Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des

Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises

électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein; Verband Schweizerischer

Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 16

Artikel: Neuentwicklungen der Ingenieurschule Biel

Autor: Jeanneret, René

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903902

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Neuentwicklungen der Ingenieurschule Biel

1. Einleitung

R. Jeanneret

Die Ingenieurschule Biel befasst sich bereits seit etwa 15 Jahren mit Antrieben für elektrische Strassenfahrzeuge und hat sich dabei insbesondere auf die Transistortechnik spezialisiert. Das im Rahmen der Aktion COST 302 einmal mit einem Gleichstromund einmal mit einem Wechselstromantrieb ausgerüstete Versuchsfahrzeug erlaubt einen direkten Vergleich dieser beiden Antriebsvarianten.

Voici près de 15 ans déjà que l'Ecole d'ingénieurs de Bienne s'occupe des entraînements de véhicules électriques routiers, en se spécialisant plus particulièrement dans la technique des transistors. Le véhicule d'essai qui, dans le cadre de l'opération Cost 302, a été équipé d'un entraînement à courant continu puis d'un entraînement à courant alternatif, permet de faire directement la comparaison de ces deux variantes.

Die Ingenieurschule Biel befasst sich seit etwa 15 Jahren mit dem Antrieb elektrischer Strassenfahrzeuge. Im Rahmen dieser Tätigkeit wurde die Antriebselektronik mit Rekuperation für verschiedene Gleichstrommotoren realisiert und in verschiedenen Fahrzeugen getestet, und zwar mit Serienmotor, Compound-Motor und fremderregtem Motor.

Es zeigte sich im Laufe dieser Zeit, dass es möglich ist, dank der bedeutenden Entwicklung auf dem Sektor der Leistungshalbleiter, im speziellen in der Bipolartransistortechnik, schnelle Leistungsschalter zu günstigen Kosten zu bauen. Aus diesem Grund wird heute schon eine Lösung mit dem Asynchronmotor und dem Wechselrichter als Antriebseinheit wirtschaftlich. Die Ingenieurschule Biel erhielt von der COST 302 (Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen und technischen Forschung) den Auftrag, einen Wechselrichter für einen PTT-Fourgon (Chassis und Karosserie Mercedes 310) und einen solchen für das Kleinelektrofahrzeug Mobilec zu realisieren. Nachfolgend wird auf diese Entwicklungen näher eingegangen.

2. Experimentelles Nutzfahrzeug «Fourgon PTT»

Die PTT benützt für die Paketverteilung unter anderem einen Fourgon des Typs Mercedes 310. Solche Fahrzeuge sind im Rahmen eines deutschen Forschungsauftrages auch schon mit Elektroantrieb versehen worden. Die von der Deutschen Bundespost gestellten Bedingungen waren so streng, dass der vernünftige Einsatz eines solchen Fahrzeuges praktisch verunmöglicht wurde. Die Bedingungen, die die PTT an das für sie konzipierte Fahrzeug stellte, sind weniger streng; dennoch können ungefähr 90% der für die Paketzustellung bedingten Strecken bewältigt werden.

Die Arbeitsgruppe COST 302 hat beschlossen, nachdem sie sich über die in deutschen Fahrzeugen verwendete Antriebstechnik ins Bild gesetzt hatte, zwei mit der neuesten Technik ausgerüstete Antriebsketten bauen zu lassen, um damit ein Versuchsfahrzeug auszurüsten.

Die von der PTT geforderte Nutzlast von 1000 kg konnte beim gebauten Fahrzeug eingehalten werden, nicht aber das maximale Gewicht von 3500 kg, eine Bedingung, die durch den Führerausweis der Kategorie B gegeben ist. In Tabelle l sind die genauen Daten des Fahrzeuges aufgeführt.

Für die Realisierung des Fahrzeuges, welches den Anforderungen der PTT-Betriebe entspricht, wurde ein Chassis des Mercedes 310 gewählt, wobei verschiedene Anpassungen auf die PTT-Norm vorgenommen werden mussten. Alle für ein Elektrofahrzeug notwendigen elektronischen Wandler und Antriebsaggregate sowie die mechanischen Elemente, wie Batterie-

Referat, gehalten anlässlich des ASVER/ ACS-Symposiums «Elektromobile im Aufschwung» am 15. Juni in Interlaken.

Adresse des Autors

Professor *René Jeanneret*, Ingenieurschule Biel, Rue de la Source 21, 2500 Biel

Gesamtgewicht (technisch möglich)
Zulässiges Gesamtgewicht
Nutzlast (technisch möglich)
Leergewicht mit Batterie
Dimensionen (Breite × Länge × Höhe)
Spitzenleistung
Batteriegewicht
Energie der Batterie bei 5stündiger Entladung
Aktionsstrecke bei 50 km/Std.
Maximal-Geschwindigkeit
5-Gang-Synchrongetriebe

4000 kg 3500 kg (1100 kg) 600 kg 2900 kg (1975×4755×2495) mm 30 kW 880 kg 28,8 kWh etwa 60 km 80 km/h

Tabelle I Technische Daten des Mercedes-Benz Fourgon 310

Projektleiter

Einbau und mechanische Anpassung sämtlicher mechanischen und elektrischen Teile

Kastenwagen

PTT-konforme Lade- und Kabinenanpassung

Gleichstrommotor Asynchronmotor

Antriebselektronik für die Gleichstromund die Asynchronmotorvariante

Batterie für Laborversuche der Antriebe DC/DC Wandler (Ersatz des Dynamo)

Batterie

Batterie-Ladegerät

Versuchstest im normalen PTT-Betrieb

Prof. R. Jeanneret

Nencki AG Langenthal Mercedes-Benz Hess AG Bellach Gehrig + Co. AG Ballwil EPF-Lausanne Prof. M. Jufer Ecole d'ingénieurs Bienne Prof. R. Jeanneret Accu-Oerlikon Zürich E. Schüepp Bern/Zürich Leclanché SA Yverdon Vessa SA Clarens PTT Bern, U. Bretscher daher kein Unterhalt und keine Kommutierungsprobleme bei hohen Drehzahlen) aus preislichen Gründen nicht verwendet. Dank dem grossen Fortschritt in der Technologie der Darlington-Leistungstransistoren ist es heute möglich, auch kostengünstige dreiphasige Wechselrichter zu bauen. Wegen der Verwendung der gleichen elektronischen Leistungsschalter in beiden Antrieben wurde ein Preisvergleich der getroffenen Lösungen erleichtert. Die Antriebskette mit dem Asynchronmotor ist 6% billiger als die gleichwer-

trog, mussten neu entwickelt und konstruiert werden. An diesen Arbeiten haben sich folgende Partner beteiligt:

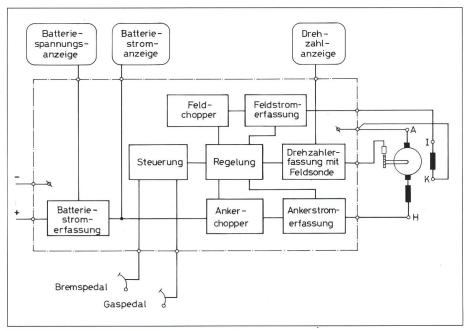
Unter den neuesten Antriebsketten sind der Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit Transistor-Chopper und der Asynchronmotor mit transistorisiertem Wechselrichter zu verstehen. Diese beiden Antriebsketten werden wie folgt beschrieben:

3. Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit Antriebselektronik

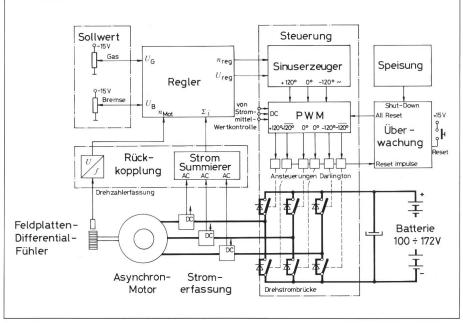
Ein möglichst kleines Gewicht der gesamten Antriebskette war das bei der Realisierung angestrebte Ziel. Dies bedingte eine gute Ausnützung des verfügbaren Batterievolumens, einen möglichst hochtourigen Antriebsmotor, damit er leichter wird, und einen mit hoher Frequenz (20 kHZ) arbeitenden Anker-Chopper zur Vermeidung einer teuren und schweren Glättungsdrossel. Der grösste Fortschritt konnte bei der Antriebselektronik dank dem Einsatz von modernen Darlington-Leistungstransistoren erzielt werden. Das Gewicht der deutschen Antriebselektronik beträgt inklusive Drossel 87 kg, während die schweizerische Antriebselektronik nur 15 kg wiegt. Die Drossel entfällt, weil die Eigeninduktivität des Motors bei der gewählten Arbeitsfrequenz des Choppers genügt (Fig. 1).

4. Asynchronmotor mit Antriebselektronik

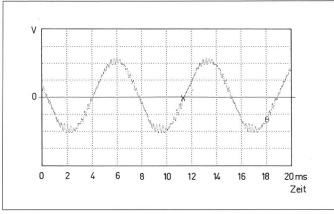
Die Antriebskette mit dem Asynchronmotor (Fig. 2) wurde bis heute trotz bedeutender Vorteile gegenüber der Antriebskette mit Gleichstrommotor (kein Kollektor und keine Bürsten,



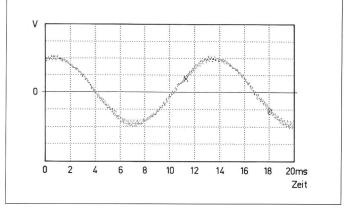
Figur 1 Prinzipschema der Antriebselektronik für die Variante Gleichstrommotor



Figur 2 Prinzipschema der Antriebselektronik für die Variante Wechselstromantrieb



Figur 3 Spannungsverlauf der elektronischen Steuerung bei Vollast



Figur 4 Spannungsverlauf der elektronischen Steuerung bei Teillast

$$U_{\rm B} = 123 \, {\rm V}$$
 $I_{\rm ph} = 293 \, {\rm A}$ $M_{\rm d} = 10.5 \, {\rm kpm}$ $n = 2641 \, {\rm U/min}$ $I_{\rm B} = 306 \, {\rm A}$ $P_{\rm ab} = 28.5 \, {\rm kW}$ $\eta = 0.76$

$$K_{\rm B}=138\,{\rm V}$$
 $I_{\rm ph}=168\,{\rm A}$ $M_{\rm d}=10.5\,{\rm kpm}$ $n=1478\,{\rm U/min}$ $I_{\rm B}=168\,{\rm A}$ $P_{\rm ab}=15.94\,{\rm kW}$ $\eta=0.68$

tige Antriebskette mit dem Gleichstrommotor.

Der Asynchronmotor hat keinen Kollektor und ist demzufolge viel einfacher herzustellen, weshalb er 3,7mal billiger als der Gleichstrommotor ist, wogegen die Antriebselektronik des Asynchronmotors wegen des grösseren Aufwandes etwa 75% teurer ist als die der Gleichstromvarianten. Zukünftige Transistorleistungsschalter werden immer mehr zu Einheiten integriert werden, wodurch die Kosten des Wechselrichters sinken, während die Kosten der Herstellung der Motoren unverändert bleiben.

Der Asynchronantrieb ist heute schon wirtschaftlicher als der Gleichstromantrieb, und er wird es in Zukunft noch in vermehrtem Masse werden. Da beim Elektrofahrzeug der Wirkungsgrad eine entscheidende Rolle spielt, wurde darauf geachtet, dass der Wechselrichter möglichst wenig Verluste hat und trotzdem einen sinusförmigen Strom abgeben kann, so dass praktisch keine zusätzlichen Eisenverluste im Motor entstehen können (Fig. 3 und 4). Der im Labor gemessene Wirkungsgrad ab Batterie bis zur Ausgangswelle des Motors beträgt bei Nennlast etwa 80%.

5. Preisvergleich für Gleichstrom- und Wechselstromantrieb

Im Rahmen der COST 302 wurde für drei verschiedene Fahrzeugtypen ein Preisvergleich für einen Antrieb mit Gleich- und mit Wechselstrommotor berechnet. Bei der ersten Variante (Berline) handelt es sich um einen Personenwagen, bei der zweiten (Fourgonnette) um den PTT-Transporter (Fig. 5), und die dritte Version (Camionnette) wäre ein Lastwagen. Die wichtigsten Rahmendaten dieser drei Fahr-

zeugtypen sind in Tabelle II zusammengestellt.

Sowohl beim Gleichstrom- (DC-) Antrieb wie auch beim Wechselstrom-(AC-)Antrieb wird von einer Rekupe-

Figur 5 Das COST-302-Versuchsfahrzeug im Einsatz bei den PTT



	Berline	Fourgonnette	Camionnette
Leergewicht (ohne Batterie) (kg)	800-900	>1000	>1500
Gespeicherte Energie in der Batterie (kWh)	>10	>15	>30
Ladegewicht oder Ladevolumen (kg)	350 4 Plätze >200 Liter	400-500 2 Plätze >2m ³	>1000 3 Plätze >7m ³
Verbrauch DC 80+80*P(Wh/km)	< 190	<210	<400
AC 150+100*P(Wh/km)	< 300	<350	< 600
max. Geschwindigkeit (km/h)	10-90	10-90	60-80
Beschleunigung von 0 bis 50 km/h (sec)	<12	<15	<18
Antriebsleistung Nennleistung (kW) Dauerleistung (kW) Ladegerät (kW) Wahrscheinliche Batterienennspannung (V)	>10 20-25 2-3 96	>15 >30 3-4 96-144	>40 >60 5-6 144-216

Tabelle II Technische Fahrzeugdaten, die dem Preisvergleich zugrunde gelegt wurden.

ration bis zum Stillstand ausgegangen. Die Preise der Elektronik stammen von der Firma Gehrig in Ballwil. Diese Firma hat im Bau solcher Elektrofahrzeugmotoren grosse Erfahrung, hat sie doch auch den Motor für den PTT-Fourgon der Aktion COST 302 gebaut.

Die Berechnung der Kosten der Elektronik basiert auf folgendem Berechnungsschema für die Preiskalkulation einer Firma, welche Transistorund Thyristorantriebe herstellt:

Materialkosten	57%
Lohnkosten	33%
Bestellungskosten, Warenein-	
gangskontrolle, Lagerkosten	10%
Herstellungskosten	100%

Diese Herstellungkosten werden noch durch den OEM-Faktor erhöht, der für Serien von 100 Stück etwa 1,44 beträgt und auch die Entwicklungskosten und den geringen Gewinn enthält. Die Warenumsatzsteuer wird in der Preiskalkulation nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse des Kostenvergleichs auf dieser Basis sind in den Tabellen IIIa bis IIIc zusammengestellt.

, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,				
	DC ·		AC	
Motor: Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	Fr.	5 350	Fr.	1 000
Elektronik: Materialkosten Leistungsteil:	E-	710	Fr.	1415
Leistungstransistoren, Kühlkörper, VentilatorenBasisansteuerungen	Fr. Fr.	719 105	Fr. Fr.	1415 460
- Hilfsspeisungen	Fr.	61	Fr.	133
Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen	Fr.	383	Fr.	380
Verschiedenes: - Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer	Fr.	532	Fr.	552
totale Materialkosten:	Fr.	1 800	Fr.	2 940
Herstellungskosten (Materialkosten/ 0,57)	Fr.	3 158	Fr.	5 158
Preis der Elektronik: (Herstellungskosten × 1,44)	Fr.	4 547	Fr.	7 427
Kosten für Motor und Elektronik:	Fr.	9 897	Fr.	8 427
Gewicht der Elektronik Wirkungsgrad der Elektronik		13 kg 0,98		22 kg 0,96

Tabelle IIIa Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Berline (für 100 Stück)

6. Versuchsergebnisse bei der PTT

Als Versuchsstrecke hat die PTT eine der anspruchsvollsten Paketzustellstrecken in Bern gewählt, mit Steigungen bis 14% und Gefälle bis 16%. Die Ergebnisse der beiden Varianten lassen sich wie folgt charakterisieren.

• Gleichstrommotor-Variante

Das Fahrzeug war während 46% der möglichen Betriebstage einsatzbereit. Da es sich hier um ein Versuchsfahrzeug handelt und aus zeitlichen Gründen vor dem Einsatz bei der PTT keine Versuche gemacht werden konnten, sind Pannen während der Versuchsphase aufgetreten. Diese teilten sich wie folgt auf:

- falsche Bedienung des Ladegleichrichters
- Pannen am Ladegleichrichter
- mechanische Panne beim Gaspedal
- Kabelbruch bei der Drehzahlmessung des Motors
- ein integrierter Kreis der Antriebselektronik defekt
- defekter Schutz des Hydraulikmotors
- defekter Hydraulikmotor

	DC		AC	
Motor: Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	Fr.	5 840	Fr.	1 600
Elektronik: Materialkosten Leistungsteil:		9		72 72
- Leistungstransistoren, Kühlkörper, Ventilatoren	Fr.	883	Fr.	1 930
- Basisansteuerungen	Fr.	105	Fr.	395
- Hilfsspeisungen	Fr.	61	Fr.	147
Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen	Fr.	383	Fr.	378
Verschiedenes: - Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer	Fr.	552	Fr.	570
totale Materialkosten:	Fr.	1 984	Fr.	3 420
Herstellungskosten				
(Materialkosten/ 0,57)	Fr.	3 480	Fr.	6 000
Preis der Elektronik: (Herstellungskosten × 1,44)	Fr.	5 012	Fr.	8 640
Kosten für Motor und Elektronik:	Fr.	10 852	Fr.	10 240
Gewicht der Elektronik Wirkungsgrad der Elektronik		15 kg 0,98		25 kg 0,96

Tabelle IIIb Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Fourgonnette (für 100 Stück)

Bei der neu entwickelten Antriebselektronik ist eine einzige Panne aufgetreten. Die anderen Pannen entstanden infolge fehlender Erfahrung. Die Auslegung des Fahrzeuges war in Ordnung und hat die betrieblichen Erwartungen voll erfüllt. Wirtschaftliche Aspekte wurden in dieser Versuchsphase nicht angestellt.

Asynchronmotorvariante

Diese Ergebnisse liegen noch nicht vor. Der Motor und die Antriebselektronik sind in das Fahrzeug eingebaut und werden demnächst den Versuchsbetrieb aufnehmen. Durch die Verbesserung der Schwachstellen der Gleichstromvariante und die Verwendung eines neuen Ladegleichrichters dürfte der grösste Teil möglicher Pannen behoben sein. Bedienungsfehler können infolge Änderungen in der Verdrahtung des Ladesystems ausgeschlossen werden.

	DC		AC	
Motor: Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	Fr.	8 220	Fr.	2 220
Elektronik: Materialkosten Leistungsteil:				
Leistungstransistoren, Kühlkörper, VentilatorenBasisansteuerungen	Fr.	1 075 120	Fr. Fr.	2 482 474
- Hilfsspeisungen	Fr.	85	Fr.	161
Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen Verschiedenes:	Fr.	383	Fr.	378
- Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer	Fr.	670	Fr.	620
totale Materialkosten:	Fr.	2 333	Fr.	4 115
Herstellungskosten (Materialkosten/0,57)	Fr.	4 093	Fr.	7 219.–
Preis der Elektronik: (Herstellungskosten × 1,44)	Fr.	5 894	Fr.	10 395
Kosten für Motor und Elektronik:	Fr.	14 114	Fr.	12 615
Gewicht der Elektronik Wirkungsgrad der Elektronik		20 kg 0,98		33 kg 0,96

Tabelle IIIc Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Camionnette (für 100 Stück)