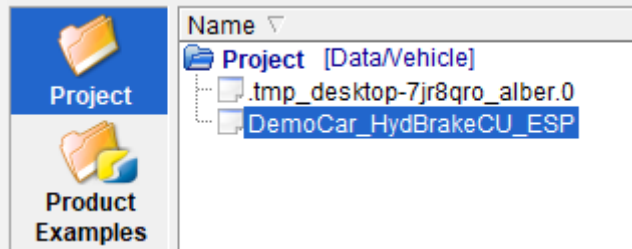


Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – Installation CM&ESP-Projekt

1. Installation customized CM-Projekt:

- ▶ Download: Moodle ADAS_Master_ESP_CM9.zip
- ▶ Entpacken: C:\CM_Projects
- ▶ Laden des Projekts in CM-GUI:
 - > File -> Project Folder -> Select -> ProjectFolder/
ADAS_Master_ESP_CM9
 - Entpacken: C:\CM_Projects
- ▶ Aktivierung customized EXE in CM-GUI:
 - > Application -> Configuration/Status -> ...
/ADAS_Master_ESP_CM9/src/CarMaker_ESP.win64.exe
- ▶ Laden des FzgModels nach laden eines Testruns:
 - > LoadTestrun //
 - > Select Vehicle Model aus Project Folder



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen CM4SL^{*)} – ABS-/ASR-Manöver

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-.slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Manöver: Testrun Examples/Braking
- Fahrbahn: bspw. Testrun “Braking”
– Modifikation des Reibwert

^{*)} Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ABS_aktiv, ASR_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente
Motormoment

► Manöver:

- Aktivierung/Deaktivierung Regler im SimulinkBlock:
[HydBrakeCU_ESP_YawRate_so_modif/CarMaker/IPG
Vehicle/Brake/HydBrakeCU Example/ESP Controller/User Input Signals1](#)

Parameters

Variable Name
ESP.User.ABS_off

Unit
[Empty]

Strictly monotone

Type Char

DVA write access IO_Out

Number of states (0=no states)
2

First state (if number of states != 0)
0

Initial value
0

- ESP-User.ABS_off = 0 ABS-aktiv
- ESP-User.ABS_off = 1 ABS-inaktiv

^{*)} Bei Nutzung des compiled standalone CM-Projekts „ADAS_Master_ESP_CM9“ Parameterverstellung mittels DVA

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen mit customized CM – ABS-/ASR-Manöver

► Projekt: ADAS Master ESP CM9

► Aktivierung/Deaktivierung Regler mittels DVA:

Quantity	Value	Unit	G1	G2	Mode	Duration [ms]	New Value
YawGain			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
ESP.ESP_active	0	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	0 Set
ESP.YawRateDesired_ga	1	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	-1	1 Set
ESP.ESP_Stabilizing_torq	0	Nm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
ESP.ESP.lamp	0	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
ESP.User.ESP_all_off	0	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	-1	0 Set
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Value	1	Set

Roter Rahmen: Verstärkung Sollgierrate

Blauer Rahmen: Aktivierung/Deaktivierung Regler

- $ESP\text{-}User.ESP_all_off = 0$ ABS/ASR/ESP-aktiv
- $ESP\text{-}User.ESP_all_off = 1$ ABS/ASR/ESP-inaktiv

Alternativ kann ESP aktiviert/deaktiviert werden in den Instruments

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bremsmanöver m./o. ABS

Manöver 1 low- μ e homogen:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\text{max}} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Variationen
 - Querdynamik manuell mit Sinuslenken
 - Amplitude: 60deg, Periode: 1s, >5 Perioden
- ▶ Fahrbahn
 - Modifikation des Reibwerts am Anbremspunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Manöver 2 μ e-split:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\text{max}} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Fahrbahn
 - Modifikation des Reibwerts am Anbremspunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf linker Fahrbahnseite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bremsmanöver m./o. ABS

Manöver 3 mue-step pos/neg:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\text{max}} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Fahrbahn:
 - Modifikation des Reibwerts von 670 bis 690m
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Beschleunigungsmanöver m./o. ASR

Manöver 4 low- μ e homogen:

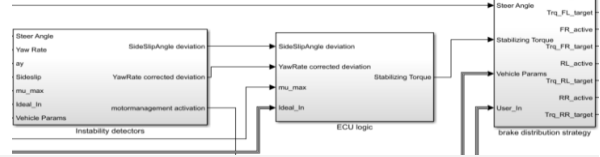
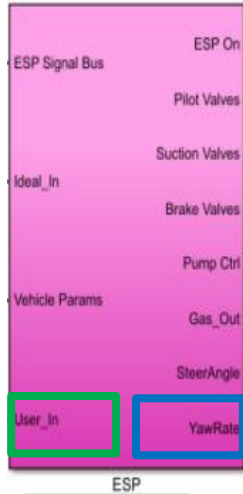
- ▶ **Anfahrmanövermanöver:**
 - Längsdynamik
 - Kupplung lösen
 - Gas geben (1)
 - Bremse auf 0
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ **Regler:**
 - ASR: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ **Variationen**
 - Querdynamik manuell mit Sinuslenken
 - Amplitude: 60deg, Periode: 1s, >5 Perioden
- ▶ **Fahrbahn**
 - Modifikation des Reibwerts am Startpunkt $s=0\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Manöver 5 μ e-split:

- ▶ **Anfahrmanövermanöver:**
 - Längsdynamik
 - Kupplung lösen
 - Gas geben (1)
 - Bremse auf 0
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ **Regler:**
 - ASR: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ **Variationen**
 - Fahrbahnsteigung: 10% auf 100m Länge
- ▶ **Fahrbahn**
 - Modifikation des Reibwerts am Startpunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf linker Fahrbahnseite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ESC_{IPG}-Struktur



Instability Detectors

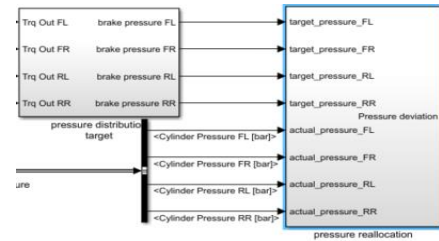
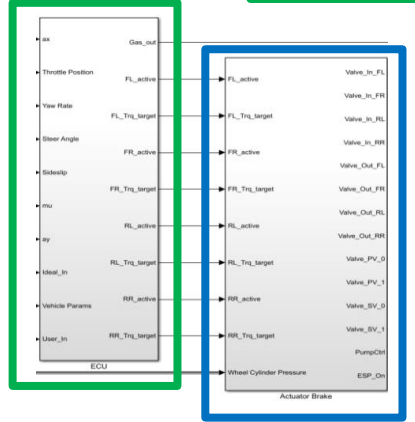
- Istwert gemessen
- Sollwerte trigonometr. Beziehung (Momentanpol) für Drehrate u. Schwimmwinkel

ECU-Logic

- Berechnung Threshold für Eingriffsschwelle; $f(V)$
- Stabilisierungsmoment: P-Regler auf Basis Drehrate und Schwimmwinkel
- Schwimmwinkel zur Freigabe ESC-Eingriffe

Brake Distribution Strategy

- Aufteilung Stabilisierungsmoment auf Soll-Radmomenteänderungen

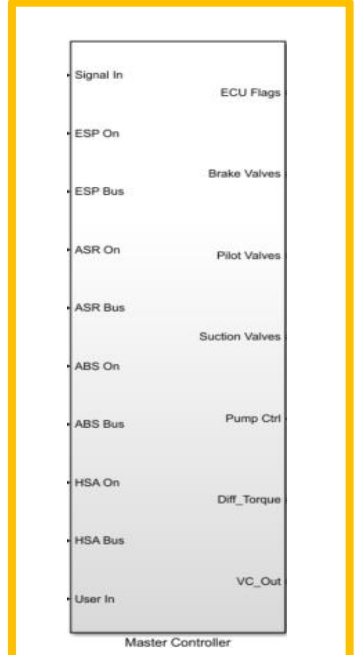


Pressure Distribution Target

- Umrechnung Soll-Radmomenteänderungen in Druckänderungen
- Superposition der Druckänderungen mit Raddrücken zu Sollrücken

Pressure Reallocation

- Regelung der Sollrücken durch Ansteuerung von Ventilen u. Pumpe



Master Controller

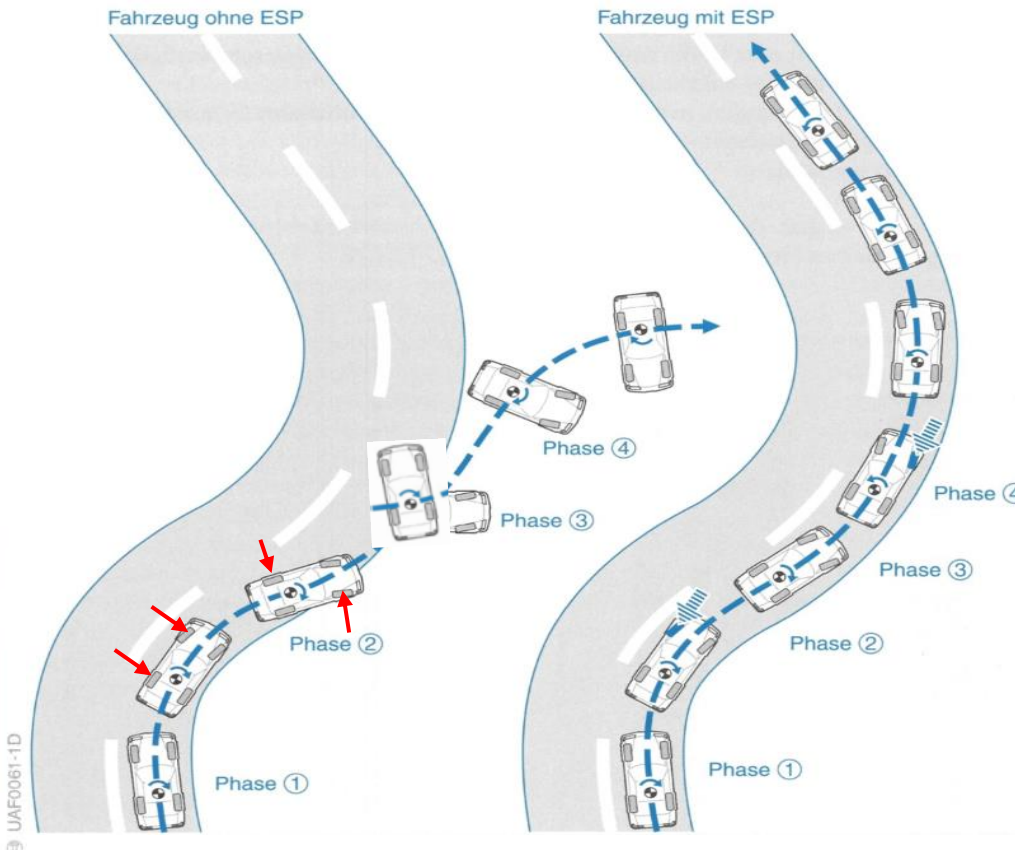
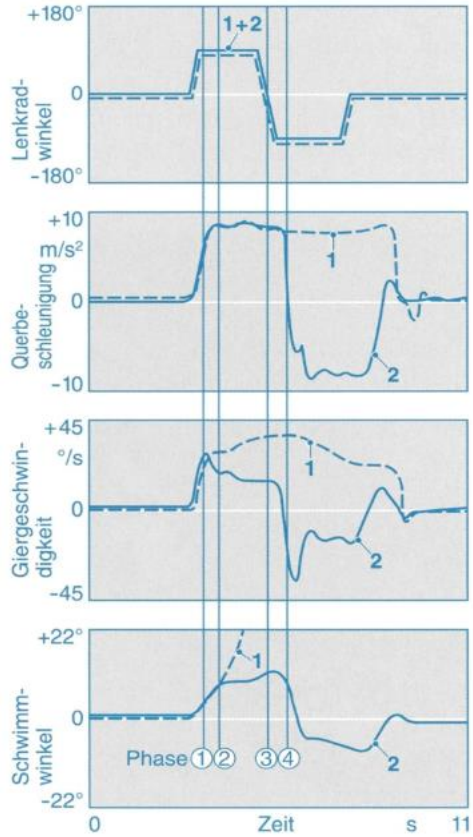
- Priorisierung der Regler (ABS, ESC, ASR, HAS)

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Doppelter Lenkwinkelsprung



Zeitverläufe fahrdynamischer Größen beim Durchfahren einer Rechts-Links-Kurve



- (1) Fahrer lenkt, Seitenkraftaufbau, stark eindrehendes Giermoment
- (2) Drohende Instabilität:
links: Fzg. wird instabil, reagiert auf Gegenlenken nicht
rechts: ESP®-Eingriff links vorne
- (3) Gegenlenken
links: Fzg gerät außer Kontrolle
rechts: Fzg bleibt unter Kontrolle
- (4) Links: Fzg nicht beherrschbar
rechts: ESP®-Eingriff vorne rechts, vollständige Stabilisierung

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen **CM4SL**^{*)} - Beispiel: Doppelter Lenkwinkelsprung-ESP[®] - Performance Check

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche, $\mu = 1.0$

^{*)} Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment

► Manöver:

- $V_0 = 0\text{km/h}$; Beschleunigen auf $= 80\text{km/h}$
- Lenksprünge mit:
 - Anfangslenkwinkel: $\Delta\text{el}_0 = 0^\circ$
 - Lenkamplitude: $\Delta\text{el} = \pm 130^\circ$
 - Lenkwinkelgeschwindigkeit: $d\Delta\text{el}/dt = 400^\circ/\text{s}$
 - Haltezeit: $t = 1\text{s}$
 - Rücksprung auf: $\Delta\text{el} = 0^\circ$
- ESP[®]
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- Variation
 - FzgGeschwindigkeit – ab wann treten ESP[®]-Eingriffe auf?
 - Ausgehängter Stabilisator, vorne/hinten
 - Reglerverstärkungen: PID_kP_yawrate; PID_kP_sideslip
..\src_cm4sl\HydBrakeCU_ESP_params.m

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen **CM4SL**^{*)} - Beispiel: Bremsen in der Kurve - ESP[®]-Performance Check

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: Kreisbahn r=240m, Mue = 1.0

^{*)} Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente
Motormoment

► Manöver:

- $V_0 = 0$ km/h; Beschleunigen auf $a_y = 0,35g$
- Anbremsen mit:
 - Brake: 90%, dt=0.2s
 - Steering
- ESP[®]
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- Variation
 - FzgGeschwindigkeit (a_y), Anbremsverhalten (Max, Grad.): ab wann treten ESP[®]-Eingriffe auf?
 - Ausgehängter Stabilisator, vorne/hinten
- Optional Testrun aus ...Examples/CorneringBraking als Basis

Fahrdynamikregelsysteme

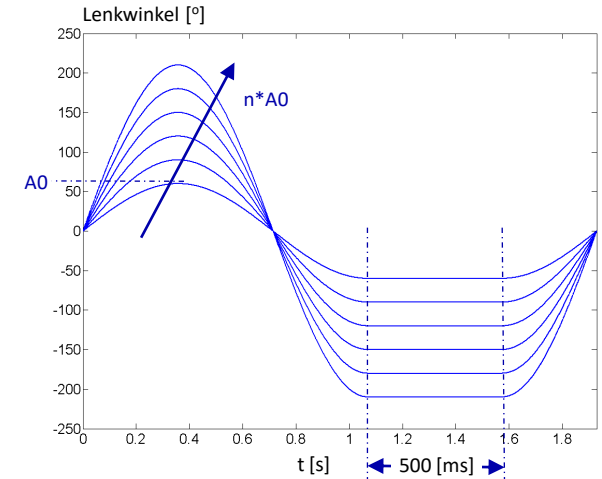
Übungen - Beispiel: Sine with Dwell - ESP®-Performance Check

Zielsetzung:

- ▶ Zunehmende Verbreitung von ESP® erforderte einen Test zum Nachweis der Funktionalität
 - ▶ Weltweit durchführbar
 - ▶ Standardisiert
 - ▶ Repräsentatives Manöver
 - ▶ Nachweis von Stabilität und Lenkfähigkeit
 - ▶ Begrenzter Testaufwand
 - ▶ Differenzierung der Systeme (Yaw Rate Sensor)
- ▶ Realisierung
 - ▶ NA (NHSTA): FMVSS126-Test (2007)
 - ▶ EU: ECE Reg 13H & Euro NCAP ESC Test (2011-2014)
 - ▶ UN/ECE: weitere Länder

Manöver – Sine with Dwell:

- ▶ Fahrbahn: hoch-mue
- ▶ 80±2km/h, hoher Gang
- ▶ Sinuslenken mit 0.7Hz
- ▶ Haltezeit: 500ms
- ▶ A_0 -Amplitude für $a_y=0.3g$
- ▶ $n \cdot A_0 @ 0.3g$ ($n = 2 \dots 7$)
- ▶ Max. Amplitude: $\sim 270^\circ$
- ▶ Ausführung mittels Lenkroboter

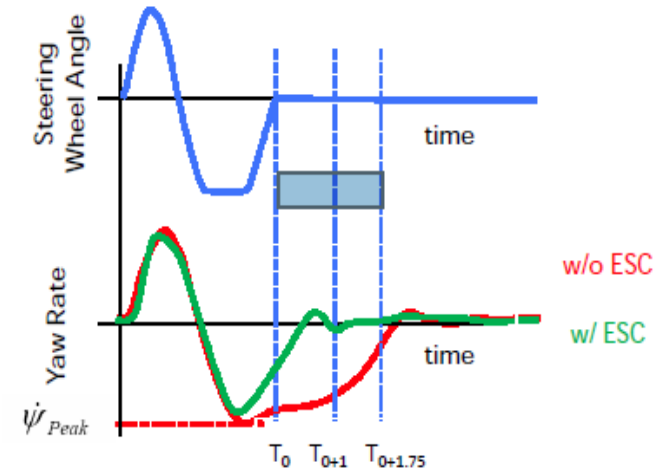


Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Sine with Dwell - ESP®-Performance Check

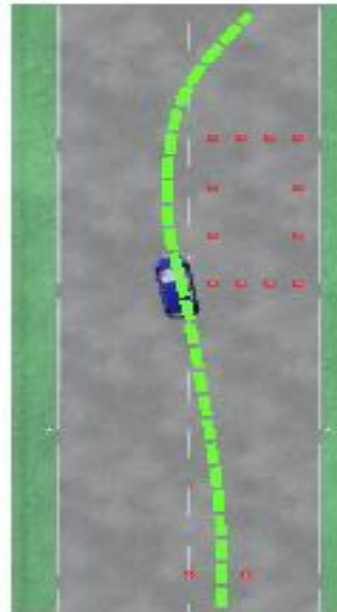
Kriterien:

- ▶ Abklingen der Drehrate (Stabilität)



$$YRR = 100 * \left(\frac{\dot{\psi}(\text{at time } t)}{\dot{\psi}_{Peak}} \right) \begin{cases} \text{at } T_{0+1} \leq 35\% \\ \text{at } T_{0+1.75} \leq 20\% \end{cases}$$

- ▶ Seitlicher Versatz des Fahrzeugs (Lenkfähigkeit)



$$\int_{t_0}^{t_0+1.07} \int_{t_0}^{t_0+1.07} A_{y_{C.G.}}(t) dt \geq 1.83 \text{ m}$$

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen CM4SL*) - Beispiel: Sine with Dwell - ESP®-Performance Check

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche, $\mu = 1.0$
- *) Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment

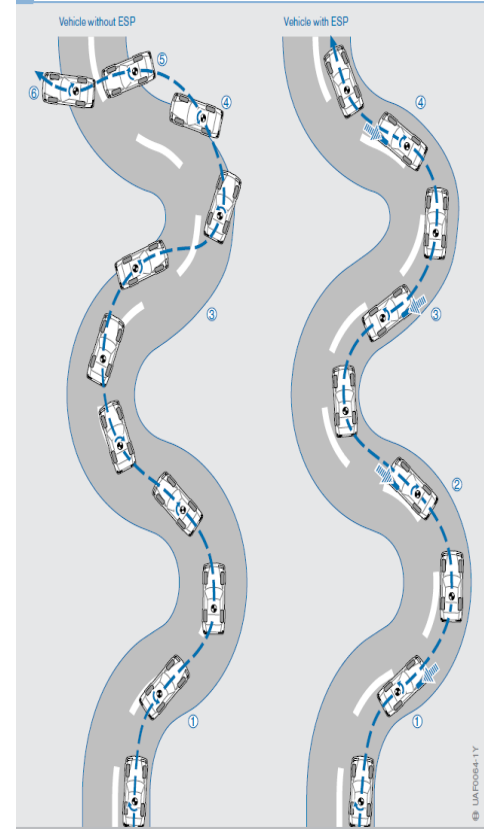
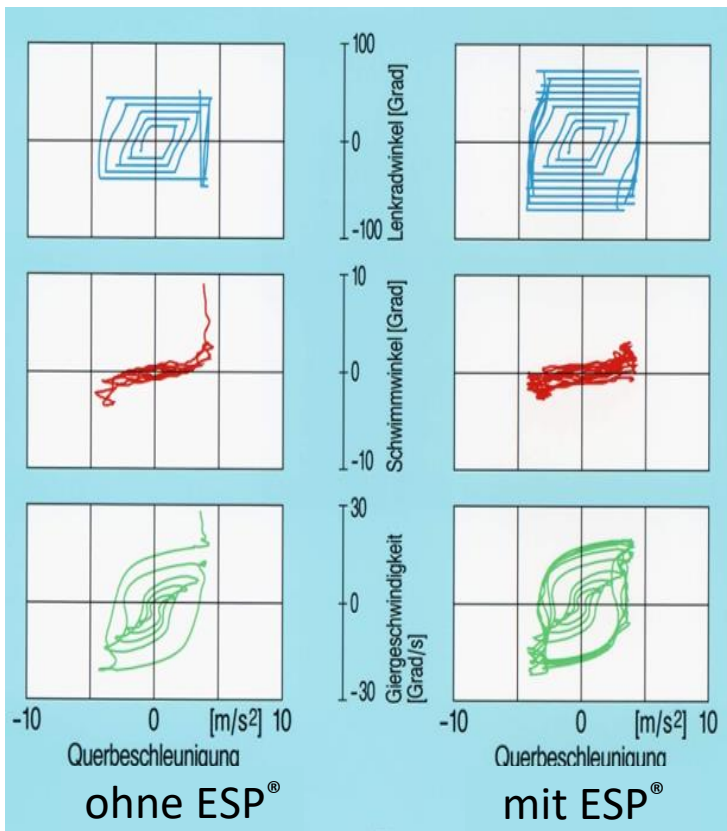
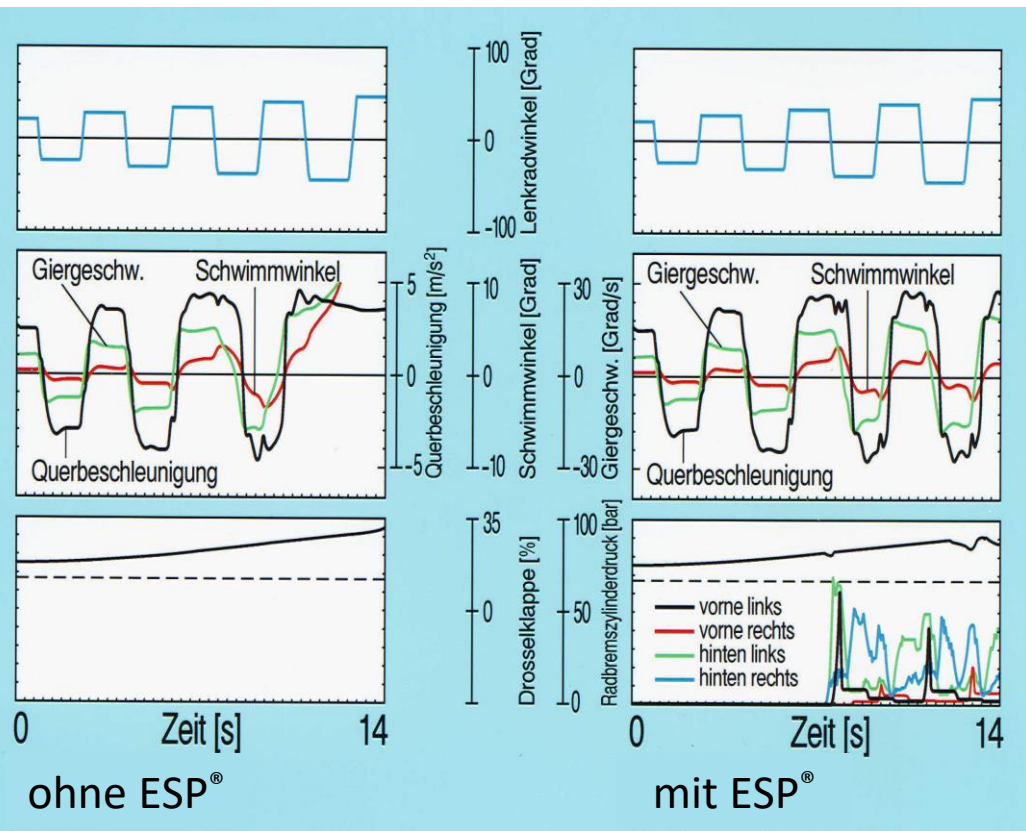
► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 80 \text{ km/h}$
- Einschwingphase: 3s
- Lenken mit Sine-with-Dwell
 - Lenkamplitude: $\Delta\delta = \pm 130^\circ$
 - s. CarMaker/Examples
- ESP®
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- NHTSA-Kriterien anwenden
 - Yaw Rate: $t=t_0+1.0: \leq 35\%$ $t=t_0+1.75: \leq 20\%$
 - Seitenversatz: $t=t_0+1.07: s \geq 1,83 \text{ m}$

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

Vergleich Slalom Manöver mit zunehmender Lenkamplitude ohne/mit ESP® ($\mu = 0.45$, $V=72\text{km/h}$)



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen CM4SL*) - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche; $\mu = 0.45$
- *) Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment
- Window 1 - Phasenplot:
 - Diagramm 1: Drehrate, Schwimmwinkel, Lenkradwinkel als Funktion der Querbeschleunigung

► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 72 \text{ km/h}$ und halten der Geschwindigkeit
- Lenksprünge mit:
 - Anfangslenkwinkel: $\Delta\delta_0 = 0^\circ$
 - Lenkamplitudenzunahme: $\Delta\Delta\delta = 5^\circ/\text{Sprung}$
 - Lenkwinkelgeschwindigkeit: $d\Delta\delta/dt = 200^\circ/\text{s}$
 - Haltezeit: $t = 1 \text{ s}$
 - Max. Lenkwinkel: $\Delta\delta_{\max} = 100^\circ$
- ESP[®]
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- Optional Variationen
 - Solldrehrate +/-20%
 - Parameter: Gain YawRate_so_modif (Default=1)