TECHNISCHE BESCHREIBUNG
Ausgabe 1.01

FÜR

4-QUADRANTEN-SERVOVERSTÄRKER ALS

3HE - EUROPLATINE FÜR

GLEICHSTROM-MOTOREN BIS 3,4 kW

TYP

MTRS 170-xx

MATTKE AG
Leinenweberstraße 12
D-79108 Freiburg
Germany

Telefon: +49 (0)761- 15 23 4-0
Telefax: +49 (0)761- 15 23 4-56
E-Mail: info@mattke.de
http://www.mattke.de

Wichtige Hinweise

* Vor Inbetriebnahme des Geräts diese technische Beschreibung lesen und befolgen.

* Während des Betriebs und bis zu 1 Minute nach dem Ausschalten keine Bauteile des Geräts berühren - Lebensgefahr!

* Einbau, Anschluss und Inbetriebnahme nur durch einen Fachmann unter Einhaltung der gängigen Sicherheitsvorschriften vornehmen. Bei Falschanschluß besteht Brand- und Explosionsgefahr.

* Zugesicherte Eigenschaften und Funktionen des Geräts werden nur bei sachgemäßer Anwendung garantiert.

* Die Geräte sind ausschließlich als Zulieferteil für die Weiterverarbeitung durch Industrie, Handwerk oder sonstige auf dem Gebiet der Elektrotechnik fachkundige Betriebe bestimmt. Das EMV-Verhalten der Servoverstärker ist nur im Zusammenhang mit der gesamten Anlage zu beurteilen.

* Eingriffe und Abänderungen, die nicht ausdrücklich von uns vorgeschlagen oder genehmigt wurden, sowie ein nicht bestimmungsgemäßer Gebrauch führen zum Ausschluß jeder Gewährleistung und Haftung.

* Technische Änderungen, die Fortschritt und Weiterentwicklung dienen, bleiben vorbehalten.

* Alle Dokumente, Zeichnungen, Pläne, Layouts usw. unterliegen den urheberrechtlichen Bestimmungen. Jede Verwertung, Vervielfältigung, Weitergabe oder Umgestaltung ohne unsere Genehmigung ist untersagt.

INHALT

Seite

1. Technische Beschreibung 4

1.1 Typenübersicht 4
1.2 Technische Daten 4
1.3 Blockschaltbild 7
1.4 Funktionsbeschreibung 8
1.5 Frontansicht 12
1.6 Einstellmöglichkeiten, Meßpunkte, Anzeigen 13

2. Anschluss 14

2.1 Steckerbelegung 14
2.2 Funktionen der einzelnen Anschlüsse 15
2.3 Mindest-Lastinduktivität 18
2.4 Polung von Tacho und Motor 19
2.5 EMV-gerechte Leitungsführung 19
2.6 Entstörmaßnahmen 20
2.7 Eingangsprüfschaltung 21
2.8 Anschlußvorschlag 21

3. Inbetriebnahme 23

3.1 Einstellung von Impuls- und Effektivstromgrenzwerten 23
3.2 Tachoanpassung 24
3.3 Offsetabgleich 24
3.4 Gesamtverstärkung 24

4. Optimierung des Regelverhaltens mit dem Kundenprint 26

4.1 Lötbrücken 26
4.2 Tacho-Filter 26
4.3 Tacho-Normierung 26
4.4 Frequenzgang des Drehzahlreglers 28
4.5 Frequenzgang des Stromreglers 30
4.6 Gesamtgerät als Stromregler 33

5. Optionen 33

5.1 Ballastschaltung 33
5.2 Tachoüberwachung[1)] 35
5.3 Dynamische Bremse[1)] 35

6. Zeichnungen 37

6.1 Bestückungsplan, Oberseite 37
6.2 Bestückungsplan, Unterseite 38
6.3 Bestückungsplan, Ballastschaltung 39
6.4 Abmessungen 40

1. TECHNISCHE BESCHREIBUNG

1.1 Typenübersicht

Gerätebezeichnung	Nennstrom	Impulsstrom	Mindest-Lastinduktivität	Hauptsicherung	Belüftungsart
MTRS 170/3	3 A	6 A	7,5 mH	5 A	Konvektion
MTRS 170/6	6 A	12 A	3,8 mH	8 A	Konvektion
MTRS 170/12	12 A	24 A	1,9 mH	15 A	Konvektion
MTRS 170/20	20 A	40 A	0,9 mH	25 A	fremdbelüft.

1.2 Technische Daten

Das Gerät enthält serienmäßig ein Weitbereichs-Schaltnetzteil, mit dessen Hilfe aus der zugeführten Zwischenkreisgleichspannung die intern benötigten Hilfsspannungen (±15 V) erzeugt werden. Bei dieser Betriebsweise darf die Betriebsspannung bis auf 20 V DC abgesenkt werden. Bei Verzicht auf die interne Netzteilbaugruppe ist die Hilfsspannung extern zuzuführen; hierbei reicht die minimal notwendige Betriebsspannung für die Endstufe herab bis auf 0 V und anstelle des Hilfsnetzteils kann eine Hilfsschaltung zur Tachoüberwachung verwendet werden.

Anschlußspannung (Netzteil intern)	20...170 V DC
Anschlußspannung (Netzteil extern)	0...170 V DC
Überspannungsschaltschwelle	250 V DC
Stromversorgung, Standardausführung	nur Gleichstrom-Zwischenkreis
Hilfsstromversorgung (optional)	±15 V, +120/-90 mA
Impulsstromdauer	max. 3 Sekunden
Ausgangsstrom-Formfaktor	< 1,01
Grundfrequenz der PWM	9 kHz
Frequenz der Stromwelligkeit	18 kHz
Bandbreite der Stromregelung (45)	1 kHz
Sollwert-Differenz-Eingang	±10 V // 40 kOhm
Tacho-Spannungsbereich für Nenndrehzahl	1,7...85
entnehmbare Hilfsspannung (Netzteil intern)	±15 V, 20 mA
Belastbarkeit der Meldeausgänge	+13 V, 15 mA
Bauform	Europakarte 3HE, 160 mm, 14TE
Anschluss	Steckverbinder DIN 41612-F48
Einbaulage	hochkant (im 19“-Baugruppenträger)
max. Betriebsumgebungstemperatur	+45 C...+55 C (mit Derating)
Kühlung	natürliche Konvektion (bei 20 A Zwangsbelüftung)
Gewicht	975 Gramm

Optionen:

* Frontplatte
* Ballastschaltung
* Tachoüberwachung
* Dynamische Bremse
* Stromregelung

Eingänge:

Drehzahlsollwert ±10 V und Stromgrenzwert 0...10 V über Differenzverstärker mit gemeinsamem Bezugspegel; Tachoeingang; Endstufenfreigabe +15...+24 V, Zwischenkreisanschluß, Hilfsspannungsversorgung ±15 V (als Eingang, wenn kein internes Hilfsnetzteil enthalten, sonst als Ausgang für Sollwert und Freigabe-Befehl).

Ausgänge:

Betriebsbereitschaft, dynamische Bremse, I^2t-Meldung, Impulsstromgrenzwert; jeweils über Open-Collector-Ausgang (PNP, high-active = +13,5 V); Hilfsspannungsausgang ±15 V, 20 mA; Motoranschluß.

Interne Überwachungen:

Überstrom, Überspannung, Unterspannung bei ±15 V, Kühlkörpertemperatur, Effektivstrom, Impulsstrom, extern vorgegebener Stromgrenzwert (auf Wunsch richtungsabhängig), Mindest-Einschaltverzögerung für dynamische Bremse (abschaltbar).

Einstellmöglichkeiten:

Alle wichtigen Funktionen sind über 19mm-Spindelpotentiometer, zugänglich durch die Frontplatte, einstellbar. Das Potentiometer für den Strom-Offset (P202) ist nur intern zugänglich.

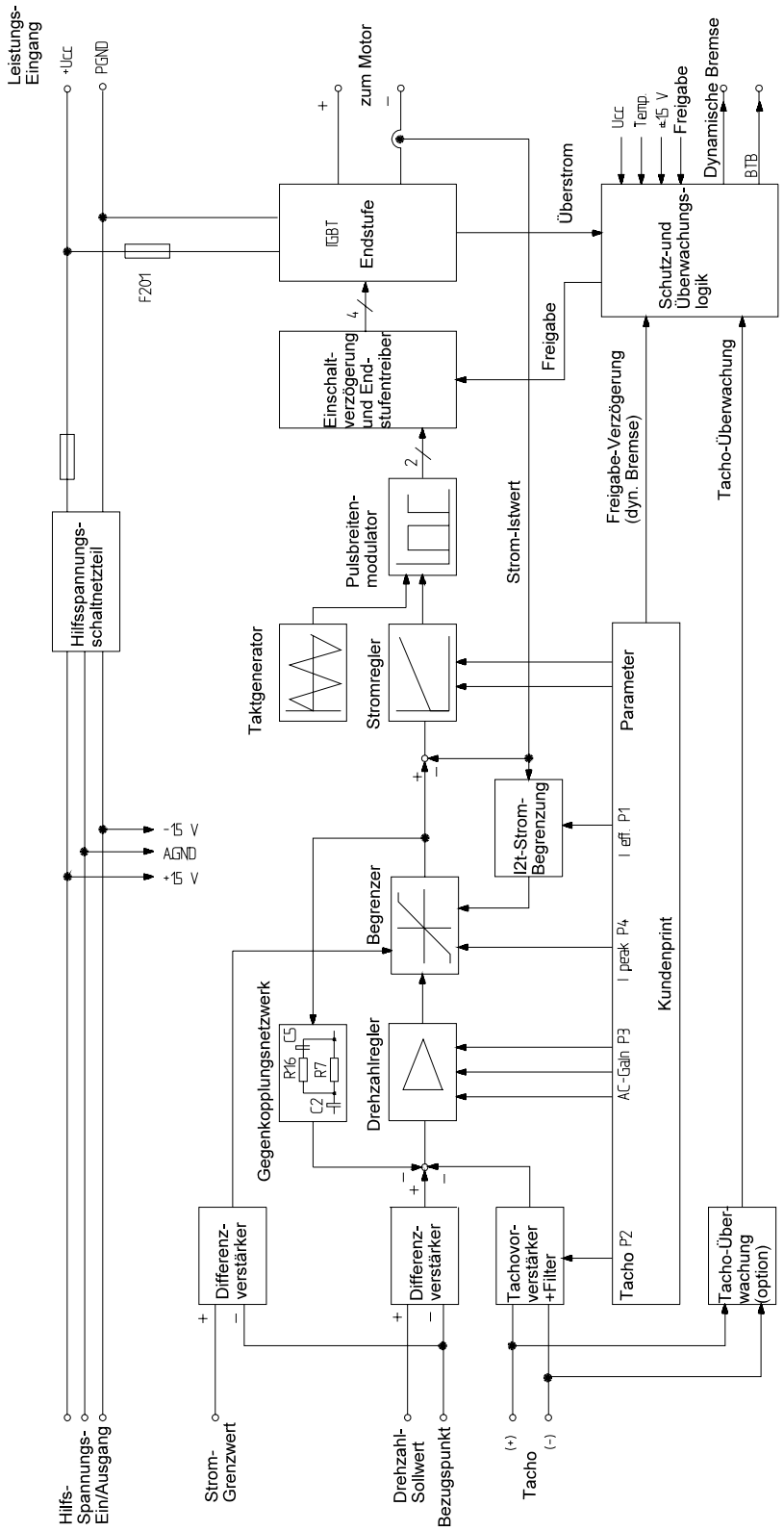
P1	Effektivstrom
P2	Tacho
P3	Verstärkung des Drehzahlreglers
P4	Impulsstrom
P201	Drehzahlregler-Offset
P202	Stromregler-Offset

Kundenprint:
Beim Kundenprint handelt es sich um eine Steckplatine, die alle anwendungsabhängigen Bauteile und Einstellungen enthält, z.B. die Potentiometer P1...P4, sowie frequenzgang-bestimmende Bauteile für Drehzahl- und Stromreglung, weiterhin Tachofilter, Bauteile für Stromgrenzwerte und Lötbrücken. In einem Servicefall (Austausch des Reglers) kann der alte Kundenprint auf den neuen Regler aufgesteckt werden, wodurch alle Einstellungen unverändert übernommen werden. Dies erspart aufwendige und zeitintensive Neujustage. Der Drehzahloffset (Potentiometer P201) ist nicht Bestandteil des Kundenprints, da dieser aufgrund von Parameterstreungen an den Operationsverstärkern im Grundgerät entsteht. Drehzahl- und Stromoffsets werden bereits werksseitig bestmöglich eingestellt.
Bei der Ausführung „MTRS als Stromregler“ handelt es sich um ein normales Grundgerät, jedoch mit speziellem Kundenprint. Dieses ist so bestückt, dass der Drehzahlregler eine Verstärkung von 1 erhält und ein eventuelles Tachosignal unwirksam bleibt.

LED-Anzeigen:

rot:	Störung (Überstrom, Überspannung, Übertemperatur)
gelb:	I^2t-Strombegrenzung
grün:	Betriebsbereitschaft

1.3 Blockschaltbild



1.4 Funktionsbeschreibung

1.4.1 Stromversorgung

Aus dem typischen Mehrachskonzept ergibt sich die direkte Stromversorgung in den Gleichstrom-Zwischenkreis (Leistungs-Eingang; im Blockschaltbild rechts oben). Die Spannung wird über je eine Sicherung zur Endstufe und zum internen Hilfsspannungsschaltnetzteil geführt.

Letzteres ist als Sub-Print hochkant in der Platine des Grundgeräts eingelötet und wandelt die zugeführte Gleichspannung (erlaubter Bereich: 20...170 V DC, kurzzeitig bis 250 V DC) in zwei geregelte Spannungen von ±15 V um. Diese dienen zur Stromversorgung der übrigen Verstärker-Elektronik. Zusätzlich ist der ±15 V-Stromkreis zur Steckerleiste geführt. Hier können externe Hilfsschaltungen (z.B. zur Sollwerterzeugung) angeschlossen werden. Ein andere Möglichkeit besteht darin, das Hilfsnetzteil (optional) wegzulassen und auch die Hilfsversorgung zentral von außen vorzunehmen. Diese Variante ist allerdings erst bei einer höheren Anzahl von Achsen pro Anlage wirtschaftlich interessant.

Hingegen muß die Versorgung für ±15 V extern vorgenommen werden, falls die Option „Tachoüberwachung“ gewünscht wird. Dies ergibt sich daraus, dass diese Baugruppe anstelle des Netzteils im Grundgerät eingebaut wird.

1.4.2 Differenz-Vorverstärker

Drehzahl-Sollwert und Stromgrenzwert werden je einem Differenzverstärker zugeführt, wobei der Bezugspunkt gemeinsam ist. Der Bezugspunkt ist bis zum Nullpunkt der Steuerung zu führen. Diese Anordnung vermeidet Masseschleifen, die sich ansonsten infolge des allen Achsen gemeinsamen 0 V-Potentials (negativer Pol des Gleichstrom-Zwischenkreises) ergeben würden. Die Zuführung eines Stromgrenzwertes ist nur bei geschlossenen Lötbrücken LB1, LB2 (Kundenprint) notwendig.

1.4.3 Tacho-Vorverstärker

Die Spannung des im Motor befindlichen Gleichstrom-Tachogenerators wird einem gesonderten, besonders präzisen Vorverstärker zugeführt. Dieser verstärkt auch geringe Tachospannungen (ab 1,7 V für Nenndrehzahl) auf ein Niveau, das für die Drehzahlregelung brauchbar ist. Drift und Offsetspannung sind trotz der Vorverstärkung nicht höher als die übrigen Komponenten des Drehzahlregelkreises. Ein Filter dämpft etwaige Störspitzen, bzw. die evtl. von der Tachoüberwachung erzeugte Trägerschwingung. Filtercharakteristik und Vorverstärkung sind mittels einlötbarer Festkomponenten und Potentiometer auf dem Kundenprint einstellbar.

1.4.4 Drehzahlregler

Drehzahlsollwert und die normierte Tachospannung werden in richtiger Polung dem Eingang des Drehzahlreglers zugeführt. Dessen Charakteristik wird komplett durch Bauteile auf dem Kundenprint festgelegt. Das Verhalten ähnelt einem PI-Regler, jedoch ist zusätzlich eine Begrenzung der Verstärkung am unteren Ende des Frequenzbereichs („Gleichspannungsverstärkung“) möglich, sowie eine Absenkung der Verstärkung um einen festgelegten Faktor im Bereich um 1 kHz. Einzelheiten und Zweck dieser Eigenschaften werden in Abschnitt 4 dargelegt. Die Wechselspannungsverstärkung („AC-Gain“) kann Mithilfe eines Potentiometers justiert werden, was für die allermeisten Anwendungsfälle genügt (Regelzeitkonstante bleibt gleich).

1.4.5 Stromsollwert-Begrenzer

Die Stellgröße am Ausgang des Drehzahlreglers wird als Stromsollwert interpretiert. Hier ist also der richtige Punkt zum Eingriff für alle Arten von Strombegrenzungen. Mithilfe einer spannungsgesteuerten Begrenzungsschaltung kann der Stromsollwert symmetrisch oder unsymmetrisch bis herab zu Null reduziert werden. Der Spitzenstromgrenzwert für jede Richtung ergibt sich durch fest vorgegebene Z-Dioden auf dem Kundenprint.

Über 2 Lötbrücken auf dem Kundenprint (im Blockschaltbild nicht dargestellt) kann festgelegt werden, ob der Stromsollwert, nach Richtung getrennt, von extern vorgegebenen Stromgrenzwert begrenzt werden soll (je eine Lötbrücke für jede Stromrichtung). Nur bei geschlossener Lötbrücke gilt der externe Grenzwert, jedoch nur innerhalb der am Potentiometer Ipeak eingestellten Grenzen.

1.4.6 Stromistwertgewinnung

Der Strom in einer der Ausgangsleitungen wird mithilfe einer speziellen, floatenden Strommeßschaltung als Stromistwert abgebildet (im Blockschaltbild als Stromwandler dargestellt). Dieser wird gemeinsam mit dem Stromsollwert zum Eingang des Stromreglers geführt. Ebenso wie beim Drehzahlregler sind auch die Verstärkungsfaktoren des Stromreglers vom Kundenprint aus einstellbar. Die Charakteristik ist jedoch einfacher; die Zeitkonstante ist mit SMD-Bauteilen festgelegt (1ms), lediglich die Verstärkung (Standardwert Kp=3) kann bei Bedarf mithilfe eines bedrahteten Widerstandes verändert werden.

1.4.7 Effektivstrombegrenzung

Neben der Regelung wird der Stromistwert auch für die Effektivstrombegrenzung verwendet. Hierzu wird das Signal quadriert, d.h. die interne Übertragungskennlinie folgt einer Parabel. Das Ergebnis wird einem Tiefpaß (T=10s) zugeführt. Die Spannung hinter dem Tiefpaß ist ein Maß für den aktuellen Effektivstrom, bezogen auf eine Integrationszeitkonstante von 10s. Der Wert wird mit einem Grenzwert verglichen (Potentiometer P1 auf dem Kundenprint), bei Annäherung greift eine eigene Regelschleife ein, die über den Umweg eines beliebig weit herabsetzbaren Impulsstromgrenzwertes den Effektivwert begrenzt. Im Extremfall sind die Impulsstromgrenzwerte gleich dem eingestellten Effektivstromgrenzwert.

1.4.8 Pulsbreitenmodulation

Ein Dreieckspannungsgenerator mit 9 kHz erzeugt den Takt für den nachfolgenden Pulsbreitenmodulator. Gemäß der wegen geringerer Wärme- und Geräuschentwicklung bevorzugten symmetrischen Modulation erzeugt der Modulator für jeden Motoranschluß eine eigene phasengleiche, jedoch gegenläufig modulierte Steuerspannung.

1.4.9 Einschaltverzögerung, Treiber und Endstufe

Im Schaltungsblock „Einschaltverzögerung“ wird das Endstufen-Steuersignal so bearbeitet, dass trotz der unvermeidlichen Abschaltverzögerung in der Endstufe kein Überlappen der beiden jeweils in Reihe am Zwischenkreis liegenden Endstufenabschnitte auftreten kann. Durch die verwendete schnellschaltende IGBT-Endstufe und modernste Treiber liegt die zusätzlich einzuführende Einschaltverzögerung im Bereich weniger Mikrosekunden und hat daher keinen nennenswerten Einfluß auf die Regelung. Die Hilfsspannung für die positiven Endstufentreiber wird mithilfe einer Ladungspumpenschaltung aus der +15 V-Hilfsspannung erzeugt und erlaubt das zeitlich unbegrenzte Durchsteuern aller Quadranten.

1.4.10 Schutz- und Überwachungslogik

Eine spezielle Schutzlogik überwacht ständig alle wichtigen Betriebsparameter, insbesondere die Höhe von Zwischenkreisspannung, Stromaufnahme der Endstufe, Kühlkörpertemperatur, ±15 V-Versorgung und den Ausgang der Tachoüberwachungsschaltung (soweit vorhanden). Beim Über-/Unterschreiten kritischer Grenzen wird die Endstufe, unabhängig vom extern zugeführten Freigabesignal, abgeschaltet. Die BTB-Meldung („Betriebsbereit“) erscheint nur bei fehlerfreiem Gerät und unabhängig von der externen Freigabe.

1.4.11 Steuerausgang für dynamische Bremse

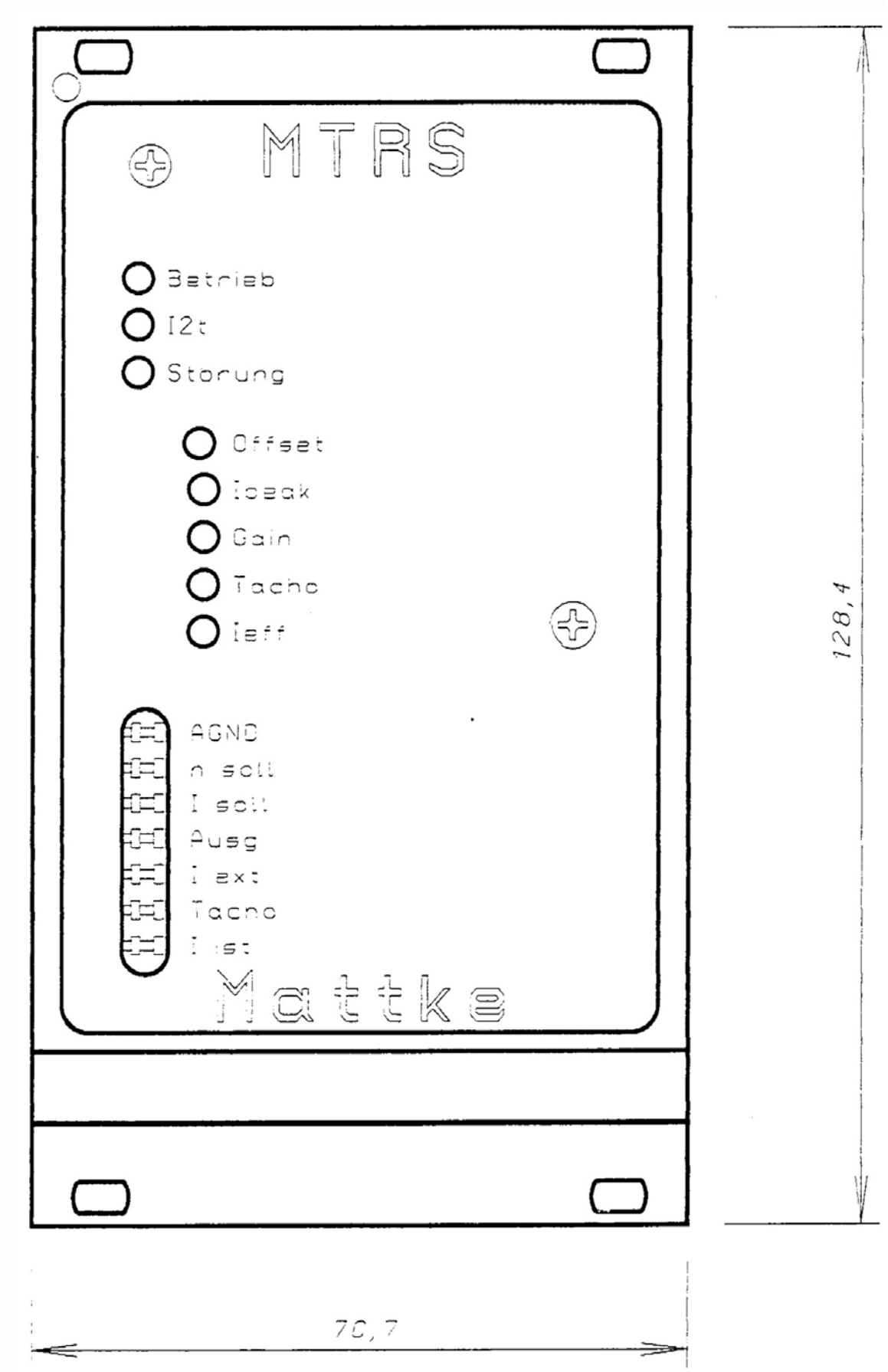
Ein gesonderter Ausgang ist für die Ansteuerung einer dynamischen Bremse vorgesehen. Diese Einrichtung enthält 2 antiparallel geschaltete Thyristoren in Reihe mit einem niederohmigen Leistungswiderstand. Im nicht angesteuerten Zustand steuern sich die Thyristoren bei Drehung des Motors über dessen EMK selbst auf und bewirken so eine Bremsung. Nur bei Betrieb des Verstärker (Endstufe aktiv) wird die dynamische Bremse angesteuert, so dass die Thyristoren nicht ansprechen. Somit ist Eigensicherheit (z.B. bei Stromausfall) gewährleistet. Wegen der Selbsthaltung der Thyristoren nach einmal erfolgter Zündung muß jedoch stets der Stillstand des Motors abgewartet werden bis der Verstärker wieder freigegeben werden darf; andernfalls würde die Endstufe in den Bremswiderstand arbeiten und diesen zerstören. Sofern auf dem Kundenprint die zugehörige Lötbrücke geschlossen wurde, erfüllt die im Gerät enthaltene Schutzlogik genau diese Funktion (Freigabe-Verzögerung). Bei offener Lötbrücke entfällt die für Anwendungen ohne dynamische Bremse meist recht lästige Verzögerung.

1.4.12 Tacho-Überwachung

Zum Zweck der Tachoüberwachung wird in das „heiße“ Ende der Tacholeitung ein Wechselstrom mit einer Frequenz oberhalb des Verstärker-Übertragungsbereichs eingespeist. Bei korrekt angeschlossenem Tacho (kein Masseschluß und keine Unterbrechung) kommt der größte Teil dieser Trägerschwingung am anderen Anschluss der Leitung an und kann zur Überwachung herangezogen werden.

Leider neigen manche Tachos beim Anliegen zusätzlicher Wechselspannung konstruktionsbedingt zur Bildung einer recht kräftigen und wenig stabilen Offsetspannung („Kupfer-Oxydul-Gleichrichter“, speziell nach längerer Standzeit auf der Oberfläche des Kommutators). Notwendigkeit und Störverhalten einer Tachoüberwachung sind daher sorgfältig zu prüfen.

1.5 Frontansicht



1.6 Einstellmöglichkeiten, Meßpunkte, Anzeigen

P1 (Kundenprint):	Effektivstrom-Grenzwert, Stellbereich 0...100% vom gerätespezifischen Nennstrom.
P2 (Kundenprint):	Tacho; Einstellung der Nenndrehzahl.
P3 (Kundenprint):	AC-Gain; Einstellung der Wechselspannungsverstärkung in der Drehzahlregelung.
P4 (Kundenprint):	Ipeak; Impulsstrom-Grenzwert, Stellbereich 10...100% des gerätespezifischen Impulsstroms.
P201 (Grundgerät):	Drehzahlregler-Offset; Stillstand der Welle bei Sollwert 0 V.
P202 (Grundgerät):	Stromregler-Offset; Ausgangsstrom Null bei Stromsollwert Null.
TP 1:	I-ist; Ankerstrom-Istwert; 10 V entspricht dem gerätespezi fischen Impulsstrom.
TP2:	Tacho; Tachospannung in der direkt vom Tachogenerator gelieferten Originalhöhe.
	TP3: I-eing; Impulsstromgrenzwert, wie er über den Differenzeingang eingegeben wird.
TP4:	Ua; Stellgröße am Stromregler-Ausgang, gleichbedeutend mit der mittleren Ausgangsspannung des Verstärkers.
TP5:	I-soll; Stellgröße am Drehzahlregler-Ausgang, nach Strom begrenzung.
TP6:	n-soll; Drehzahl-Sollwert, wie er über den Differenzeingang eingegeben wird.
TP7:	AGND; Bezugspotential für alle vorgenannten Testpunkte. Ein hieran angeschlossenes Oszilloskop muß erdfrei sein.
	H201 (rot): Störung; leuchtet bei Überspannung, Überstrom, Übertem peratur, Endstufenfehler und Tachofehler, Endstufe schaltet ab. Zurücksetzen in den betriebsbereiten Zustand erfolgt durch Aus- und Wiedereinschalten der Hilfsversorgung (±15 V). Bei Geräten mit internem Netzteil ist zum Zurücksetzen die Hauptversorgung abzuschalten bis die rote LED erloschen ist.
H202 (gelb):	I^2t-Meldung; leuchtet beim Ansprechen der Effektivstrom begrenzung auf, erlischt selbsttätig beim Nachlassen der Last.
H203 (grün):	Betriebsbereitschaft; leuchtet synchron zur auch über den Steckverbinder ausgegebenen BTB-Meldung (auch ohne externe Freigabe).

2. ANSCHLUSS

2.1 Steckerbelegung

Alle Geräte sind mit einer 48poligen Steckerleiste nach DIN 41612-F48 ausgerüstet. Bei entsprechenden Stückzahlen können die Geräte bis einschließlich 12 A mit den etwas preisgünstigeren, 32poligen Steckerleisten der Bauform D ausgeliefert werden; das Layout der Platine ist für beide Varianten geeignet. Je nach Steckertyp ergeben sich folgende Belegungen:

Funktion	D32	F48
Tacho (-)	2a	2z
AGND	---	2b
Tacho (+)	2c	2d
+15 V (Ein-/Ausgang)	4a	4z
AGND	---	4b
-15 V (Ein-/Ausgang)	4c	4d
AGND	6a	6z
AGND	---	6b
dyn. Bremse (Ausgang)	6c	6d
AGND	---	8b
BTB (Ausgang)	8c	8d
AGND	10a	10z
AGND	---	10b
Bezug n-Soll, I-Grenze	10c	10d
Stromgrenzwert (Eing.)	12a	12z
AGND	---	12b
Drehzahlsollwert (Eing.)	12c	12d
+15 V (Ausgang)	14a	14z
AGND	---	14b
FG (Freigabe-Eingang)	14c	14d
Ia-Monitor (Ausgang)	16a	16z
AGND	---	16b
I²t-Meldung (Ausgang)	16c	16d
Motor, negativ (Ausgang)	18a,c	18z,b,d
Motor, negativ (Ausgang)	20a,c	20z,b,d
Zwischenkreis (+Ucc, Eing.)	22a,c	22z.b.d
Zwischenkreis (+Ucc, Eing.)	24a,c	24z,b,d
Leistungsmasse (PGND, Eing.)	26a,c	26z.b.d
Leistungsmasse (PGND, Eing.)	28a,c	28z,b,d
Motor, positiv (Ausgang)	30a,c,	30z,b,d
Motor, positiv (Ausgang)	32a,c	32z,b,d

2.2 Funktion der einzelnen Anschlüsse

Tachoeingang (2d, 2z), [2a, 2c]

Eingang zum Anschluss eines Gleichspannungstachogenerators für die Drehzahlrückmeldung. Bei der gewünschten Nenndrehzahl muß die Tachospannung im Bereich von 1,7... 85V liegen.

Hilfsspannung ±15V (4z, 4b, 4d), [4a, 6a, 4c]

Über diese Anschlüsse sind die Hilfsstromkreise ±15V (Stromversorgung der Regelelektronik) nach außen geführt. Sofern innerhalb des Gerätes eine Netzteilbaugruppe enthalten ist, liegen hier nach dem Anlegen der Zwischenkreisspannung ±15V an; die Anschlüsse können dann zur Versorgung externer Hilfsschaltungen (z.B. Sollwertgeber) verwendet werden. Andernfalls sind hier ±15V von einem externen Netzteil einzuspeisen. Bezugspunkt ist jeweils AGND (Elektronik-0V). AGND ist innerhalb des Verstärkers galvanisch mit PGND (Leistungsmasse) verbunden.

Dynamische Bremse (6d), [6c]

Dieser Ausgang ist für die Ansteuerung der Optionskarte „Dynamische Bremse“ vorgesehen. Bei normalem Betrieb liegen hier +13V an, bei abgeschalteter Endstufe (wegen fehlender ext. Freigabe, internem Fehler oder abgeschalteter Stromversorgung ist der Ausgang hochohmig. Bei Verwendung einer dynamischen Bremse muß die Lötbrücke LB4 für die Freigabeverzögerung geschlossen sein.

BTB, Betriebsbereitschaft (8d), [8c]

Bei betriebsbereitem Gerät liefert dieser Ausgang eine Spannung von +13V. Die Funktion wird nicht vom Freigabe-Eingang beeinflußt. Im inaktiven Zustand ist der Ausgang hochohmig.

Drehzahl-Sollwert (12d, 10d), [12c, 10c]

Eingänge zum Differenzverstärker für den Drehzahlsollwert. Die maximale Spannungsdifferenz darf ±10V betragen. Trotz der Ausführung als Differenzeingang sollten keine übermäßigen Gleichtakt-Überlagerungen vorhanden sein, da die Gleichtaktunterdrückung nur ca. 40dB (Restanteil 1%) beträgt und Übersteuerungen nicht auszuschließen wären. Die Differenz-Struktur ist ausschließlich zur Vermeidung von Masseschleifen im Eingangskreis vorgesehen.

Der Anschluss (10d) [10c] ist Bezugspunkt sowohl für Drehzahlsollwert als auch Impulsstromgrenzwert und sollte am Signal-GND der Steuerung (SPS, NC, ...) angelegt werden. Wegen der Gemeinsamkeit des Nullpunkts mit dem Stromgrenzwert kann die Drehrichtung nicht durch Tauschen der Drehzahlsollwertleitungen gewechselt werden.

Impulsstrom-Grenzwert (12z, 10d), [12a, 10c]

Eingänge zum Differenzverstärker für den Impulsstrom-Grenzwert. Je nach angelegter Spannung (0V...+10V) wird ein Impulsstrom von 0A...Ipeak zugelassen, wobei Ipeak der gerätespezifische Impulsstrom bedeutet. Sofern das Potentiometer für die interne Spitzenstromeinstellung (P4) nicht auf Rechtsanschlag steht, bestimmt dessen Einstellung den oberen Grenzwert. Der Strom kann richtungsabhängig begrenzt werden, je nach Stellung der Lötbrücken LB1, LB2 auf dem Kundenprint; die extern vorgegebene Begrenzung wirkt nur bei geschlossener Lötbrücke.

Freigabe (14d), [14c]

Für den Betrieb der Endstufe sind hier nach dem Einschalten des Geräts +15V...+24V anzulegen, die Verwendung der internen +15V ist zulässig. Bei offenem Eingang ist die Endstufe hochohmig und der Motor stromlos.

Die Freigabefunktion reagiert nur dann, wenn der Wechsel von Low auf High bei betriebsbereitem Gerät erfolgt. Diese leider etwas aufwendige Ansteuerung folgt aus Kompatibilitätsgründen zu vorhandenen Anlagen und der Notwendigkeit, versehentliches Ansteuern der dynamischen Bremse sicher verhindern zu müssen.

Bei geschlossener Lötbrücke LB4 ist frühestens 2 Sekunden nach Ende eines vorangegangenen Laufs eine erneute Freigabe möglich. Diese intern erzeugte Verzögerung ist für die korrekte Funktion einer dynamischen Bremse unverzichtbar.

I^2t-Meldung (16d), [16c]

Beim Ansprechen der Effektivstrombegrenzung (gelbe LED leuchtet) liefert dieser Ausgang +13V.

Motoranschlüsse, negativ (18d,b,z, 20d,b,z), [18a,c, 20a,c]

Anschlußklemmen für den negativen Motoranschluß.

Zwecks möglichst geringer Erwärmung, bzw. optimaler Zuverlässigkeit sollten bei Motor- und Zwischenkreisanschlüssen stets alle verfügbaren Anschlußpins verwendet werden (keine Leistungsanschlüsse am Steckverbinder offen lassen).

Zwischenkreis, +Ucc (22d,b,z, 24d,b,z), [22a,c, 24a,c]

Anschluss für den positiven Pol der Gleichstrom-Hauptversorgung. Der Nennwert beträgt 170VDC, kann aber je nach verwendetem Motor auch wesentlich kleiner sein (siehe Tabelle 1.2, technische Daten). Die Welligkeit der Spannung unter Last darf nicht größer als 50Vss sein. Geräteintern ist ein Stützkondensator mit 680:F enthalten.

Zwischenkreis, PGND (26d,b,z, 28d,b,z), [26a,c, 28a,c]

Anschluss für den negativen Pol der Gleichstrom-Hauptversorgung. Dieser ist innerhalb des Verstärkers galvanisch mit AGND (Regler-Masse) verbunden. PGND ist möglichst nahe beim Verstärker auf Erdpotential zu legen.

Motoranschlüsse, positiv (30d,b,z, 32d,b,z), [30a,c, 32a,c]

Anschlußklemmen für den positiven Motoranschluß.

2.3 Mindest-Lastinduktivität

Die pulsbreitenmodulierte Endstufe, sowie die Regelung benötigen für einwandfreie Funktion eine Last mit induktiver Komponente. Diese sorgt dafür, dass trotz der am Motor ständig anliegenden rechteckförmigen Zwischenkreisspannung ein relativ konstanter Strom fließt. Die Änderungsgeschwindigkeit des Stroms zwischen den Taktflanken wird praktisch allein von Induktivität und Zwischenkreisspannung festgelegt. Bei zu kleiner Induktivität entstehen zunächst Stabilitätsprobleme mit der Stromregelung (Oszillation wegen zu hoher Kreisverstärkung), was stets hohe Eisenverluste im Motor zur Folge hat. Die Stabilität kann in Grenzen durch Vermindern der Reglerverstärkung wiedergewonnen werden (Kundenprint), doch steigen bei noch kleineren Induktivitäten die Eisenverluste auch ohne Oszillation stark an.

Die für den Betrieb ohne Eingriff am Regler erforderliche Mindestinduktivität ist in Abschn. 1.1 aufgelistet und gelten für eine Nennspannung von 170V. Bei geringeren Zwischenkreisspannungen sinkt die erforderliche Induktivität proportional hierzu. Der in den technischen Daten genannte Formfaktor wird hierbei weit unterschritten (ca. 1,0002; Stromwelligkeit 0,14 I_{Nenn}).

Für den Fall, dass gelegentlich doch ein Motor mit geringerer Induktivität betrieben werden soll, kann die Verstärkung des Stromreglers über einen Eingriff am Kundenprint bis auf 1/3 des Standardwertes abgesenkt werden. Hierbei nähert man sich derjenigen Grenze, die durch steigende Hystereseverluste im Motor vorgegeben wird. Diese dürfte, je nach Eisensorte und Blechdicke etwa beim Formfaktor 1,01 erreicht werden; die Stromwelligkeit liegt hierbei knapp über 0,5 I_{Nenn}. Die hierfür notwendige Induktivität kann wie folgt berechnet werden:

$$Lmin = Ucc / (4 \cdot f_{Takt} \cdot I_{Nenn})$$

Die größte Belastung durch die Stromwelligkeit wird bei der halben Leerlaufdrehzahl erreicht (Endstufenaussteuerung 50%).

Sofern die Induktivität des Motors nicht ausreicht (z.B. bei Scheibenläufermotoren), muß eine Drossel in Reihe geschaltet werden. Dank der extrem schnellen Überstrom-Schutzschaltung in der IGBT-Endstufe ist eine Aufteilung auf 2 Drosseln mit halber Induktivität nicht zwingend erforderlich, verbessert aber das Störverhalten der Anlage.

2.4 Polung von Tacho und Motor

Die korrekte Polung ist in der Anschlußbelegung (Abschn. 2.1) angegeben. Hierbei soll der Motor, auf das lastseitige Ende der Welle gesehen, nach rechts drehen. Die Polungen lassen sich leicht bei ausgeschaltetem Gerät mithilfe eines Voltmeters ermitteln, wenn die Welle des Motors von Hand nach rechts gedreht wird.

Eine falsche Polung von Motor oder Tacho ist am Verhalten zu erkennen. Je nach Polarität des bei Freigabe anliegenden Sollwerts (auch geringste Offsetspannungen reichen aus) läuft der Motor bis auf Enddrehzahl hoch; bei umgepoltem Sollwert anders herum (Kippen, je nach Anfangsbedingung; mit Sollwert 0V kann man den Motor beim Einschalten sogar in die gewünschte Richtung „anwerfen“.).

2.5 EMV-gerechte Leitungsführung

Für einen störungsfreien Betrieb sowohl der eigenen Anlage als auch unbeteiligter Einrichtungen sind eine sachgemäße Leitungsführung und das Verständnis für die Problematik von pulsbreitenmodulierten Leistungsverstärkern unerläßlich.

Im Sinne eines guten Wirkungsgrades muß die Leistungsendstufe des Verstärkers mit möglichst steilen Schaltflanken arbeiten. Zusätzliche treten Stromspitzen auf (Übergang Freilaufdiode > IGBT), deren Höhe ein Mehrfaches des normalen Geräte-Impulsstroms erreichen kann und die sich Ihrerseits durch kurze Spannungsimpulse auf dem Zwischenkreis bemerkbar machen. Die Endstufe arbeitet damit als ein sehr niederohmiger Störgenerator. Je nach Verdrahtungs-situation treten diese Störungen mehr oder weniger stark in Erscheinung.

Am problematischsten ist stets die Kapazität der Motorwicklung gegen das Gehäuse (meist in Höhe einiger nF). Das das Gehäuse sowohl aus konstruktiven als auch aus Sicherheitsgründen geerdet sein muß, liegt hier für hochfrequente Störungen praktisch ein Kurzschluß vor. Damit verläuft der störende Stromkreis, ausgehend von der Endstufe, zunächst zum Motor, von dort über das Gehäuse nach Erde.

Ohne besondere Maßnahmen ist der Abschnitt zwischen PGND und Erde wesentlich hochohmiger als die Motorkapazität (speziell bei Leerlauf des Gleichrichters), so dass sich, bildhaft gesprochen, der treibende Verstärker selbst gegen Erde taktet. Damit liegen auf sämtlichen Leitungen, die am Verstärker angeschlossen sind (auch Schirme, 0V-Leitungen und Kleinsignalleitungen, sofern diese nicht durch in Reihe liegende, hochohmige Widerstände entkoppelt sind), kräftige Störspitzen (meist in Form schwach gedämpfter Schwingungspakete im Bereich einiger 10 MHz und einer Amplitude bis zu 100 Vss). Diese können die gesamte angeschlossene Peripherie massiv stören, da diese ja auch Erdkapazität hat und sich die Ströme je nach Aufbau u.U. auch durch deren Inneres einen Weg zu Erde suchen.

Zur Abhilfe muß man einerseits dafür sorgen, dass die Steilheit der am Motor anliegenden Spannungsflanken möglichst gering ist, da diese die Höhe der nach Erde abfließenden Störströme bestimmen (dU/dt - Begrenzung). Andererseits muß ein möglichst niederohmiger Pfad für den Rückfluß der Störströme zum Verstärker gelegt werden. Dieser muß so beschaffen sein, dass die Potentialsprünge am Verstärker selbst möglichst gering ausfallen, d.h. es muß ein möglichst niederohmiger, und vor allem nieder-induktiver Weg vom negativen Pol des Gleichstrom-Zwischenkreises hin zu Erde gelegt werden.

2.6 Entstörmaßnahmen

Eine für hochfrequente Signale schon recht gut wirksame Maßnahme zur dU/dt - Begrenzung besteht aus einem Ferritringkern (z.B. Siemens R25/20 aus Ferritsorte N30, AL=4620nH), der beide Motorleitungen umschließt (siehe Anschlußplan). Die Induktivität des Kerns bildet mit der Kapazität von Motor und Kabel ein LC-Tiefpaß-Filter; die notwendige Dämpfung entsteht größtenteils im Ringkern selbst durch dessen schwach leitende elektrische Eigenschaften. In besonders hartnäckigen Fällen kann die Motorleitung mehrmals durch den Kern geführt werden. Wichtig ist, dass die Leitungen parallel durch ein-und-denselben Kern geführt werden müssen (Prinzip der stromkompensierten Entstördrossel); andernfalls wird der Kern schon bei wenigen Ampère Motorstrom gesättigt und damit unwirksam.

Der zweite Teil der Entstörung betrifft die Erdung des Gleichstromzwischenkreises. Da im Bereich 10...30MHz schon die Induktivität kurzer Leitungsstücke schädlich sein kann, kommt es darauf an, den Anschluss PGND möglichst direkt mit Erde zu verbinden. Eine zentrale Erdungsstelle im Netzteil, vielleicht 50cm entfernt, ist schon schlecht. Besser ist, den negativen Pol des Gleichstrom-Zwischenkreises direkt von der Busplatine weg über ein kurzes Stück Kupfergeflecht auf großflächige Gehäuseteile zu legen und diese ebenso zu erden. Da es in erster Linie auf möglichst geringe Induktivität der Erdleitung und kaum auf den ohmschen Widerstand ankommt, sind breite Stahlbleche (sogar in gelochter Ausführung) wesentlich wirksamer als z.B. eine 10mm²-Cu-Leitung.

Um die Ausbreitung von Reststörungen ins Netz zu unterbinden, ist die Verwendung von einlagigen Schirmfolien im Netztransformator zweckmäßig. Die Folie muß sich in voller Breite über eine Windung des Wickelpakets zwischen Primär. und Sekundärlage erstrecken, wobei ein Kurzschluß der Windung durch eine mitgewickelte Lage Isolierfolie zu verhindern ist. Die Schirmfolien sind auf kürzestmöglichem Weg mit dem Blechpaket zu verbinden und dieses über die Befestigungsschrauben zu erden (gesonderte Erdleitung ist wegen der Leitungsinduktivität wenig effektiv). Eine sogenannte Schutzwicklung im Transformator, bestehend aus einer Lage Cul-Draht mit vielen, nebeneinander liegenden Windungen zum Zweck der HF-Abschirmung ist ungeeignet.

2.7 Eingangsprüfschaltung (nächste Seite)

Zum Zweck der Qualitätskontrolle bei eingehenden Lieferungen können die Verstärker mithilfe der folgenden Schaltung auf Funktion geprüft werden. Sinnvoll ist hierzu eine spezielle, einfache Steuerbox, mit der sehr bequem Sollwerte, Stillstand und Freigabe eingestellt werden können. Evtl. könnten hierin auch Anzeigen für die Höhe der im Verstärker erzeugten Hilfsspannung (±15V) und die ausgegebenen Meldesignale (BTB, I^2t, Strombegrenzung, dynamische Bremse) vorgesehen werden (nicht dargestellt).

Die in Reihe zum Motor angedeutete Drossel ist nur notwendig, wenn der Motor nicht genügend eigene Induktivität hat.

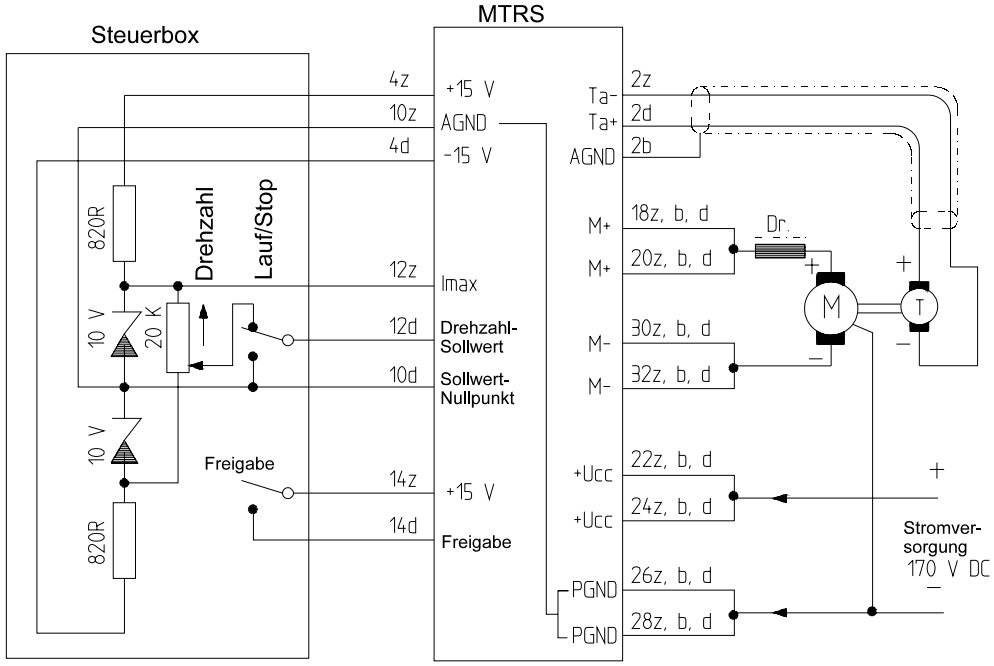
2.8 Anschlußplan (nächste Seite)

Der Plan soll nur eine von mehreren Möglichkeiten aufzeigen; er kann, je nach Erfordernissen, einfacher oder noch detaillierter sein. Die externe ±15V-Versorgung wird nur bei der Option Tachoüberwachung benötigt. Wegen möglicher Schaltspitzen muß die dynamische Bremse trotz höherer dU/dt-Werte stets vor der Entstör- oder Speicherdrossel (d.h. geräteseitig) angeschlossen werden.

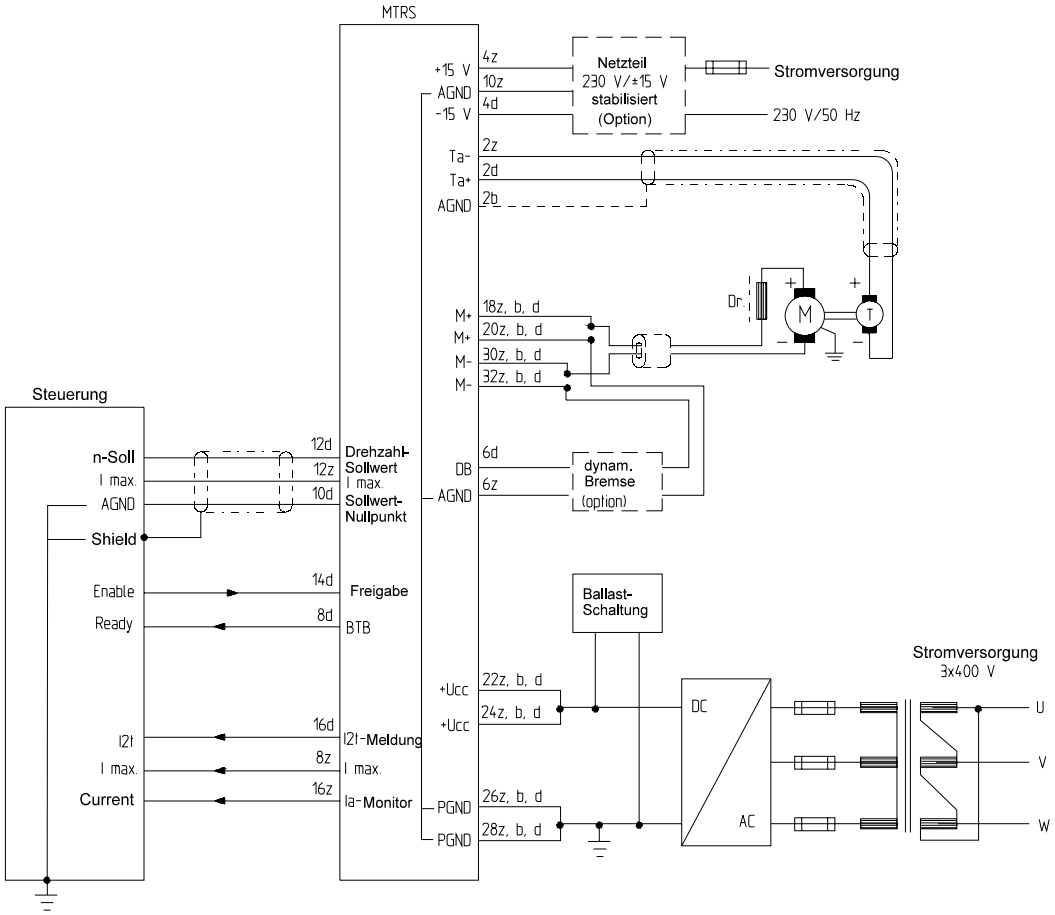
Wann immer möglich, sollte (wie gezeichnet) eine dreiphasige Zwischenkreisversorgung eingesetzt werden. Hierbei ist die Belastung von Netzteil, Verstärker und Netz am geringsten. Hingegen entstehen bei einphasig ausgelegter Versorgung ganz erhebliche Effektivströme im Speicherkondensator des Verstärkers, sowie in Netz und Gleichrichter. Wegen der Belastung des Netz-Nulleiters sind einphasige Stromversorgungen dieser Größenordnung ohne PFC („Powerfactorcontroller“) nur in reinen Industrienetzen erlaubt, nicht jedoch dort, wo auch private Verbraucher beteiligt sind. Im eigenen Interesse sollte auch bei Netzen, an denen PC’s betrieben werden, auf einphasige Speisung verzichtet werden,.

Soll in Ausnahmefällen dennoch einphasig gespeist werden, darf dies nur bei Verstärker-Nennströmen bis max. 5A geschehen; die Spannungswelligkeit am Zwischenkreis darf bei Nennstrom (Motor hierbei auf Nenndrehzahl!) nicht mehr als 50Vss betragen.

2.7 Eingangs-Prüfschaltung



2.8 Anschlußplan



3. INBETRIEBNAHME

Dank der großen Regelbandbreite gestaltet sich die Inbetriebnahme in den allermeisten Fällen extrem einfach. Mit etwas Verständnis, Erfahrung und einem Oszilloskop können die wenigen Justagearbeiten fast immer in der fertigen Anlage vorgenommen werden. Dennoch sind diese Arbeiten auch mithilfe der bereits in Abschn. 2.7 gezeigten Eingangsprüfschaltung durchführbar. Hiervon handelt der folgende Abschnitt dieses Handbuchs.

3.1 Einstellung von Impuls- und Effektivstrom-Grenzwerten

Wenn die Belastbarkeit des vorgesehenen Motors geringer ist als der Nennstrom des Reglers, muß dieser angepaßt werden. Auch der Impulsstrom des Verstärkers kann u.U. für manche Aufgaben oder Anlagen zu groß sein. Beide können in einem Arbeitsgang eingestellt werden.

Anstelle des Motors ist in der Eingangsprüfschaltung eine Drossel mit Mindestlastinduktivität in Reihe mit einem Ampèremeter anzuschließen. Die Induktivität der Drossel muß bis zum gewünschten Impulsstromgrenzwert konstant bleiben (Sättigungsgrenze beachten). Anstelle des vielleicht schwer erhältlichen Ampèremeters (Meßbereich ±40A) kann auch ein LEM-Modul (1:1000) benutzt werden; der Sekundärstrom kann einem gängigen Digital-Multimeter zugeführt werden, welches dann den Ausgangsstrom um den Faktor 1000 vermindert anzeigt (mA statt Ampère). Die Stromversorgung für das LEM-Modul kann der intern erzeugten Hilfsspannung (±15V) entnommen werden. Notfalls kann für die Messung des Stroms der interne Stromistwert herangezogen werden (Testpunkt I-ist; 10V entspricht dem gerätespezifischen Impulsstrom-Grenzwert).

Voraussetzung für eine korrekte Einstellung ist die Symmetrie des Stromoffsets. Dieser wird bei betriebswarmen Gerät, normaler Einbaulage, Zwischenkreis-spannung in voller Höhe und Stromsollwert Null (Lötbrücken LB1, LB2 geschlossen, Spannung an Eingang 12z auf 0V) bereits ab Werk am internen Potentiometer P202 eingestellt (nur mit LEM-Modul oder Ampèremeter im Ausgang durchführbar). Kundenseitige Nachjustage ist im allgemeinen überflüssig, aber möglich. Zur Einstellung unbedingt eine Schraubendreherklinge aus Kunststoff benutzen - Kurzschlußgefahr an der Zwischenkreissicherung!

Für die Einstellung des Impulsstroms über das Potentiometer P4 muß bei geschlossenen Lötbrücken LB1, LB2 an Eingang 12z (gegen 10d) eine Spannung von +10V angelegt oder LB1, LB2 geöffnet werden. Zusätzlich wird ein konstanter Drehzahlsollwert von mindestens 1V benötigt (Eingang 12d gegen 10d). Nach dem Einschalten der Stromversorgung und anschließender Freigabe fließt in der Drossel für ca. 3 Sekunden ein Strom in Höhe des eingestellten Impulsstrom-Grenzwertes. In dieser Zeit kann der Wert am Potentiometer P4 (Ipeak) verändert werden. Nach Ablauf der genannten Zeit geht der Strom auf den an P1 eingestellten Effektivstromgrenzwert zurück.

Wenn die Zeit nicht ausgereicht hat, ist die Freigabe abzuschalten und erst nach frühestens 15 Sekunden wieder einzuschalten; hiernach kann die Spitzenstromeinstellung fortgesetzt werden. Mit einem Sollwert in umgekehrter Polarität ist die Symmetrie zu prüfen und ggf. auszumitteln.

Nach Ablauf der Impulsstromphase kann der Effektivstromgrenzwert mithilfe von P1

verändert werden. Hierzu ist das Potentiometer stets zügig ein Stück in die gewünschte Richtung zu verstellen. Der Verstärker reagiert daraufhin mit einer neuerlichen kurzzeitigen Impulsstrom- bzw. Nullstrom-Phase, in der sich die Schaltung an den neuen Grenzwert anpaßt.

Ein konstanter, ständig in eine Richtung fließender Dauerstrom ist für die Endstufe die höchst-denkbare thermische Belastung. Dieser Zustand sollte daher nicht länger als notwendig aufrecht erhalten werden. Im späteren praktischen Betrieb fließt der Strom eher stoßweise, was aufgrund der fast konstanten Durchlaßspannung an den IGBT's trotz u.U. gleichen Effektivstroms zu geringerer Erwärmung führt. Außerdem führen die Richtungswechsel (Beschleunigen / Bremsen) zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Last über alle Komponenten der Endstufe. Selbstverständlich ist diese dennoch für Dauerlast in eine Richtung ausgelegt.

3.2 Tachoanpassung

Nach dem Anschluss des Verstärkers (siehe Eingangsprüfschaltung), dem Einschalten und nachfolgender Freigabe ist ein Drehzahlsollwert von 10V einzuspeisen (Eingang 12d gegen 10d). Die Drehzahl des Motors ist mithilfe des Potentiometers P2 (Tacho) auf den gewünschten Endwert zu stellen. Falls der Stellbereich des Potentiometers nicht ausreicht, muß auf dem Kundenprint eine Umnormierung mithilfe eines Festwiderstandes vorgenommen werden (siehe hierzu Abschn. 4.1).

3.3 Offsetabgleich

Bei betriebswarmem Gerät und kurzgeschlossenem und auf 0V-Potential gelegtem Drehzahlsollwert-Eingang (12d, 10d, 10z miteinander verbunden) kann der Stillstand des Motors am Potentiometer P201 einjustiert werden.

3.4 Gesamtverstärkung

Für die korrekte Einstellung der Gesamtverstärkung mithilfe der Eingangsprüfschaltung muß der Motor mit einer Schwungmasse belastet sein, die das gleiche Massenträgheitsmoment wie im späteren praktischen Einsatz besitzt. Leider ist diese Simulation gelegentlich zu ungenau, da auf diese Weise weder die evtl. vorhandenen Elastizitäten der Zielanwendung noch deren Reibung simuliert werden können. Darüber hinaus werden an Motoren mit anmontierten Schwungmassen häufig ausgeprägte Resonanzen festgestellt, die eine korrekte Einstellung zusätzlich erschweren. Die Einstellung der Verstärkung sollte daher möglichst in der Zielanwendung vorgenommen werden.

Im einfachsten Fall genügt das Gehör. Bei eingeschaltetem Gerät und Sollwert 0V (Motor-Stillstand) ist das Potentiometer P3 (AC-Gain) soweit nach rechts zu drehen bis Oszillation einsetzt (je nach Lastinduktivität ca. 50...150Hz). Anschließend sofort zurückdrehen (noch vor Ansprechen der I^2t-Strombegrenzung). Vom Punkt des Aussetzens noch ca. 1 Umdrehung weiter nach links drehen - fertig.

Bei schwierigeren Lastverhältnissen (z.B. Elastizitäten) ist ein Zweikanal-Speicheroszilloskop an die Testpunkte TP2 (Tacho) und TP1 (I-ist) anzuschließen;

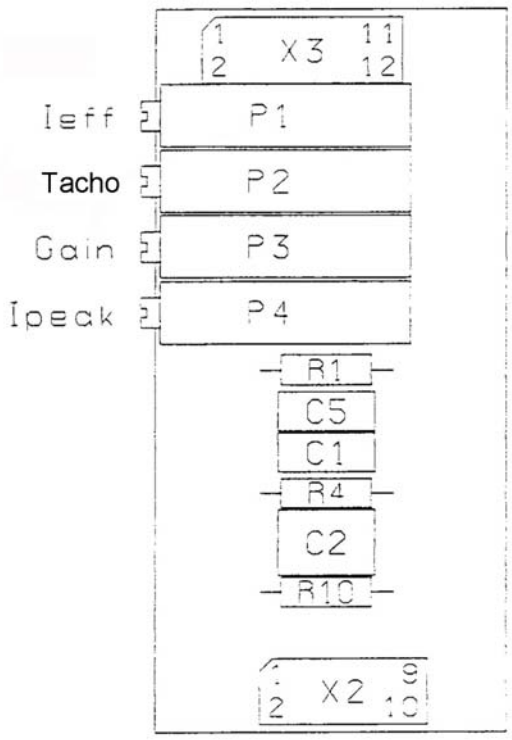
Bezugspunkt ist AGND (Anschluss 10z) oder TP7. Bei aufgetrenntem Lageregelkreis (soweit vorhanden) sind kurze Start/Stop-Impulse, d.h. rechteckförmige Drehzahlsprünge, einzugeben. An Potentiometer P3 kann dann die Sprungantwort optimiert werden.

Anzustreben ist ein möglichst schneller Einlauf der Tachospannung auf den vom Sollwert vorgegebenen Endwert, jedoch ohne Überschwingen. Die Tendenz zu Überschwingen und Instabilität ist im Stromistwert leichter als am Tachosignal erkennbar. Wenn keine befriedigende Einstellung gefunden werden kann, besteht evtl. die Möglichkeit einer speziellen Anpassung des Regelverhaltens mithilfe einer Änderung von Festkomponenten auf dem Kundenprint.

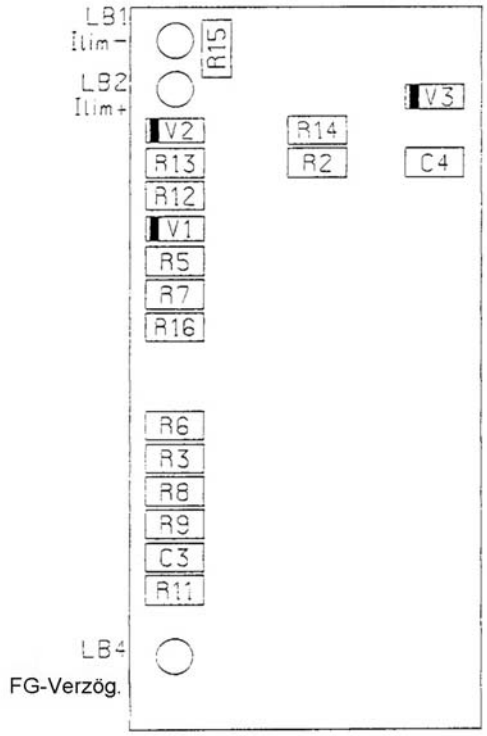
4. OPTIMIERUNG DES REGELVERHALTENS MIT DEM KUNDENPRINT

In seltenen Fällen müssen bestimmte Geräteeigenschaften an die Anwendung angepaßt werden. Hierzu gibt es auf dem Kundenprint einige, leicht austauschbare Komponenten. Die Lage der Bauteile kann dem folgenden Bestückungsplan entnommen werden.

Bestückungsseite



Lötseite (gespiegelt)



4.1 Lötbrücken

Bereits mehrfach wurden in den vorangegangenen Abschnitten die Lötbrücken auf dem Kundenprint erwähnt. Hiervon gibt es 3 Stück; LB1 und LB2 müssen geschlossen werden, wenn der Impulsstrom-Grenzwert über den Eingang 12z („Stromgrenzwert“) von außen eingestellt werden soll. Bei offenen Lötbrücken reagiert das Gerät nicht auf anliegende Steuerspannungen. Jede Lötbrücke ist für eine der beiden Stromrichtungen zuständig, d.h. die Lötbrücken dürfen auch einzeln geschlossen werden.

Die Lötbrücke LB4 ist immer dann zu schließen, wenn eine dynamische Bremse verwendet wird. Sie verzögert die Freigabe des Reglers um ca. 2 Sekunden nach dem Ende der letzten Freigabe. Nach längeren, über den FG-Eingang vorgegebenen Pausen erfolgt die erneute Freigabe unverzögert.

Herausgenommen wurde eine in Vorläufergeräten noch enthaltene Lötbrücke mit der Bezeichnung LB3; diese hatte die Aufgabe, bei kurzen Lastpausen die I^2t-Schaltung zu entladen, was aber im praktischen Betrieb die Endstufe aufs höchste gefährdete.

4.2 Tacho-Filter

Der Kondensator C1 ist für die Filterung des Tachosignals zuständig. Der wirksame Vorwiderstand beträgt 4,7 k**S**. Als Standardwert sind 10nF eingebaut. Bei Bedarf kann der Kondensator vergrößert werden, z.B. wenn das Tachosignal stark mit Störspitzen versetzt und keine verbesserte Leitungsführung möglich ist, oder beim Einsatz der Option Tachoüberwachung. Leider verschlechtert das Filter die Regeleigenschaften, speziell das Überschwingen nach Sollwertsprüngen; hierdurch muß die Gesamtverstärkung meist etwas geringer eingestellt werden.

4.3 Tacho-Normierung

Mithilfe des Festwiderstandes R1 kann das Gerät auf eine große Spannweite von Tachospannungen eingestellt werden. Im Interesse möglichst geringer Drift sollte er so gewählt werden, dass sich der Schleifer des Tachopotentiometers bei korrektem Abgleich (Nenndrehzahl) kurz vor Rechtsanschlag befindet. Mit der Spannungskonstanten K_E des Tachogenerators in V/U/min, der gewünschten Nenndrehzahl n_{Nenn} und einem Drehzahl-Sollwert von 10V hat der einzusetzende Widerstand den Wert:

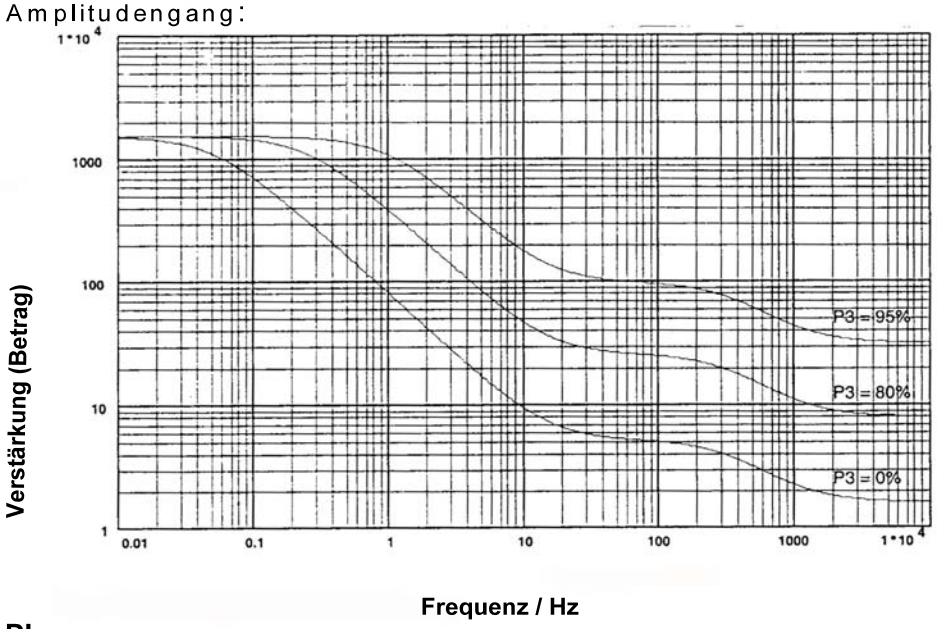
$$R1 = 51.7\ k\mathbf{S} \cdot U_{Soll} / (2.25 \cdot n_{Nenn} \cdot K_E - U_{Soll})$$

Bei 10V Sollwert, 3000 U/min Nenndrehzahl und einer Tachokonstanten von 6V/1000U/min ergeben sich als Idealwert 16,95 kOhm. Wegen der Stellung des Potentiometers in der Nähe des rechten Anschlags sollte eher ein kleinerer Wert für den Widerstand eingebaut werden. Der Stellbereich des Tacho-Potentiometers umfaßt ein Verhältnis von 1:6; mit R1 = 10 k**S** (Standardwert) wird das Gerät also ohne Probleme laufen.

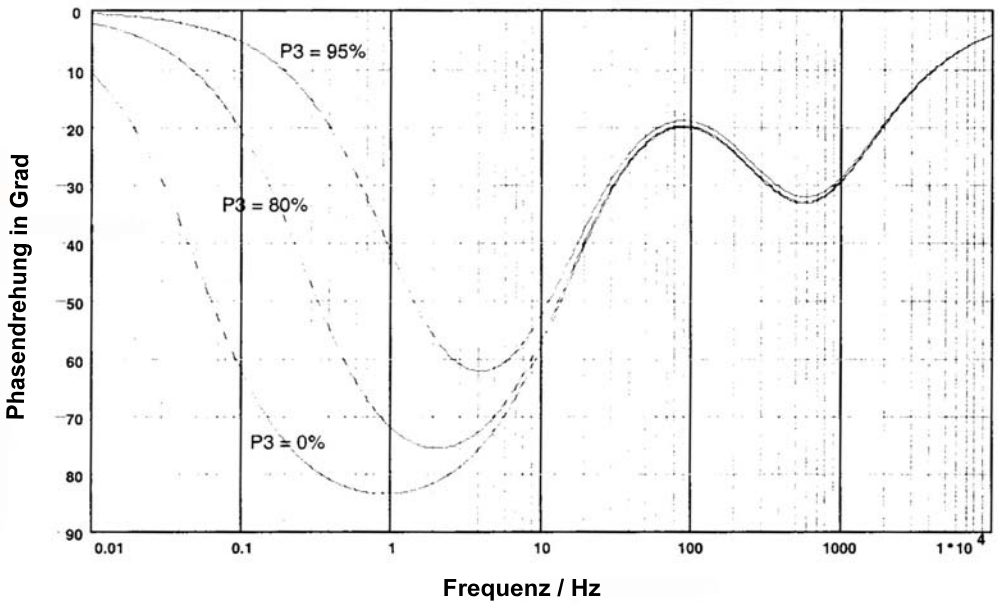
4.4 Frequenzgang des Drehzahlreglers

Wie schon in Abschn. 1.4.4 dargelegt, hat der Drehzahlregler im Wesentlichen PI-Verhalten (Proportional / Integral), das aber an der oberen und unteren Frequenzgrenze durch wichtige Zusatzeigenschaften ergänzt wird. Das folgende Bild zeigt den Frequenzverlauf bei Standardbestückung und verschiedenen Stellungen des Potentiometers P3.

Amplitudengang:



Phasengang:



Gut erkennbar ist eine Begrenzung der Verstärkung bei tiefen Frequenzen auf einen Betrag von ca. 1500, unabhängig von der Einstellung des Potentiometers. Diese Eigenschaft wurde dazu geschaffen, bei grob aufgelösten digitalen Lagereglern das Pendeln der Achse um das letzte Inkrement der Lageregelung zu verhindern. In Zusammenhang mit etwas Reibung kommt die Welle zur Ruhe, wobei die konstante Gleichspannungsverstärkung gleichzeitig eine bestimmte Steifigkeit der Welle gegen statische Last definiert. Bei moderneren Lageregelungen, die meist eine recht hohe Auflösung haben, kann die Verstärkung größer gewählt oder die gesamte Begrenzung abgeschaltet werden. Hierzu ist der Widerstand R4 auf dem Kundenprint (Standardwert 330 Ohm) zu verkleinern oder durch eine Drahtbrücke zu ersetzen. Der Wert des einzusetzenden Widerstandes als Funktion der Gleichspannungsverstärkung beträgt

$$R4 = 500\ k\Omega\ /\ v_U$$

Bei langsam ansteigenden Frequenzen (etwa ab 1 Hz, je nach Potentiometerstellung) geht die Verstärkung allmählich umgekehrt proportional zur Frequenz (mit 1/f) zurück; hier ist vor allem der integrale Anteil wirksam. Der zuständige Kondensator ist C2 (0,1 µF).

Etwa ab 10 Hz geht die Verstärkung in das vom P-Anteil vorgegebenen, frequenzunabhängige Verhalten über. Der Mindestwert der Proportionalverstärkung (P3 auf Linksanschlag) wird vom Widerstand R7 festgelegt:

$$R7 = 20k\Omega \cdot K_{Pmin}$$

Standardwert ist 100kΩ, d.h. K_{Pmin} beträgt 5.

Der bereits erwähnte Kondensator C2 liegt in Reihe zu R7. Damit legt er die Nachstellzeit des Reglers fest:

$$C2 = T_N / R7.$$

Der Kehrwert der Nachstellzeit ist die Übergangskreisfrequenz (ω_g). Dieser Wert geteilt durch 2 π ergibt im Diagramm jene Frequenz, bei der sich die Verstärkung bis zu 3 dB (Faktor 0,7) an die Proportionalverstärkung angenähert hat; die Phase beträgt an dieser Stelle 45 . Bei Standardbestückung liegt dieser Punkt bei 15,9 Hz. Bei größeren Kapazitäten verschiebt sich im Diagramm der Übergang in den flachen Bereich nach links.

Oberhalb von 100Hz beginnt eine erneute stufenförmige Absenkung. Diese wird verursacht vom RC-Glied R16, C5 (47K, 3,3nF). Diese Bauteile liegen in Reihe zueinander, aber parallel zum Widerstand R7 (Proportionalverstärkung). Die stufenförmige Absenkung auf 1/3 der Proportionalverstärkung im Frequenzgang ist gut erkennbar. Die Absenkung hat den Sinn, Instabilitäten infolge häufig vorkommender Torsionsresonanzen zwischen Motoranker und Last (elastisches Element ist hierbei die Welle des Motors) abzuschwächen. Solche Resonanzen liegen meist im Bereich um 800...1100 Hz und sind scharf ausgeprägt, d.h. der Motor hat an dieser Stelle in seinem Frequenzgang eine kräftige Resonanzüberhöhung. Da die Phase knapp oberhalb der Resonanz stark gedreht wird und insgesamt in den negativen Bereich gerät, muß für die Erhaltung der Stabilität die Verstärkung, möglichst nur bei der Resonanzfrequenz, massiv abgesenkt werden ohne dass der Regler selbst die Phase zusätzlich dreht. Im reinen PI-Regler ist dies nur über die Proportionalverstärkung erreichbar, was leider

Regelsteifigkeit kostet. Das RC-Glied R16 + C5 hat allerdings das gewünschte Verhalten. Die Gesamtverstärkung kann dadurch um den Absenkungsfaktor höher eingestellt werden. Die Verstärkungsabsenkung wird nicht mithilfe eines Kondensators, sondern mit einem Widerstand bewirkt; C5 ist eher zur Abkopplung gegen tiefere Frequenzen zu verstehen. Bei kapazitiver Absenkung würde die Phase bei hohen Frequenzen gegen 90 gehen (siehe Phasengang). Die Zeitkonstante R16 • C5 sollte knapp über den Kehrwert der zu unterdrückenden Resonanzfrequenz gelegt werden:

$$C5 \ \$ \ 1 \ / \ (2 \bullet \mathbf{B} \bullet f_{Resonanz} \bullet R16)$$

Bei $f_{Resonanz}$ = 1000 Hz ergibt sich für C5 ca. 3,3nF. Der Widerstand R16 (47 k**S**) ist in SMD-Form ausgeführt und muß normalerweise nicht geändert werden; er legt den Endwert der Absenkung fest (Faktor 3). Dennoch ist eine Änderung von R16 jederzeit möglich. Hierbei sollte bedacht werden, dass bei stärkeren Absenkungen das Überschwingen nach Sollwertsprüngen zunimmt.

Wenn die Funktion nicht gebraucht wird, sollte C5 gegen einen wesentlich kleineren Typ (z.B. 1nF) ersetzt werden.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei der vorstehenden Grafik um den Frequenzgang des Drehzahl-Regelverstärkers bei aufgetrennter Regelschleife handelt; es ist nicht der Frequenzgang der gesamten Anlage bei normalem Betrieb. Dieser ergäbe sich erst bei Rückführung des Tachosignals und unter Berücksichtigung aller übrigen Übertragungsfaktoren (Frequenzgang der Stromregelschleife, Drehmomentkonstante, Massenträgheitsmoment, Tachokonstante, Tachofilter, u.ä.). Mangels Kenntnis der anwendungsspezifischen Größen kann dieser hier nicht berechnet werden.

4.5 Frequenzgang des Stromreglers

Ähnlich wie beim Drehzahlregler wird auch die Verstärkung des Stromreglers durch Komponenten auf dem Kundenprint festgelegt. Es handelt sich um die Bauteile R9, R10, R11, C3. Die Bauteile R9 und R11 dürfen im Interesse der folgenden Formeln nicht verändert werden.

Die Proportionalverstärkung wird mithilfe von R10 festgelegt. Dieser ist bedrahtet und damit leicht auszuwechseln. Der einzusetzende Wert beträgt:

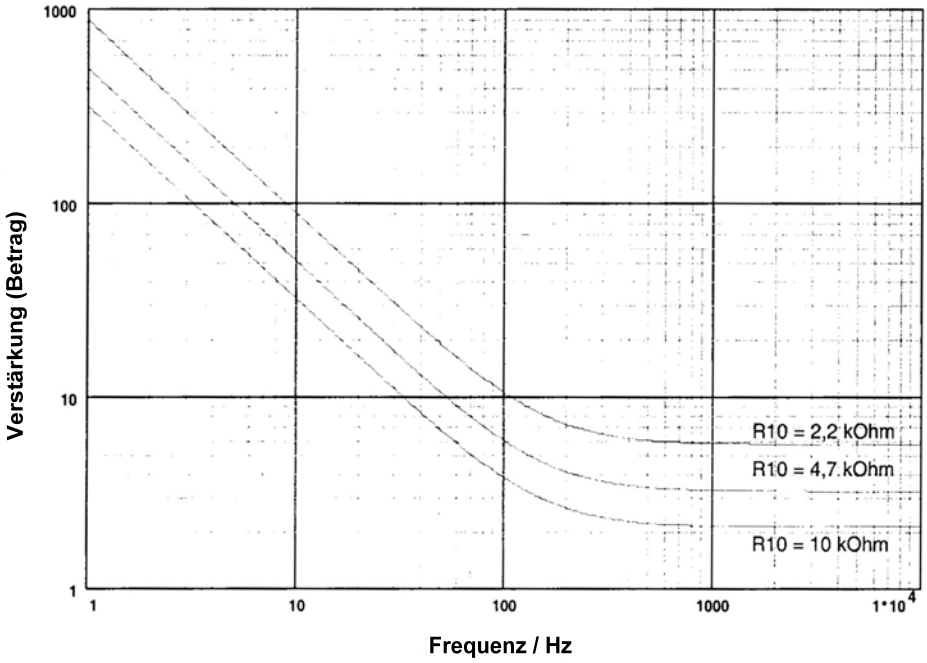
$$R10 = 10k\mathbf{S} \ / \ (K_P - 1)$$

C3 ergibt sich aus der geforderten Nachstellzeit T_N des Stromreglers; R9 hat 100k**S**:

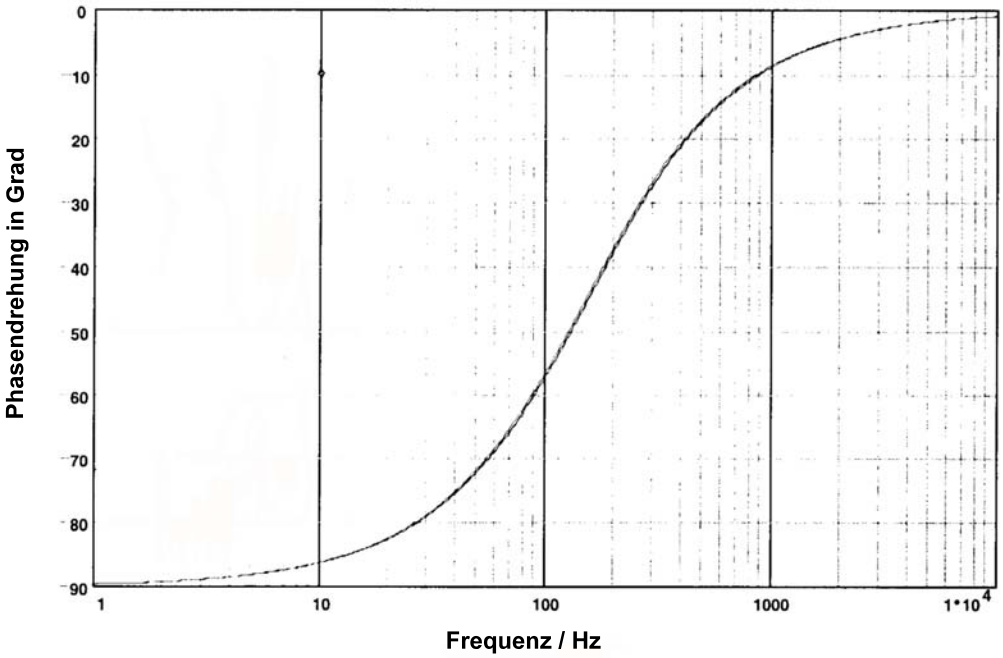
$$C3 = T_N \ / \ R9$$

Auf der folgenden Seite wird der Frequenzgang des Stromreglers bei verschiedenen Werten für R10 dargestellt. Auch bei dieser Grafik handelt es sich nicht um den Frequenzgang der Stromregelung bei normalem Betrieb. Dieser ergäbe sich erst nach Rückführung des Stromistwertes und Berücksichtigung aller übrigen, teils anwendungsspezifischen Übertragungsfaktoren (Motorinduktivität, Betriebsspannung, Totzeit durch Pulsbreitenmodulation, usw.).

Amplitudengang:



Phasengang:



4.6 Gesamtgerät als Stromregler

Bei manchen Anwendungen befindet sich die Drehzahlregelung außerhalb des Servoverstärkers; die Eingangsgröße soll dann als Stromsollwert interpretiert werden.

Das Gerät kann durch wenige Änderungen auf dem Kundenprint an diese Betriebsweise anpaßt werden:

R1 (Tacho - Vorteiler):	0 Ohm
C2 (Integrationskondensator):	Drahtbrücke legen
R7 (Proportionalverstärkung):	20 k**S**
P3 (AC-Gain):	Linksanschlag

Die übrigen, für spezielle Feinheiten der Drehzahlregelung zuständigen Bauteile brauchen (sofern Standardbestückung vorliegt) nicht verändert werden, da im Stromreglerbetrieb hiervon keine nennenswerten Wirkungen ausgehen.

Auf Wunsch, bzw. auf Bestellung hin können die Geräte bereits ab Werk mit o.g. Bestückung ausgeliefert werden.

5. OPTIONEN

5.1 Ballastschaltung

Beim Abbremsen des Motors durch den Verstärker übernimmt dieser einen großen Teil der zuvor in den rotierenden Massen gespeicherten kinetischen Energie und wandelt diese in elektrische Energie zurück. Das gleiche geschieht, wenn der Motor permanent Leistung aufzunehmen hat, z.B. auf der Abtriebsseite einer Wickeleinrichtung. Beides macht sich durch Ansteigen der Zwischenkreisspannung über den Leerlaufwert hinaus bemerkbar. Leider ist die Speicherkapazität für diese Energie innerhalb des Gerätes relativ gering (ca. 9 Joule, vgl. Belastbarkeit der Ballastschaltung: 1150 Joule), so dass schon ganz normale Bremsvorgänge die Spannung auf gefährliche Beträge ansteigen lassen können. Um Schäden zu vermeiden, wird die Endstufe beim Erreichen von 250VDC durch die interne Überspannungsschutzschaltung abgeschaltet.

Zwecks Aufrechterhaltung des normalen Betriebs muß das Ansteigen der Zwischenkreisspannung mit externen Mitteln verhindert werden. Hierzu dient die Ballastschaltung.

Zur Aufnahme nur kurzzeitig auftretender Bremsenergie (z.B. beim Abbremsen) wären grundsätzlich Kondensatoren geeignet. Die gespeicherte Energie könnte beim nächsten Beschleunigungsvorgang genutzt werden. Leider benötigt man schon bei geringen Massenträgheitsmomenten relativ große, d.h. teure Kondensatoren. Außerdem ist diese Methode bei permanent anliegender Bremslast ungeeignet. Die Rückspeisung der Energie ins Netz scheidet ebenfalls aus, da der Gleichrichter aus Kostengründen normalerweise nur als ungesteuerte Drehstrom-Vollbrücke ausgeführt wird (Strom nur in einer Richtung möglich). Als Ausweg verbleibt nur, die Energie über Leistungswiderstände in Wärme umzusetzen.

Die Höhe der Zwischenkreisspannung wird über einen Spannungsteiler mit einer Präzisions-Referenzspannung verglichen. Beim Überschreiten des Schwellwertes (Daten siehe Tabelle) werden über einen IGBT Leistungswiderstände parallel zum Zwischenkreis geschaltet. Gleichzeitig leuchtet an der Vorderkante der Platine eine gelbe LED auf. Eine Hysterese zwischen Ein- und Ausschaltpunkt sorgt für sauberes, verlustarmes Schalten. Die interne Schutzschaltung überwacht Einschaltdauer und Mittelwert des aufgenommenen Stroms und begrenzt notfalls die Funktion; nur bei Überlastung der Ballastschaltung geht der angeschlossene Verstärker wegen Überspannung in Störung.

Im Normalfall kann eine Ballastschaltung gleichzeitig für mehrere an einem Zwischenkreis angeschlossene Verstärker verwendet werden. Hierbei ist zu prüfen, ob die Impulsleistung der Ballastschaltung ausreicht, um die Bremsenergie auch dann aufzunehmen, wenn alle Achsen gleichzeitig bremsen.

Das Parallelschalten mehrerer Ballastschaltungen ist möglich. Die Leistung wird hierbei etwas ungleich verteilt. Zunächst arbeitet nur diejenige Baugruppen, die aufgrund von Materialtoleranzen die niedrigste Schaltschwelle hat. Bei höherer Bremslast kommt dann die Baugruppe mit der zweitniedrigsten Schaltschwelle hinzu, usw.. Die Baugruppe mit der höchsten Schaltschwelle übernimmt den Rest. Überlastungen einzelner Baugruppen sind jedoch ausgeschlossen.

Einschaltschwelle	235 VDC
Abschaltschwelle	220VDC
Strom im eingeschalteten Zustand	20A
Impulslast	4,6 kW
max. Impulsenergie (ohne Vorlast)	1.150 Joule (20A, 230V, 0,25s)
Integrationszeitkonstante	10s
mittlere Leistung	100 Watt
Steckverbinder	DIN41612, Form D32
Anschluss, positiv	2c, 4c, 6c, 8c, 10c, 12c, 14c
Anschluss, negativ	2a, 4a, 6a, 8a, 10a, 12a, 14a, 16a-32c

Die Häufigkeit möglicher Bremsvorgänge hängt von der Anfangsdrehzahl und dem an der Motorwelle wirksamen Gesamt-Trägheitsmoment ab:

$T_W = ½ \cdot J_{ges} \cdot \mathbf{O}^2 \cdot 1/ P_{AV}$ (in Sekunden, kgm², sec^{-1}, Watt)

Nach Einsetzen der zulässigen mittleren Leistung (P_{AV} = 100 W) und Ersetzen der mechanischen Kreisfrequenz durch die Drehzahl erhält man:

$T_W = 55 \cdot 10^{-6} \cdot J_{ges} \cdot n^2$ (in Sekunden, kgm², U/min)

So darf z.B. ein Massenträgheitsmoment von $10 \cdot 10^{-3}$ kgm² aus einer Anfangsdrehzahl von 3000 U/min etwa alle 5 Sekunden vollständig abgebremst werden. In der Praxis gestaltet sich der Vorgang etwas günstiger, da die Rotationsenergie nur zu einem Teil zurückgewandelt wird (generatorischer Wirkungsgrad des Motors). Bei Annäherung der abzubremsenden Energie an den kritischen Grenzwert der Baugruppe (bei 3000 U/min etwa ab $15 \cdot 10^{-3}$ kgm², entsprechend 750 Joule) verlängern sich die einzuhaltenden Pausen über-proportional.

5.2 Tacho-Überwachung

Diese Baugruppe, optional auf Bestellung erhältlich, verhindert unkontrolliertes Hochlaufen des Motors bei Ausfall des Tachosignals. Im Fall von Unterbrechung oder Masseschluß im Tachokreis wird der Verstärker auf Störung geschaltet, wobei der angeschlossene Motor stromlos ausläuft oder mit der Option „dynamische Bremse“ abgebremst werden kann.

Die Baugruppe arbeitet in der Art, dass durch den Tachogenerator potentialfrei ein mittelfrequenter Wechselstrom eingeprägt wird, dessen Anwesenheit am „kalten“ Ende der Tacholeitung selektiv geprüft wird. Die Trägerfrequenz wurde so gewählt, dass einerseits gerade keine Beeinflussung der Regelung mehr möglich ist, andererseits die Kapazitäten von längeren abgeschirmten Tacholeitungen noch nicht störend in Erscheinung treten. In kritischen Fällen (lange Kabel, hochinduktiver Tacho) muß ein Probeaufbau mit Original-Tacho und -Kabel erstellt und die Empfindlichkeit der Schaltung angepaßt werden.

Die Tacho-Überwachung wird im Grundgerät aus Platzgründen anstelle des internen Hilfsnetzteils eingesetzt. Dies bedeutet, dass die Verstärker extern mit der Hilfsspannung ±15V versorgt werden müssen.

Ein weiterer möglicher Nachteil ergibt sich aus der Neigung mancher Tachos zu Gleichrichtereffekten an der Oberfläche des Kommutators; hierbei können massive Offset-Probleme, bzw. Instabilitäten entstehen.

Aufgrund dieser Nachteile ist zu prüfen, ob es nicht sinnvoller ist, die einfache, zweipolige Tacholeitung von vornherein so solide auszubilden, dass ein Leitungsbruch an dieser Stelle kein Thema mehr ist. Moderne Anlagen bieten oftmals die Möglichkeit einer Überwachung der Motor-Funktionen per Software. Auch dies ersetzt die gesonderte Tachoüberwachung.

Da zum Zeitpunkt der Verstärker-Entwicklung nicht klar war, ob die Tachoüberwachung als nicht mehr ganz zeitgemäße Funktion noch benötigt wird, wurde die Konstruktion zurückgestellt. Hierdurch können sich bei Bestellung längere Lieferzeiten ergeben.

5.3 Dynamische Bremse

In manchen Anlagen muß dafür gesorgt werden, dass der Motor bei Not-Aus oder im Störungsfall gezielt und unabhängig vom Verstärker gebremst wird. Hierzu dient das Modul „Dynamische Bremse“. Es handelt sich um zwei antiparallel geschaltete Thyristoren, die den Motor über Strombegrenzungswiderstände immer dann kurzschließen, wenn keine Ansteuerung vorliegt. Hieraus ergibt sich die Eigensicherheit der Einrichtung.

Allerdings gibt es Vorschriften, wonach solche Vorrichtungen nur dann zum Personenschutz verwendet werden dürfen, wenn es sich bei den Schaltelementen nicht um Halbleiter handelt, d.h. es sind mechanische Schaltkontakte vorgeschrieben. Da jedoch die hier vorgestellte Baugruppe Thyristoren, d.h. Halbleiter als Schalter verwendet, darf diese nur zum Schutz der Anlage, nicht jedoch zum Personenschutz verwendet werden.

Das Modul wird ausschließlich über den Verstärker angesteuert. Nach erfolgter Betätigung der Bremse sorgt der Verstärker aufgrund einer internen Verzögerung

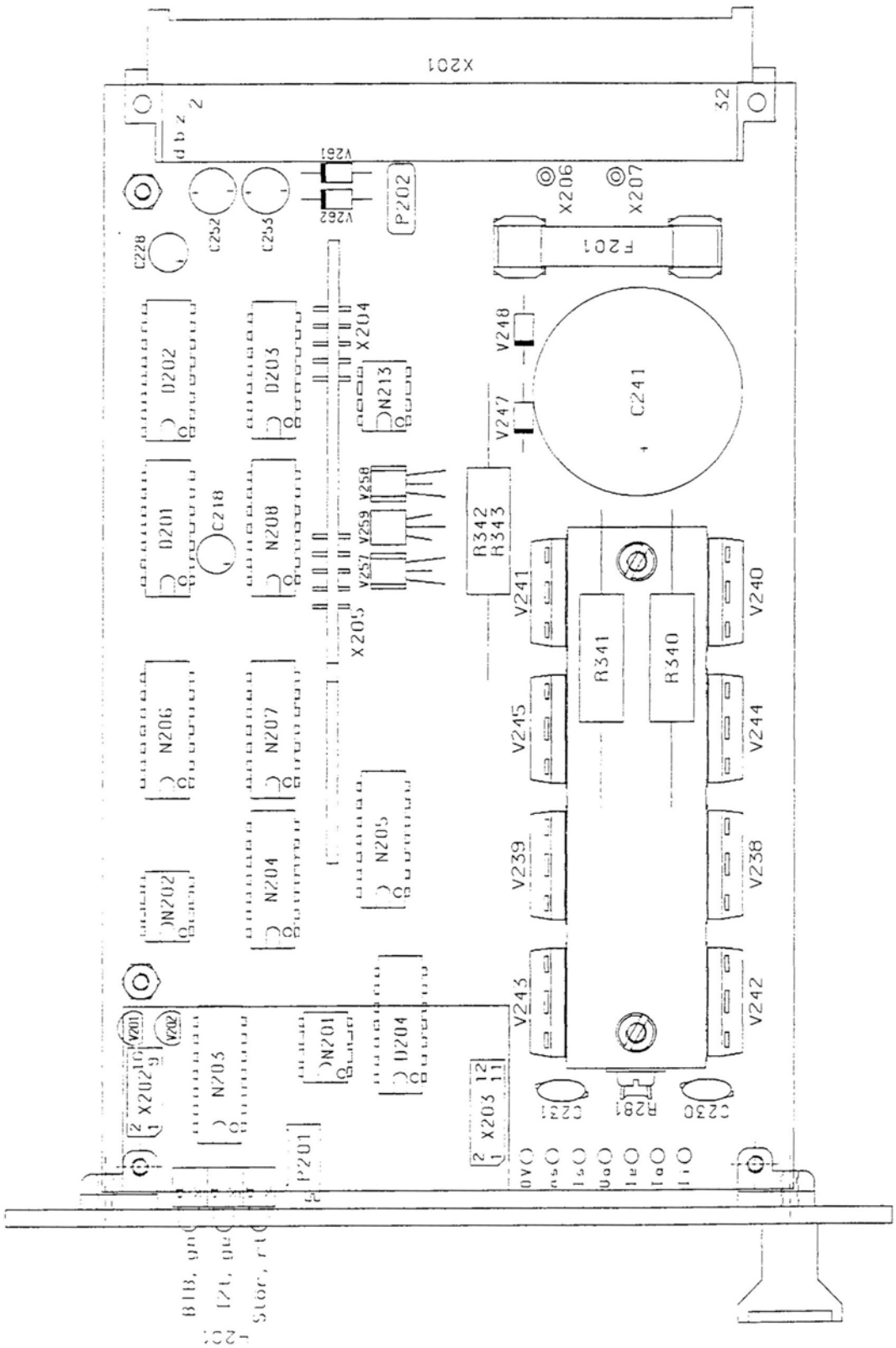
dafür, dass die Endstufe erst nach 2 Sekunden aktiv werden kann, und zwar auch dann wenn die erneute Freigabe früher erfolgt. In dieser Zeit muß der Motor zum Stillstand gekommen sein, so dass der Thyristor löschen konnte. Das Wiedereinschalten des Verstärkers bei noch leitendem Thyristor führt zur Zerstörung der Baugruppe.

Bei hängenden Lasten treibt die Last den Motor permanent an, weswegen der einmal gezündete Thyristor nie löscht. Hier ist der Einsatz einer thyristorgesteuerten dynamischen Bremse nicht möglich. In solchen Fällen hilft nur eine mechanisch wirkende Motorbremse.

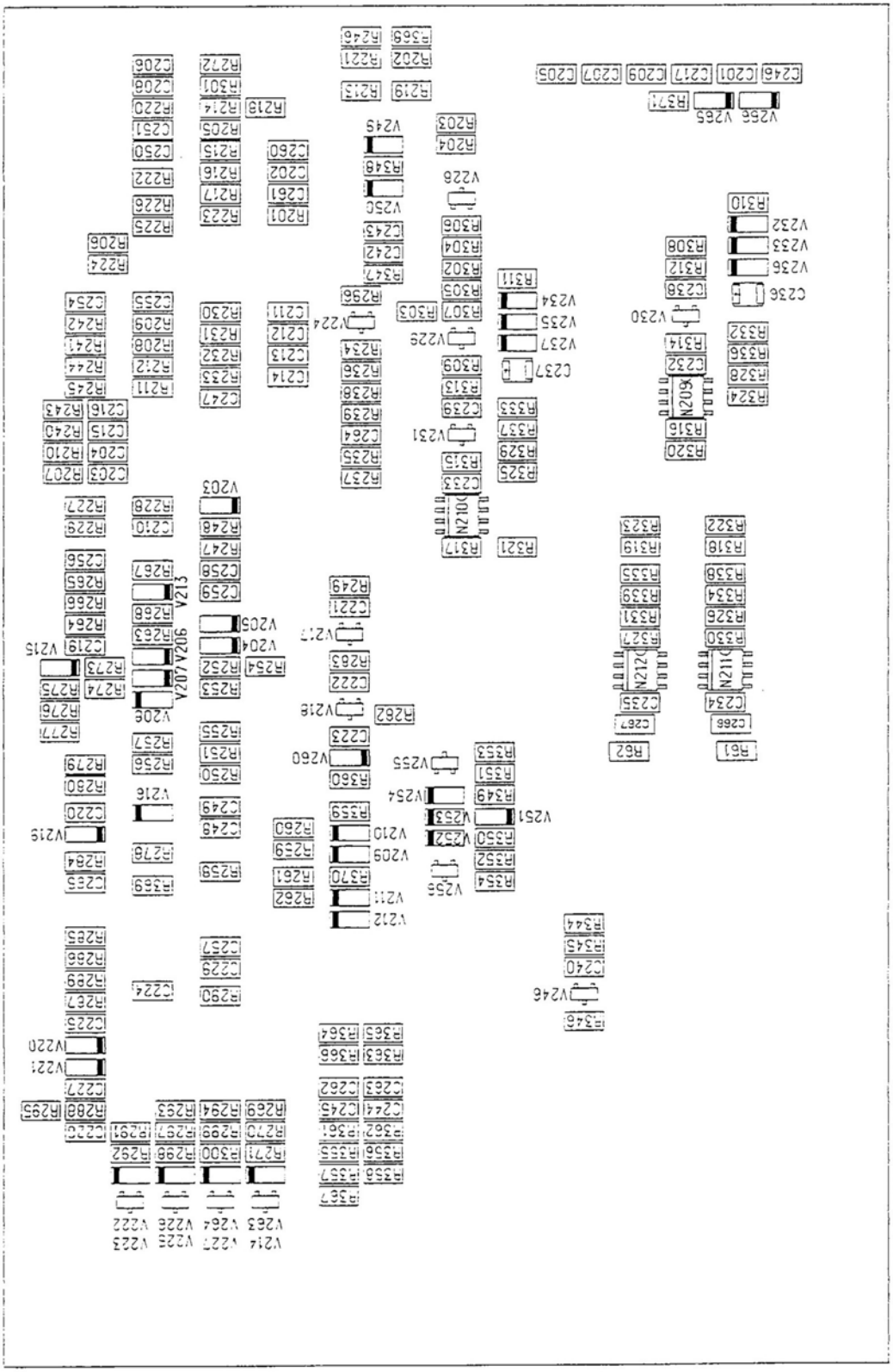
Da zum Zeitpunkt der Verstärker-Entwicklung nicht klar war, ob die dynamische Bremse als nicht mehr ganz zeitgemäße Funktion noch benötigt wird, wurde die Konstruktion zurückgestellt. Hierdurch können sich bei Bestellung längere Lieferzeiten ergeben.

6. ZEICHNUNGEN

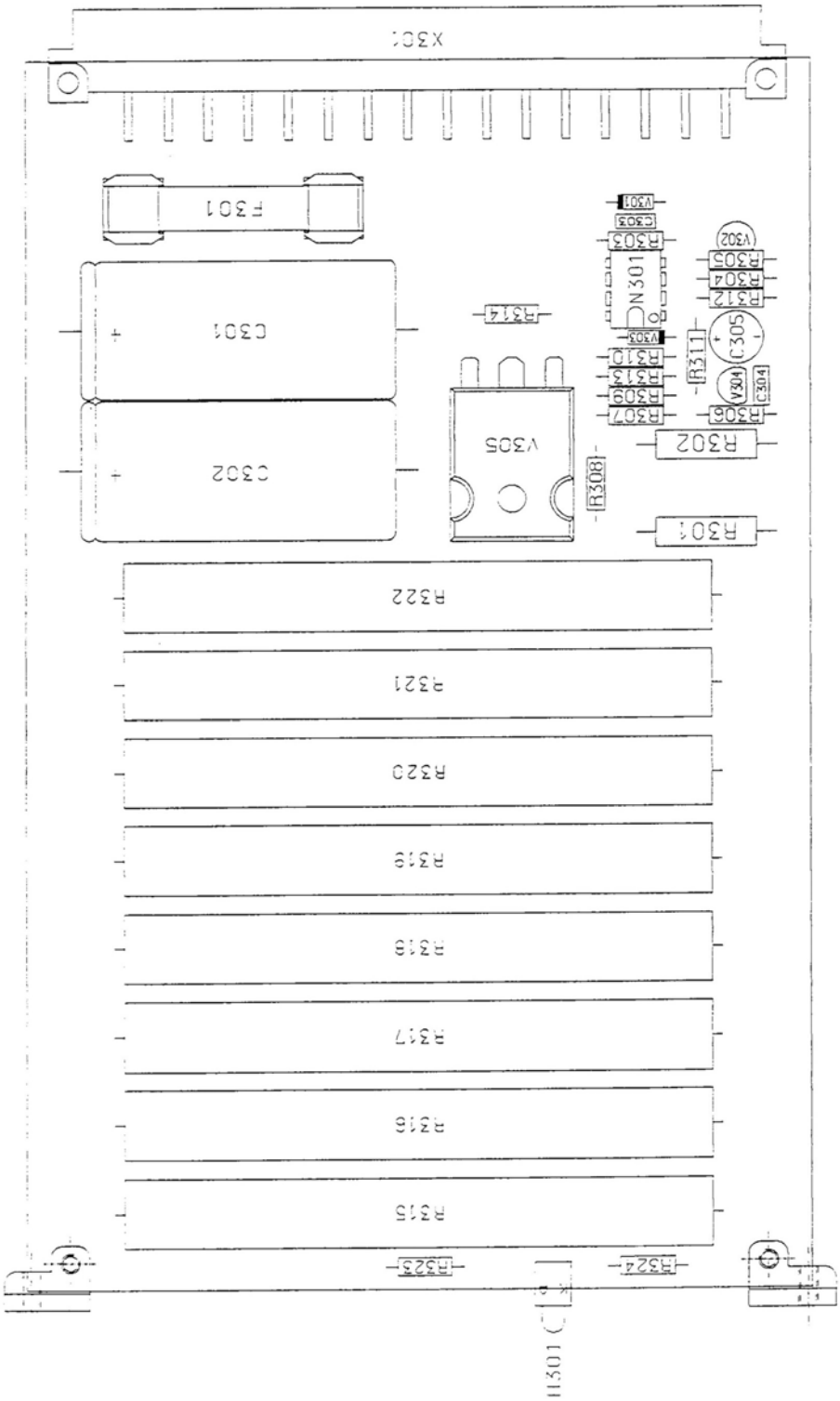
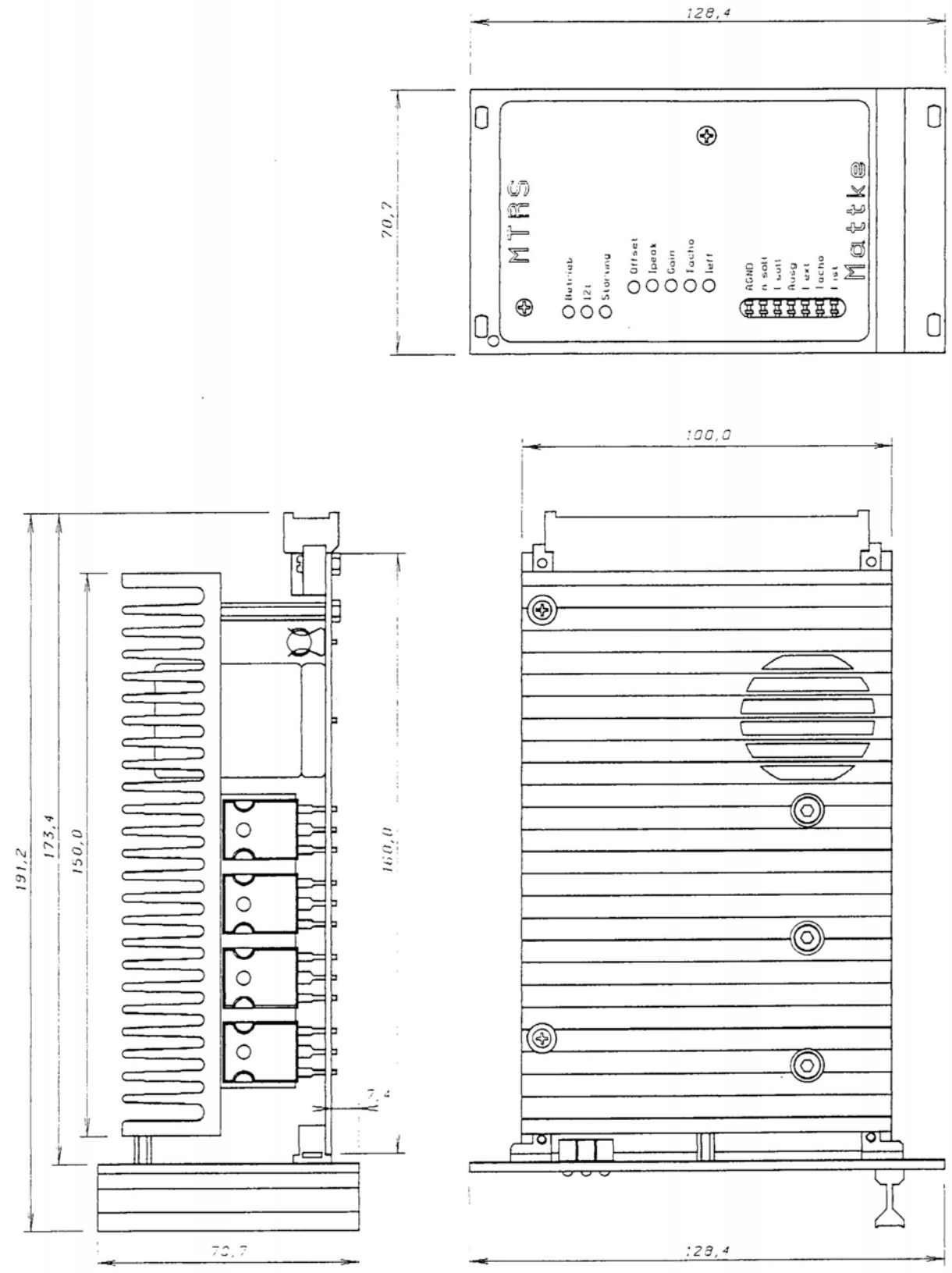
6.1 Bestückungsplan, Oberseite



6.2 Bestückungsplan, Unterseite



6.3 Bestückungsplan, Ballastschaltung



6.4 Abmessungen