

Modellbasiertes Prototyping mit INTECRIO

Von
Dr. Mark Thompson,
Kettering University

Studenten der Kettering University helfen automatischen Fensterhebern aus der Klemme

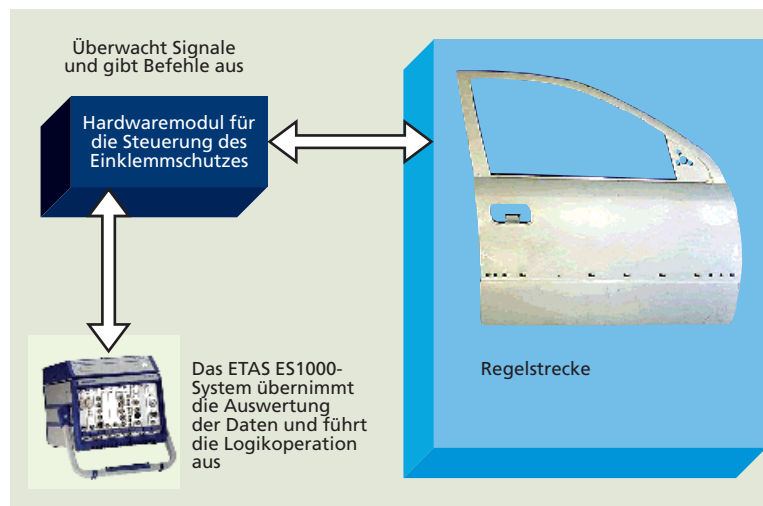
Automatische Fensterheber gehören inzwischen zur Grundausstattung in Millionen von Serienfahrzeugen und tragen wesentlich zur Bequemlichkeit und Sicherheit bei. Da die Fensterheber in modernen Kraftfahrzeugen elektronisch gesteuert werden, lassen sich die Fenster mit einem einzigen Knopfdruck öffnen und schließen.

Bild 1:
Hardware-Aufbau für
die Einklemmsperre.

A utofahrer in den USA sind bereits seit 1941 an die Vorzüge von automatischen Fensterhebern gewöhnt. Fahrzeughersteller taten sich jedoch lange schwer damit, die Funktion wirklich sicher zu machen: Es kamen immer wieder Unfälle vor, bei denen Kinder und Haustiere eingeklemmt oder sogar getötet wurden. Mit solchen Engineering-Problemen aus der realen Welt beschäftigen sich auch die Studenten an der Kettering University in Flint im Bundesstaat Michigan (siehe auch den Beitrag auf den Seiten 34-36 dieser Ausgabe). So entwickelten angehende Elektrotechniker dort die Elektronik zur Steuerung von automatischen Fensterhebern mit Einklemmschutz (Bild 1). Das Projekt war ein Teil des so genannten Capstone-Projekts, welches die Studenten im letzten Studienjahr erarbeiten.

Design-Vorgaben für das Capstone-Projekt

Wie viele Systeme im Fahrzeug, müssen vor allem auch die Sicherheitssysteme Industriestandards erfüllen, die in den „Federal Vehicle Safety Standards and Regulations“ der US-Regierung zusammengestellt sind. Die Design-Spezifikationen für automatische Fensterheber mit Einklemmschutz folgten dem Standard FVSS 571.118.



Diesbezüglich stimmten einige der Projektvorgaben ziemlich genau mit denen überein, die Ingenieure in den Karosserie-Elektronik-Abteilungen der Automobilindustrie einhalten müssen. Die Spezifikationen beinhalteten folgende Anforderungen:

- Die Fenster sollen manuelle und automatische Funktionen zum Öffnen und Schließen haben.
- Die Fenster sollen sich innerhalb von fünf Sekunden automatisch vollständig öffnen oder schließen.
- Der Motor für die Fensterheber muss sich abschalten, sobald ein Fenster vollständig geöffnet oder geschlossen ist.

- Der Fensterhebermotor muss sich nach fünf Sekunden ununterbrochenen Laufens automatisch abschalten. Dies ist eine Sicherheitsfunktion zum Schutz von Motor und Steuerung.
- Die Einklemmsperre muss ein Hindernis erkennen, welches eine Kraft von 100 N oder mehr ausübt.
- Das Fenster muss sich um ungefähr 10 cm senken, wenn ein Hindernis erkannt wurde.
- Der Entwurf und die Implementierung des Systems müssen innerhalb eines Budgets von 225 U.S.-Dollar erfolgen.



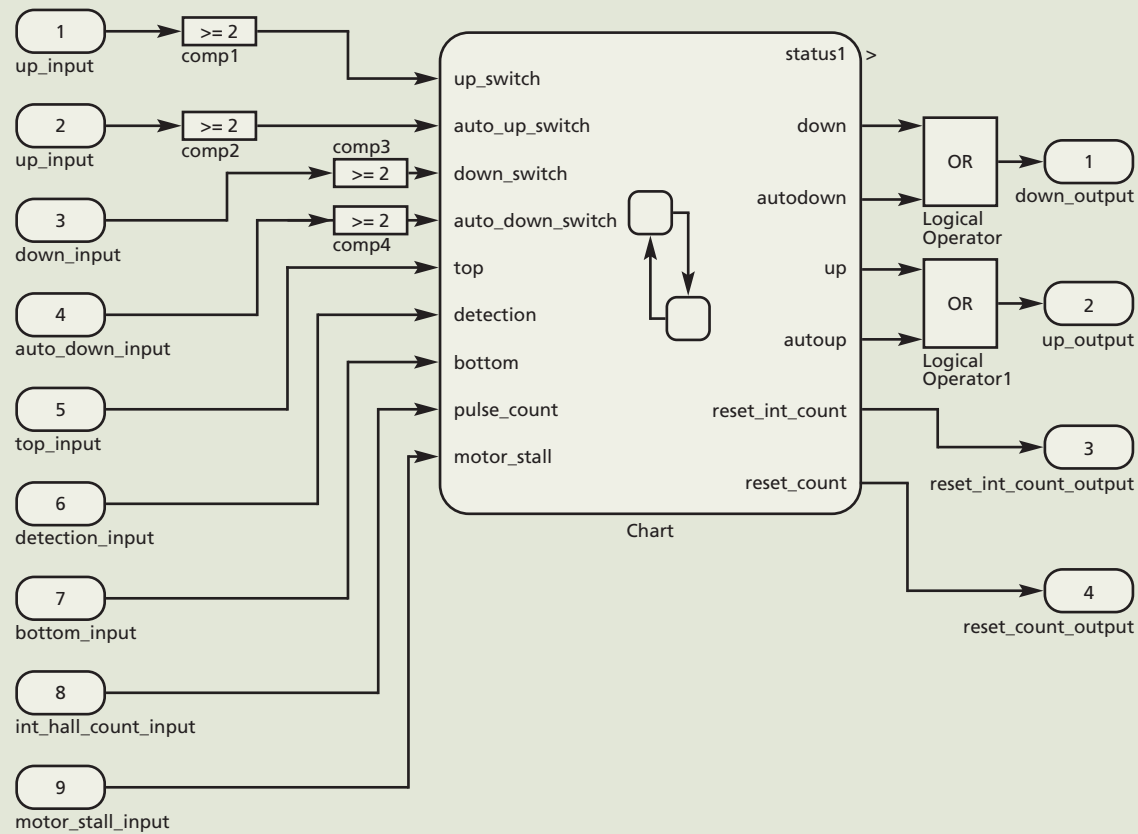


Bild 2:
Das Softwaremodul
für die Einklemmsperre (Übersicht).

Der Einklemmschutz in diesem Projekt hatte, wie vergleichbare Systeme in der Industrie, einen Sensor zur Messung der Stromaufnahme des Gleichstrommotors, der das Fenster auf- und absenkt. Der Sensor erkennt Spitzen in der Stromaufnahme des Motors und die Software wurde so ausgelegt, dass sie diese Spitzen entsprechend interpretieren konnte. Wenn der Motorstrom einen festgelegten Grenzwert überschreitet, interpretierte die Software diese Stromspitze als Hindernis und das Fenster wurde um 10 cm abgesenkt. Zur Bestimmung der genauen Fensterposition verwendete das System einen Hall-Sensor am Motor des Fensterhebers. Mit Hilfe des Sensors wurden die Pulse gezählt. Für die Position „Fenster geöffnet“ wurde der Wert „0“ festgesetzt. Die Position „Fenster vollständig geschlossen“ wurde mit einem Wert belegt, der sich aus der Anzahl von Pulsen ergab, die bei einer vollständigen Öffnung des Fensters gezählt wurden. Trat während des Schließvorgangs eine Spitze in der Stromaufnahme des Motors auf, so wurde dies als Hindernis interpretiert. Das Fenster wurde entsprechend der Pulszahl, die einem Weg von 10 cm entsprach, in die umgekehrte Richtung bewegt.

Design des Hardware-Teilsystems

Die Software für die Einklemmsperre in diesem Projekt wurde in ein ES1130 Simulation/System Controller Board geladen, welches Teil eines ETAS-ES1000 VME-Systems war. Das Board diente als Prototyp eines Seriensteuergeräts. Über die A/D- und D/A-Boards im ES1000-System konnten Daten mit der Software ausgetauscht werden. Ein Modul mit der Steuerung und Regelung des Einklemmschutzes, in welchem sich die Schalter für die Fenster, die Relais für den Motor, die Signalaufbereitung für die Sensoren und die Leistungselektronik befand, empfing die Signale von der Wagentür (der Strecke) und leitete sie an das ES1000-System weiter. Das Modul führte außerdem die Signale von dem ES1000-System zu der Schaltung, welche das Relais des Fensterhebermotors ansteuerte.

Design-Spezifikationen

Die Fensterhebersteuerung wurde sowohl für einen manuellen als auch einen automatischen Auf-/Ab-Bedienmodus ausgelegt. Zwei Momentschalter dienten als Eingabekomponenten – der erste für die manuelle Bedienung und der zweite für die automatische Bedienung. Die Eingänge der Schalter wurden zusammen mit der Steuerungssoftware sowie einer FET H-Brücke dazu verwendet, die Richtung des Fensterhebermotors zu steuern. Jeder Schalter wurde mit +5V Strom versorgt. Die Ausgänge für jeden Schalter wurden mit Hilfe je eines Widerstands geerdet, um Störungen bei Betätigung der Schalter zu unterbinden. Die Schaltersignale wurden mit Hilfe des A/D-Boards im ES1000-System digitalisiert und als Eingangssignale für die Software verwendet, welche damit die Position der Schalter feststellte. Die Software auf dem ES1130-Board steuerte den Motor im manuellen Betriebsmodus momentan und im automatischen Betriebsmodus ununterbrochen an. Basierend auf der Stromaufnahme des Motors, stoppte die Software den Motor, wenn das Fenster blockierte oder wenn das Fenster vollständig geöffnet oder geschlossen war. Zum Öffnen und Schließen des Fensters wurden per FET-Ansteuerung zwei digitale Ausgangssignale von der Software an die Spulen des H-Brückenrelais gesendet.

Software-Teilsystem

Die Software für den Einklemmschutz wurde in MATLAB® (Version R2006a) sowie den entsprechenden Versionen von Simulink® und Stateflow™ erstellt. Nach Fertigstellung des Modells wurde mit Real-Time Workshop ausführbarer C-Code generiert. Mit der Integrationsplattform INTECRIO von ETAS wurden anschließend die ausführbaren Softwarekomponenten und die Hardware zusammengeführt. Das Softwaremodul für den Einklemmschutz empfängt alle relevanten Signale, d. h. die Signale der Schalter und die Informationen über die jeweilige Position des Fensters, verarbeitet diese mit Hilfe einer Logik und schickt anschließend Befehle an die Relais und Zähler des Fensterhebermotors. Bild 2 zeigt das Softwaremodul in der Übersicht. Die Bedienung des Fensters wurde als Zustandsdiagramm implementiert. Das Fenster hat drei stationäre Hauptzustände: Fenster oben, in der Mitte und unten. Im Anfangszustand, „init1“, wird das Fenster vollständig geöffnet. Sobald es die Position „vollständig geöffnet“ erreicht, wird der Pulszähler zurückgesetzt. Angestoßen durch Eingangssignale von Schaltern und Pulszählern, kann das Fenster in andere Zustände übergehen, wie z. B. down, auto_down, up und auto_up.

Wird während des Zustands auto_up ein Hindernis erkannt, wechselt das Fenster in den Zustand „detection1“ über und der Zwischenzähler, der die Hall-Pulse zählt, wird zurückgesetzt. Dann wechselt das Fenster in den Zustand „detection2“ und senkt sich um 10 cm (entspricht 42 Pulsen) oder vollständig ab. Dieser Prozess läuft in einer endlosen Schleife weiter, sodass die Anwender die Regelstrecke (Wagentür) ununterbrochen betreiben können. Zur Positions- und Richtungsbestimmung der Fensterbewegung wurde ein weiteres Softwaremodul erstellt. Die Bestimmung der Fensterposition basierte auf einem Zähler für die Hall-Signale und der am Stromsensor gemessenen Spannung. Beide Signale wurden an die Eingänge des Einklemmschutz-Softwaremoduls weitergeleitet. Überstieg die Zahl der Hall-Pulse einen Wert von 200 – das Fenster war dann fast vollständig geschlossen – und lag der Spannungswert über der Schwelle von 1,8 V, gab das Softwaremodul das Signal „Fenster vollständig geschlossen“ aus. Lag die Zahl der Hall-Pulse unter einem Wert von 10 – das Fenster war fast vollständig geöffnet – und hatte die Spannung die Schwelle von 1,8 V überschritten, gab das Softwaremodul das Signal „Fenster vollständig geöffnet“ aus.

Lag die Spannung schließlich zwischen den beiden Werten von 1,8 V und 2,05 V und war das Fenster weder geschlossen noch geöffnet (10 < Pulsanzahl < 200), gab das Modul das Signal „Hindernis entdeckt“ aus. Zur Bestimmung der Fensterposition in der Wagentür war ein eigenes Softwaremodul zuständig. Dieses addierte die Pulse, wenn das Fenster nach oben gefahren wurde und subtrahierte die Pulse, wenn sich das Fenster nach unten bewegte. Bild 3 zeigt ein Blockdiagramm des Steuerungs-/Regelungssystems für die Einklemmsperre. Die Kettering-Studenten erfüllten mit ihrem Projekt alle sechs Design-Kriterien des Fenster-Einklemmschutzes und stellten das Projekt mit 23 % weniger als dem vorgesehenen Budget von 225 U.S.-Dollar fertig. Das Team hatte besonderen Wert auf kostengünstigste Hardware und ein praxisorientiertes Softwaredesign gelegt, sodass der entwickelte elektrische Fensterheber mit Einklemmschutz potenziell als Standardausrüstung in beliebigen Serienfahrzeugen einsetzbar ist.

Bild 3:
INTECRIO-Blockdiagramm des Steuerungs-/Regelungssystems für die Einklemmsperre.

