

NAME _____

KLASSE _____

DATUM _____

WAHLPHASE · DER FOLGEAUFTRAG

Wahlstory C · H-Brücke und Tiefsetzsteller · Ein Steller, zwei Anwendungen

Wahlstory C

🕒 36 h

freie Wahl

Sprint 6 und 7

EUER LERNPRODUKT

Tiefsetzsteller und H-Brücke für zwei Anwendungen

Darauf läuft dieser Folgeauftrag zu. Anders als in den Teilen 1 bis 5 gibt es hier keine vorgegebenen Aufgaben: Ihr schneidet die Arbeitsschritte selbst, der Weg dorthin gehört zum Lernprodukt.

Es besteht aus

- die Gegenüberstellung beider Anwendungen mit der bestimmenden Anforderung
- den gemessenen Zusammenhang zwischen Tastgrad und Mittelwert, mit der Erklärung des Unterschieds zum Effektivwert
- die mit einer Rechnung begründete Schaltfrequenz
- Drossel und Ausgangskondensator, berechnet, mit der Lückgrenze als Laststrom
- die Simulation von Drosselstrom, Spannung am Schaltknoten und Richtungswechsel
- die H-Brücke mit Treiber und Bootstrap, Totzeit aus den Schaltzeiten abgeleitet

Zur Dokumentation

Die Totzeit ist die Stelle, an der ein Fehler teuer wird. Sie gehört mit Rechenweg und Datenblattbezug dokumentiert, nicht als Zahl.

Abgenommen wird es auf der Entwicklerrunde durch die anderen Teams und danach von der Projektleitung abgezeichnet. Meilenstein M6.

In Teil 4 hat der MOSFET eine Last ein- und ausgeschaltet. Jetzt soll er stellen: einen Motor in beiden Drehrichtungen, stufenlos, und mit derselben Leistungsstufe eine Leuchte dimmen.

Schritt 2 von 3. Dein Team bearbeitet diesen Folgeauftrag eigenständig, vom Lastenheft bis zur Übergabe.

Danach: Die Entwicklerrunde

Der wichtigste Satz auf dieser Seite: Ein Steller ist ein Schalter, der sehr oft schaltet. Wer ihn beherrschen will, muss wissen, wohin der Strom in jeder Phase fließt, auch in der Zeit, in der gerade kein Transistor leitet.

Darum geht es

Als Entwicklungsteam möchten wir den Vorschubantrieb der Presse in beiden Drehrichtungen stufenlos stellen und mit derselben Leistungsstufe eine Beleuchtung dimmen können, damit der Betrieb eine Baugruppe für zwei Aufgaben hat und der ESP32 sie ansteuert.

Am Prüfstand steht ein Gleichstrommotor 12 V mit Schwungmasse für den Vorschubantrieb, eine LED-Leuchte 12 V für den Dimmversuch. Die Kompetenz dahinter: elektronische Baugruppen entwerfen und dabei die einschlägigen Normen und Vorschriften beachten.

Das brauchst du dafür

- Steuerteil auf dem Steckbrett, den Leistungspfad direkt verdrahtet
- Gleichstrommotor 12 V mit Schwungmasse, LED-Leuchte 12 V für den Dimmversuch, Labornetzgerät $\frac{12\text{ V}}{3\text{ A}}$ mit Strombegrenzung
- Dein fertiges MSM-1 aus der Pflichtphase
- Die Datenblätter IRLZ44N, IR2104, Schottky-Freilaufdioden und Shunt, dazu Speicherdrosseln, Elektrolyt- und Folienkondensatoren
- Zweikanal-Oszilloskop, Drehzahlmessung über eine Reflexlichtschranke am ESP32
- Simulationssoftware und die Wissensspeicher-Vorlage

Dein Weg, Schritt für Schritt

1. Anforderungen trennen

Stelle die Anforderungen beider Anwendungen gegenüber: der Motor als induktive Last mit Gegenspannung und Reversierbetrieb, die LED-Leuchte mit ganz anderem Verhalten. Lege fest, welche Anforderung die Baugruppe bestimmt.

2. Pulsweitenmodulation verstehen

Erzeuge mit dem ESP32 eine Pulsweitenmodulation und miss den arithmetischen Mittelwert an einer ohmschen Last. Weise den Zusammenhang zwischen Tastgrad und Mittelwert messtechnisch nach und erkläre, warum der Effektivwert einer anderen Formel folgt.

3. Schaltfrequenz wählen

Bestimme die Schaltfrequenz aus Motorinduktivität, zulässigem Stromrippel, Hörbarkeit und Schaltverlusten. Begründe deine Wahl mit einer Rechnung, nicht mit einem Erfahrungswert.

4. Tiefsetzsteller dimensionieren

Berechne Speicherdrossel und Ausgangskondensator. Bestimme die Grenze zwischen lückendem und nichtlückendem Betrieb und rechne aus, ab welchem Laststrom der Steller lückt.

5. Simulieren

Simuliere Tiefsetzsteller und H-Brücke. Prüfe den Stromverlauf in der Drossel, den Spannungsverlauf am Schaltknoten und das Verhalten beim Richtungswechsel.

6. H-Brücke entwerfen

Entwirf die H-Brücke mit High-Side-Treiber und Bootstrap-Versorgung. Bestimme die erforderliche Totzeit aus den Schaltzeiten der MOSFETs und erkläre, was ohne sie passiert. Prüf im Datenblatt des Treibers, ob und wie er selbst eine Totzeit einfügt, und ob sie reicht.

7. Aufbauen

Baue die Leistungsstufe auf: kurze Kommutierungsschleifen, getrennte Leistungs- und Signalmasse, Entkopplung des Treibers. Der Laststrom läuft nicht über die Steckbrettschienen. Dokumentiere deine Leitungsführung.

8. Motor stellen

Nimm die Kennlinie Drehzahl über Tastgrad auf, im Leerlauf und unter Last. Miss Ankerstrom und Mittelwert der Ankerspannung. Erkläre die Abweichung von der idealen Geraden.

9. Vier Quadranten zeigen

Betriebe den Motor in beiden Drehrichtungen und bremse ihn generatorisch ab. Zeichne Strom und Spannung während des Bremsens auf und zeige, wohin die Energie fließt.

10. Strom begrenzen

Ergänze eine Strommessung über Shunt und eine Abschaltung bei Überstrom. Prüfe sie im blockierten Zustand des Motors und miss die Zeit bis zur Abschaltung.

11. Beleuchtung dimmen

Betriebe die LED-Leuchte am selben Steller. Bestimme den Zusammenhang zwischen Tastgrad und wahrgenommener Helligkeit und prüfe mit dem Oszilloskop auf Flimmern. Wähle eine geeignete Frequenz.

12. Wirkungsgrad und Störung

Miss den Wirkungsgrad bei drei Arbeitspunkten. Miss die Störspannung auf der Versorgungsleitung und die Rückwirkung auf den Kraftkanal des MSM-1. Ergänze Filtermaßnahmen und miss erneut.

13. Übergeben

Erstelle Schaltplan, Stückliste, Kennlinienfelder, Messprotokolle und eine Inbetriebnahmeanleitung mit Sicherheitshinweisen. Bereite den Messestand vor.

Zu keinem Schritt gibt es ein Lernangebot oder eine Musterlösung. Jeder Schritt wird im Messprotokoll und in der Projektakte dokumentiert und in der Abnahme geprüft.

Für Teams, die früher fertig sind

Nutzbremsung. Weise messtechnisch nach, dass beim generatorischen Bremsen Energie in die Quelle zurückfließt. Rechne aus, wie viel Energie ein Bremsvorgang mit deiner Schwungmasse liefert, und was mit ihr passiert, wenn die Quelle sie nicht aufnehmen kann.

Fertig bist du, wenn ...

Die Story gilt erst als fertig, wenn der Auftraggeber alle Punkte abnimmt:

- Die Anforderungen beider Anwendungen sind gegenübergestellt; die bestimmende Anforderung ist benannt.
- Der Zusammenhang zwischen Tastgrad und Mittelwert ist gemessen; der Unterschied zum Effektivwert ist erklärt.
- Die Schaltfrequenz ist mit einer Rechnung begründet, nicht geschätzt.
- Drossel und Ausgangskondensator sind berechnet; die Lückgrenze ist als Laststrom angegeben.
- Die Simulation zeigt Drosselstrom, Spannung am Schaltknoten und Richtungswechsel.
- Die H-Brücke ist mit Treiber und Bootstrap entworfen; die Totzeit ist aus den Schaltzeiten abgeleitet und gegen den Treiber geprüft.
- Die Baugruppe ist aufgebaut; die Leitungsführung ist dokumentiert und begründet.
- Die Kennlinie Drehzahl über Tastgrad liegt für Leerlauf und Last vor; die Abweichung von der idealen Geraden ist physikalisch erklärt.
- Der Vier-Quadranten-Betrieb ist mit Oszillogrammen belegt.
- Die Strombegrenzung ist aufgebaut, im Blockierfall geprüft und die Abschaltzeit gemessen.
- Der Dimmbetrieb ist untersucht; die gewählte Frequenz ist gegen Flimmern begründet.
- Wirkungsgrad und Störrückwirkung sind vor und nach den Filtermaßnahmen gemessen.
- Schaltplan, Stückliste, Messprotokolle und Inbetriebnahmeanleitung mit Sicherheitshinweisen sind übergeben.
- Das Wissensspeicher-Blatt ist vollständig, die drei Prüffragen für die Entwicklerrunde liegen vor.

Das kommt in deinen Wissensspeicher

Ein Blatt „Steller und H-Brücke“: Schaltbild des Tiefsetzstellers mit den Strompfaden in beiden Phasen, Formeln für Tastgrad, Mittelwert, Effektivwert und Drossel, Schaltbild der H-Brücke mit den vier Betriebsquadranten, ein Merksatz zur Totzeit und ein Rechenschema für Schalt- und Durchlassverluste.

Zusätzlich: drei Prüffragen für die Entwicklerrunde, eine Wissensfrage, eine Rechenfrage und eine Begründungsfrage.

Hier tappen die meisten rein

- Mittelwert und Effektivwert werden gleichgesetzt. Kläre für jede Größe, die du auslegst, welcher der beiden Werte für sie zählt.
- Die Freilaufdiode fehlt oder ist zu langsam. Eine Standarddiode mit langer Sperrverzugszeit erzeugt in jedem Schaltzyklus eine Verlustspitze.
- Die Totzeit wird nach Gefühl gewählt oder ungeprüft dem Treiber überlassen. Rechne sie nach, bevor du die Brücke zum ersten Mal an Spannung legst; ein Fehler an dieser Stelle ist oft nur einmal zu hören.
- Der High-Side-MOSFET wird ohne Bootstrap oder Ladungspumpe angesteuert und öffnet nie ganz.
- Leistungs- und Signalmasse werden am falschen Punkt verbunden. Der Steller stört dann seine eigene Strommessung.
- Beim Bremsen steigt die Spannung am Kondensator der Versorgung, weil das Labornetzgerät keine Energie aufnimmt. Ohne Bremswiderstand ist das das Ende der Kondensatoren, und mancher Netzgeräte-Endstufe.

Für Lehrkräfte: Die staatlich geprüften Technikerinnen und Techniker entwerfen elektronische Schaltungen, Baugruppen und Geräte und beachten bei der Schaltungssynthese gängige Normen und Vorschriften. · Sprint 6 und 7 · 36 h · freie Wahl. Der IR2104 fügt eine feste Totzeit ein und braucht mindestens 10 V Versorgung; mit 12 V passt das. Bootstrap-Treiber halten die High-Side nicht dauerhaft eingeschaltet, der Tastgrad bleibt unter 100 %. Für den Dimmversuch eine LED-Leuchte ohne eingebauten Konstantstromtreiber verwenden (LED-Streifen mit Vorwiderständen), sonst ist die Pulsweitenmodulation nicht auswertbar. Strombegrenzung des Labornetzgeräts vor dem Blockierversuch einstellen.

Dein Wissensspeicher-Blatt zu Wahlstory C

Hier wird ausgefüllt, am Ende der Story. Es ist dein sechstes Blatt, gleiches Raster wie in Teil 1 bis 5. Speichern und drucken kannst du es unten.

Worum geht es

Zwei bis drei Sätze in eigenen Worten. Kein Lehrbuchtext: wer das Feld abschreibt, hat es nicht verstanden.

Schaltbild

Beschreibe das Schaltbild mit allen Bauteilbezeichnungen und Zählpfeilen. Gezeichnet wird auf dem Ausdruck oder auf Papier; das Bild muss ohne den Text lesbar sein.

Formeln

Alle Formeln des Teils mit Größensymbolen und Einheiten. Zu jeder Formel eine Zeile, wann sie gilt und wann nicht.

Rechenschema

Ein durchgerechnetes Zahlenbeispiel aus deinem eigenen Sprint, Schritt für Schritt, mit Zwischenergebnissen und Einheiten.

Aus der Messung gelernt

Deine aussagekräftigste Messkurve oder dein Oszillogramm, mit einer Bildunterschrift, die die Aussage benennt.

Merksatz und Stolperfalle

Ein Satz, den du dir merken willst. Und der Fehler, den du selbst gemacht hast, mit dem, was du daraus gelernt hast.

Abnahme durch das andere Team

Vor der Abnahme durch den Auftraggeber prüft ein Team aus einer anderen Wahlstory eure Ergebnisse, genau gegen diese Punkte. Geht das nicht auf, prüft ein anderes Team derselben Story. Es kennt euren Auftrag nicht aus eigener Arbeit und muss sich deshalb alles zeigen lassen: den Rechenweg, das Messprotokoll, die Begründung. Mindestens zwei Ergebnisse rechnet es selbst nach. **Ein Zurück ohne Begründung zählt nicht.**

Kriterium	abgenommen	zurück, weil
Die Anforderungen beider Anwendungen sind gegenübergestellt; die bestimmende Anforderung ist benannt.		
Der Zusammenhang zwischen Tastgrad und Mittelwert ist gemessen; der Unterschied zum Effektivwert ist erklärt.		
Die Schaltfrequenz ist mit einer Rechnung begründet, nicht geschätzt.		
Drossel und Ausgangskondensator sind berechnet; die Lückgrenze ist als Laststrom angegeben.		
Die Simulation zeigt Drosselstrom, Spannung am Schaltknoten und Richtungswechsel.		
Die H-Brücke ist mit Treiber und Bootstrap entworfen; die Totzeit ist aus den Schaltzeiten abgeleitet und gegen den Treiber geprüft.		
Die Baugruppe ist aufgebaut; die Leitungsführung ist dokumentiert und begründet.		
Die Kennlinie Drehzahl über Tastgrad liegt für Leerlauf und Last vor; die Abweichung von der idealen Geraden ist physikalisch erklärt.		
Der Vier-Quadranten-Betrieb ist mit Oszillogrammen belegt.		
Die Strombegrenzung ist aufgebaut, im Blockierfall geprüft und die Abschaltzeit gemessen.		
Der Dimmbetrieb ist untersucht; die gewählte Frequenz ist gegen Flimmern begründet.		
Wirkungsgrad und Störrückwirkung sind vor und nach den Filtermaßnahmen gemessen.		
Schaltplan, Stückliste, Messprotokolle und Inbetriebnahmeanleitung mit Sicherheitshinweisen sind übergeben.		
Das Wissensspeicher-Blatt ist vollständig, die drei Prüffragen für die Entwicklermesse liegen vor.		