

# Kompakte Flußwandler – SNT mit nichtlinearen Speicherdrosseln

Sonderdruck aus »Ferritkerne und induktive Bauelemente für die Leistungselektronik«, Broschüre zum ZVEI-Symposium, März 1987, Seiten 87 bis 98. Verfasser: W. Rößler

Das Eintakt-Durchflußwandler-Prinzip eignet sich für Schaltnetzteile mit Ausgangsströmen über ca. 4 A und kleinen bis mittleren Leistungen (ab ca. 30 Watt). Anhand verschiedener Applikationsschaltungen werden wirtschaftliche Flußwandlerschaltnetzteile vorgestellt. Sowohl die 50-W- als auch die 100-W-Version können auf einseitig kaschierten Leiterplatten im Europaformat untergebracht werden. Die Transformatoren sind mit den Ferritkernen der Form RM12 (50 W) bzw. ETD34 (100 W) aufgebaut. Für den RM12-Kern existiert ein Steckkammer-Spulenkörper, der ohne Isolationsfolien und Verguß die Luft- und Kriechstrecken für VDE 0806 einhält. Mit speziell geschliffenen Kernen RM10 und RM12 können Speicherdrosseln mit nichtlinearem Verhalten gebaut werden. Das Verhalten des Netzteils bei kleinen Lasten kann damit günstig beeinflusst werden. Zusätzliche Ausgangsspannungen können akzeptabel stabilisiert werden, wenn mehrere Wicklungen auf einen Drosselkern aufgebracht werden.

## 1. Nichtlineare Speicherdrosseln mit Ferritkern

Die hier beschriebenen Drosseln eignen sich für den Einsatz in getakteten Stromversorgungen, speziell Flußwandlern und Tiefsetzstellern. Durch eine spezielle Form des Mittelbutzens und eines Kerns RM10 wird ein nichtlineares Verhalten der Induktivität  $L$  erzeugt. Der  $L$ -Wert hängt stark von der Gleichstromvormagnetisierung ab: er liegt bei kleinen Strömen um den Faktor 20 höher als bei Maximallast. Die Vorteile solcher Drosseln liegen in wesentlich besseren Betriebsverhältnissen von Schaltnetzteilen speziell bei kleinen Lasten.

Speicherdrosseln für höhere Leistungen werden in Flußwandler-Schaltnetzteilen und Tiefsetzstellern eingesetzt.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Schaltungsaufbau solcher Wandler.

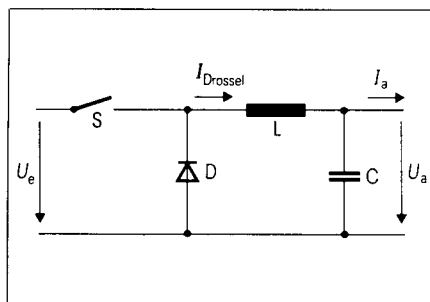


Bild 1 Tiefsetzsteller

Die unregelte Eingangsspannung  $U_c$  wird in eine niedrigere, geregelte Ausgangsspannung  $U_a$  transformiert. Die Regelung erfolgt durch Änderung des Tastverhältnisses, so daß

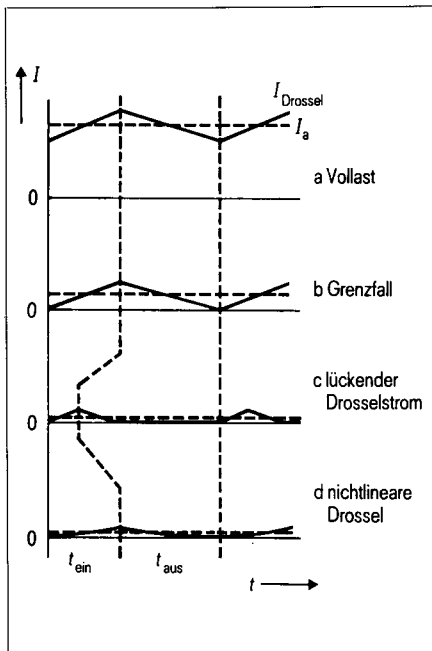
$$U_a = U_c \frac{t_{\text{ein}}}{t_{\text{ein}} + t_{\text{aus}}}$$

die geregelte Ausgangsspannung darstellt.

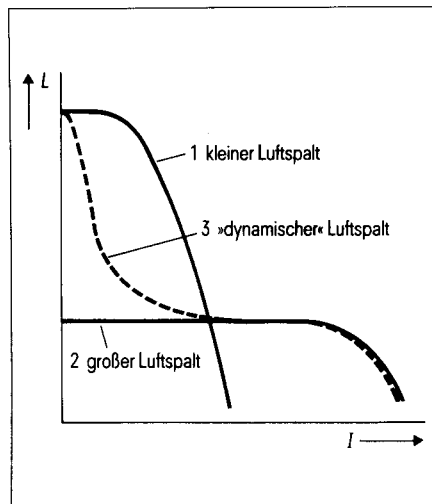
### 1.1 Lineare Speicherdrosseln

Während der Einschaltzeit (Schalter S geschlossen) steigt der Drosselstrom linear an. Der Anstiegswinkel wird vom Induktivitätswert der Drossel  $L$  und der Eingangsspannung  $U_c$  bestimmt. Wird der Schalter geöffnet, so fließt der Drosselstrom über die Freilaufdiode  $D$  weiter. Er nimmt dabei linear ab, wobei der Abfallwinkel von der Induktivität und der Ausgangsspannung  $U_a$  abhängt. Bild 2a zeigt den Stromverlauf bei voller Ausgangslast. Der Wechselstromanteil pendelt um einen Gleichstromanteil, der dem Ausgangsstrom entspricht. Der Wechselstrom wird von dem nachfolgenden Elektrolytkondensator  $C$  aufgefangen und äußert sich in einer Brummspannung am Ausgang, deren Höhe der Kapazitäts- und der  $L_{\text{esl}}$ -Wert des Kondensators bestimmen.

Eine Speicherdrossel mit hoher Induktivität bewirkt eine geringe Stromwelligkeit, so daß der Kapazitätswert entsprechend klein sein darf. Jedoch verschlechtern sich mit zunehmendem Induktivitätswert die dynamischen Eigenschaften des Wandlers bei Lastwechsel. Außerdem wird die Drossel größer und somit



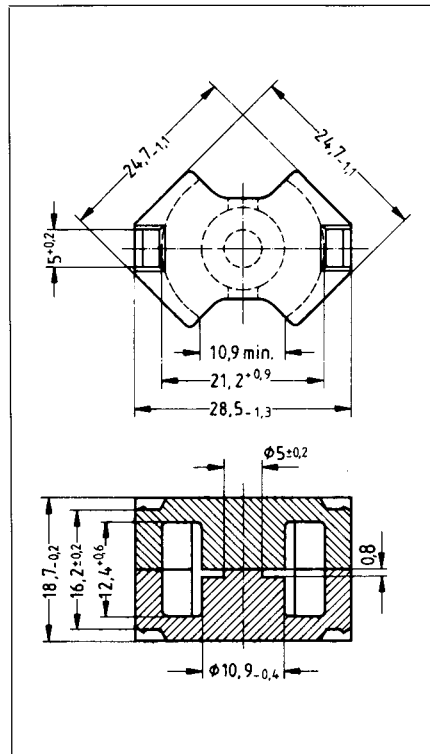
**Bild 2** Stromverläufe in der Speicherdrossel bei unterschiedlichen Lastverhältnissen



**Bild 3** Induktivitätsverlauf verschiedener Drosseln bei gleicher Kernform und Windungszahl

teurer. Ohne das Tastverhältnis verändern zu müssen, kann man den Ausgangsstrom bis zu den in **Bild 2b** gezeigten Grenzfall-Werten verringern. Die Kurve, die die Stromstärke darstellt, berührt dabei die Nulllinie.

Unterhalb dieses Grenzfall-Wertes, der in der Praxis im allgemeinen bei 10...20% der Maximallast liegt, beginnt der Drosselstrom zu »lücken«. Das Tastverhältnis ist stark von der Last abhängig (**Bild 2c**).



**Bild 4** RM10-Kern für nichtlineare Speicherdrosseln

Während bei nicht »lückendem« Strom der Regelverstärker nur die Schwankungen der Eingangsspannung und – geringfügig – die ohmschen Verluste ausgleichen muß, sind bei »lückendem« Strom auch noch Laständerungen zu berücksichtigen. Um Instabilitäten zu vermeiden, muß demzufolge der Regelverstärker in den meisten Fällen aufwendiger dimensioniert sein. Außerdem kann die Spannung an der Kathode der Freilaufdiode durch negative Drosselströme stark ansteigen. Dies kann einerseits die Diode gefährden und andererseits den Regelverstärker stören.

### 1.2 Nichtlineare Speicherdrosseln

**Bild 3** zeigt den Verlauf des Induktivitätswerts verschiedener Drosseln mit gleichem Kern und gleicher Windungszahl als Funktion des Magnetisierungsstromes und bei unterschiedlichen Luftspalten. Die Drossel, die die Kurve 1 darstellt (kleiner Luftspalt), hat bei niedrigen Strömen ein hohes  $L$ , das aber rasch bei steigendem Strom wegen Kernsättigung abnimmt. Vergrößert man den Luftspalt, so erhält man Kurve 2. Die Induktivität ist zwar geringer, aber über

einen weiten Strombereich konstant. Damit der Drosselstrom bei kleinen Lasten nicht »lückt«, benötigt man die erste, bei hohen Strömen die zweite Drossel. Eine Drossel nach Kurve 3 erfüllt beide Forderungen. Sie verhält sich nicht mehr so, als hätte sie einen festgelegten Luftspalt. Dieser stellt sich »dynamisch« auf die Last ein, und zwar nicht mittels mechanischer Bewegung, sondern dadurch, daß ein definierter Bereich des Ferritkerns schon bei kleinen Strömen in die Sättigung geht (da die entsprechende magnetische Flußdichte mit abnehmendem Querschnitt zunimmt).

Infolgedessen wird der Bereich der Stufe (siehe **Bild 4**) deutlich vor dem restlichen Material gesättigt und wirkt wie ein variabler Luftspalt. Der gesamte Vorgang ist sehr komplex, so daß die dafür optimale Kernform kaum analytisch berechenbar ist. Die empirisch bestimmte und in **Bild 4** gezeigte Kernform hat sich sowohl in elektrischer Hinsicht für den Anwender als auch nach fertigungstechnischen Gesichtspunkten des Ferritwerks als brauchbar erwiesen. Die Bauform der RM-Reihe zeichnet sich besonders durch gute Raumausnutzung aus. Bei kleinstem Platzbedarf bietet sie viel Ferritvolumen und Wickelraum. Das nichtlineare Induktivitäts-Verhalten wird durch den stufenförmig geformten Mittelbutzen einer Kernhälfte ermöglicht. Das Gegenstück besteht aus einem herkömmlichen Ferritkern RM10 ohne Luftspalt.

### 1.3 Verhalten einer Schaltung

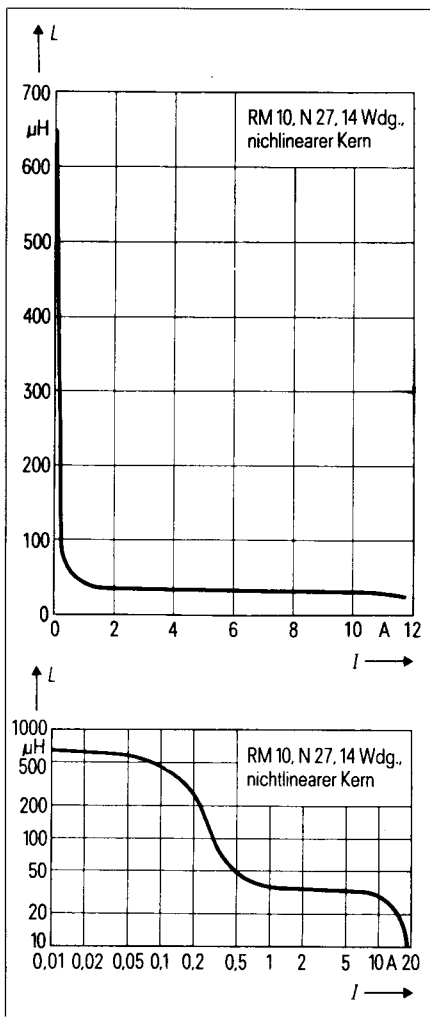
Durch die um den Faktor 20 gegenüber dem Wert bei Vollast erhöhte Induktivität bei kleinen Strömen verflacht sich in der Gegend der Strom-Nulllinie der Anstiegswinkel so stark, daß der Strom auch bei kleinsten Lasten nicht ganz Null wird. **Bild 2d** zeigt die resultierende Kurvenform. Der Regelkreis kann somit viel einfacher aufgebaut werden.

Jede Steuerschaltung hat wegen interner Laufzeiten eine nicht unendlich reduzierbare Steuerimpulsbreite. Ist diese bei linearen Drosseln und kleinster Last immer noch zu breit, so steigt entweder die Ausgangsspannung an oder es werden Impulse ganz unterdrückt. Letzteres führt bei Schaltfrequenzen, die norma-

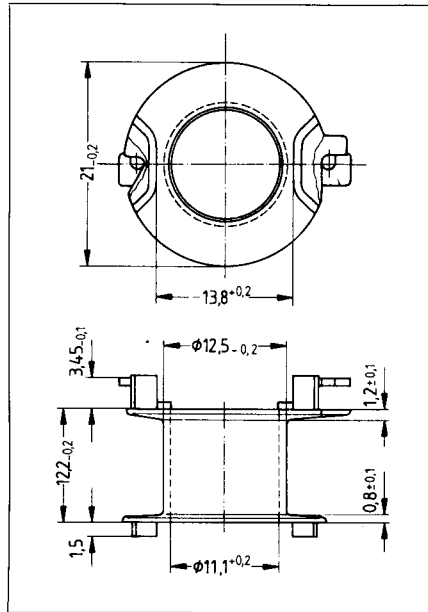
erweise im Überschallbereich (20 kHz) liegen, zu hörbaren Mischfrequenzen. Bei nichtlinearen Drosseln dagegen treten beide negativen Effekte nicht auf.

#### 1.4 Magnetisierungskennlinie

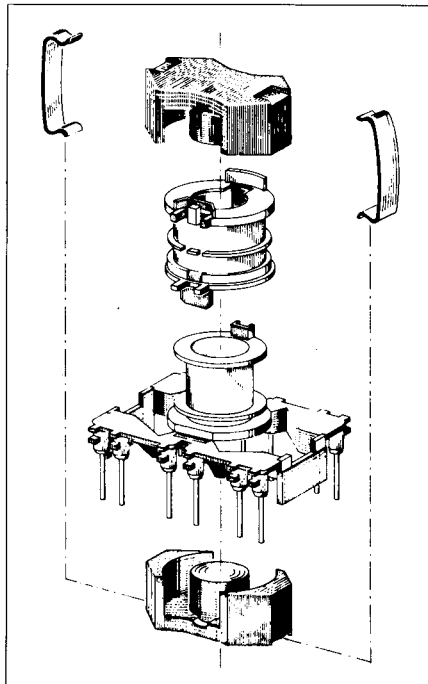
**Bild 5** zeigt den Verlauf der Induktivität als Funktion der Vormagnetisierung im doppelt logarithmischen und im linearen Maßstab. Die im Anwendungslabor entwickelte Drossel TD 3003 (RM10) mit einer Windungszahl  $n = 14$  ( $D = 1,3$  mm) ist für eine Flußwandlerschaltung mit  $5$  V/10 A ausgelegt. Der Kupferwiderstand von  $10$  mOhm bewirkt eine Verlustleistung von  $1$  W bei  $I = 10$  A. Dies ergibt ein günstiges Verhältnis zwischen übertragener Leistung und Verlusten.



**Bild 5** Abhängigkeit der Induktivität von der Gleichstrom-Vormagnetisierung im linearen und doppelt logarithmischen Maßstab



**Bild 6** Stiftloser Spulenkörper RM10



**Bild 7** Steckkammer-Spulenkörper RM12

Für Leistungen von  $100$  Watt gibt es einen entsprechend geformten Kern RM12. Die Abmessungen sowie die Kennlinie sind im Datenbuch »Ferrite und Zubehör« angegeben.

#### 1.5 Spulenkörper für Leistungsdrosseln RM10

Der in **Bild 6** dargestellte Spulenkörper ist ohne Lötstifte. Er ist für Drahtstärken

bis zu  $1,3$  mm gedacht. Bei solchen Dicken ist es am sinnvollsten, den Draht selbst als Kontaktstift für die Leiterplattenmontage zu benutzen. Die Anschlüsse werden durch die Befestigungslaschen des Spulenkörpers fixiert.

## 2. Transformatoren für Flußwandler

Die oben beschriebenen Tiefsetzsteller-Schaltungen eignen sich nur bei nicht potentialgetrennten Anwendungen (durchgehende Masse) sowie (aus Gründen eines vernünftigen Tastverhältnisses) bei Spannungsdifferenzen von maximal Faktor  $10$  zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung. Für alle anderen Einsatzfälle wird ein Transformator zur Potentialtrennung sowie Spannungstransformation notwendig. Aus der Vielzahl der Möglichkeiten sollen hier zwei Beispiele praktisch realisierter Netzteile aus der Anwendungstechnik vorgestellt werden. Dies sind jeweils eine Flußwandler-Schaltung auf Europakarte für  $50$  bzw.  $100$  Watt mit Wirkungsgraden von ca.  $75\%$  (Maximallast).

### 2.1 Steckkammer-Trafo RM12

Für Trafos mit Ausgangsleistungen bis zu  $50$  Watt eignet sich beispielsweise ein Ferritkern RM12. Mit einer minimalen Querschnittsfläche von  $125$  mm<sup>2</sup> wird er bei dieser Anwendung nur etwa bis zur Hälfte der maximalen Induktion angesteuert. Die Schaltfrequenz liegt bei  $50$  kHz, die Windungsspannung bei ca.  $3$  V.

Diese Dimensionierung zeichnet sich dahingehend aus, daß die Verlustleistung im Trafo minimal ist (entsprechend der alten Faustregel: Eisenverluste = Kupferverluste). Bemerkenswert ist hier der Spulenkörper.

Da bekanntlich für VDE 0806 minimale Kriechstrecken von  $6$  mm gefordert werden, ist es mit zunehmender Miniaturisierung des Trafos immer schwieriger, diese Werte einzuhalten. Bei einer konventionellen Isolation zwischen den Wicklungen mit Kunststoff-Folie muß dabei entsprechend am Rand eingerückt werden. Dies reduziert den ohnehin schon knappen Wicklungsraum.

Verwendet man jedoch das in **Bild 7** dargestellte Steckkammer-System, so kann auf Isolationsfolien sowie Einrück-

ken gänzlich verzichtet werden. Die Wicklungen der Primärseite werden auf den Stiftträger aufgebracht und alle an einer Stiftreihe angeschlossen. Die dann aufgesteckte Hülse isoliert die Primär- von der Sekundärwicklung. Durch entsprechend geformte Nasen werden die Drahtausführungen abgedeckt. Auf die Hülse werden dann die Sekundärwicklungen aufgebracht und an der zur Primärseite gegenüberliegenden Stiftreihe angeschlossen.

Mit diesem Spulenkörper werden somit auch ohne Verguß die in VDE 0806 geforderten Bedingungen eingehalten. Die Schaltung zeigt **Bild 8**. Es handelt sich hierbei um einen Eintakt-Flußwandler.

## 2.2 Flußwandler mit mehreren Ausgangsspannungen

Sollen aus einem Netzteil mehrere unterschiedliche Ausgangsspannungen entnommen werden, so gibt es die Möglichkeit, auf einen Drosselkern mehrere Wicklungen aufzubringen. **Bild 8** zeigt eine Anwendungsschaltung, die auf einer Europakarte die Spannungen +5 V/5 A, +12 V/2 A sowie -12 V/100 mA erzeugt.

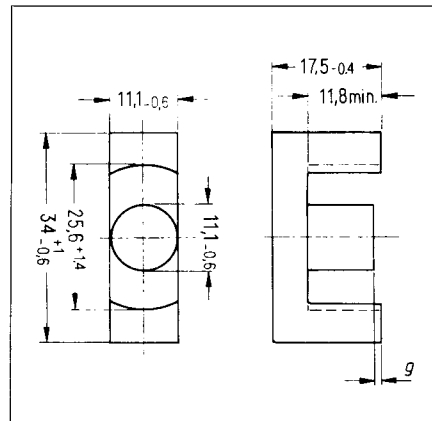
Die 5-V-Spannung wird nach dem bekannten Flußwandler-Prinzip gewonnen und mit der Optokoppler-Regelung exakt stabilisiert.

Die Abweichungen liegen unter  $\pm 1\%$  und sind in erster Linie auf Spannungsabfälle auf Leiterbahnen und dem Steckkontakt des Labormusters zurückzuführen.

Für den 12-V-Ausgang wird nur eine Spannung von 7 V erzeugt, die dann auf die 5 V aufgestockt wird. Da die auch hier nötige Drossel auf den gleichen (nichtlinearen) Kern wie die Drossel für die 5 V gewickelt wird, wird die 12-V-Spannung akzeptabel mitstabilisiert. Durch geschickte Abstimmung der Trafo- bzw. Drosselwicklungen beträgt die Abweichung bei allen möglichen Lastkombinationen der beiden Ausgänge +5 V und +12 V maximal  $\pm 8\%$ .

## 2.3 Trafo mit ETD34

Während bei dem RM12-Trafo auf minimale Verlustleistung geachtet wurde, war bei dem folgenden Trafo das Ziel, möglichst viel Leistung zu übertragen.



**Bild 9 Ferritkern ETD34**

Die Windungsspannung liegt knapp über 3 Volt, die Frequenz auch hier bei 50 kHz. Da der minimale Eisenquerschnitt nur  $91,6 \text{ mm}^2$  beträgt, wird der Ferritkern bis zu 300 mT angesteuert. Deshalb ist es hier besonders wichtig, ein Ferritmaterial mit niedrigen Verlusten (z.B. N67) einzusetzen. Aufgrund des verhältnismäßig großen Wickelfensters kann bei dieser Kernform mit großen Drahtstärken gearbeitet werden.

Bei der Anwendung 5 V/20 A wurde z. B. für die Sekundärwicklung eine Kupferlitze  $50 \times 0,2$  verwendet.

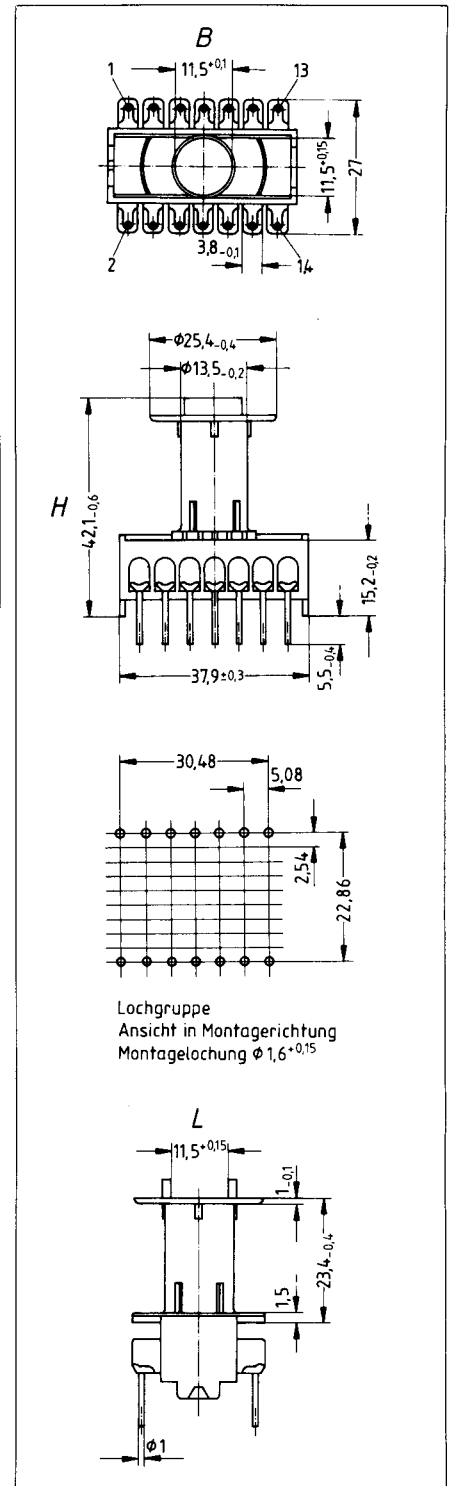
**Bild 11** zeigt die Schaltung. Es handelt sich hier um eine asymmetrische Halbbrücke. Bei ihr werden zwar 2 SIPMOS-Schalttransistoren benötigt, jedoch können hier 500-Volt-Typen eingesetzt werden (gegenüber 1000 Volt bei der Schaltung in **Bild 8**). Aufgrund des deutlich niedrigeren  $R(\text{DSon})$ -Wertes der 500-Volt-Transistoren können Typen mit kleinerer Chipfläche verwendet werden. Der Preis für die beiden Transistoren zusammen liegt bei etwa der Hälfte verglichen mit dem für 100 Watt notwendigen 1000-Volt-SIPMOS.

Als eine weitere Vereinfachung braucht ein Trafo für die asymmetrische Halbbrücke keine Abmagnetisierungswicklung, da der Kern über die Primärwicklung entmagnetisiert wird.

Die Speicherdrossel hat wiederum einen nichtlinearen Kern RM12.

## 3. Schlußbemerkung

Die Bestellnummern aller oben erwähnten Ferrite sowie Zubehör sind im Datenbuch »SIEMENS Ferrite 1986/87« enthalten.



**Bild 10 Spulenkörper ETD34**

Weitere Unterlagen für die hier beschriebenen Schaltungen sowie Wickel-daten der Trafos und Drosseln können beim Autor direkt unter nachstehender Anschrift angefordert werden:  
Abt. B V AT UE 3,  
Balanstraße 73, 8000 München 80.

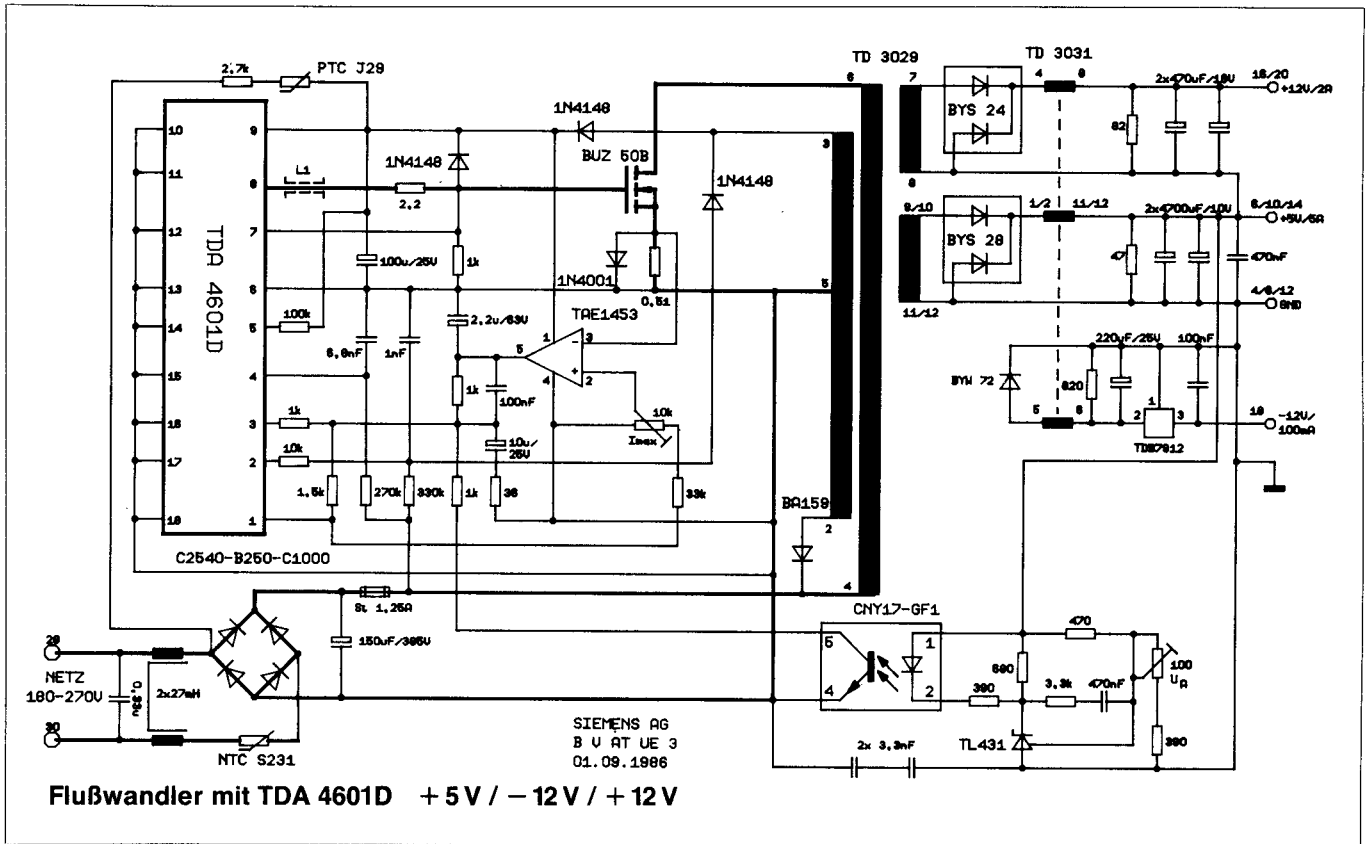


Bild 8 Flußwandlerschaltung für 50 Watt mit 3 Ausgangsspannungen. Trafo RM12; Drossel RM10 (nichtlinear)

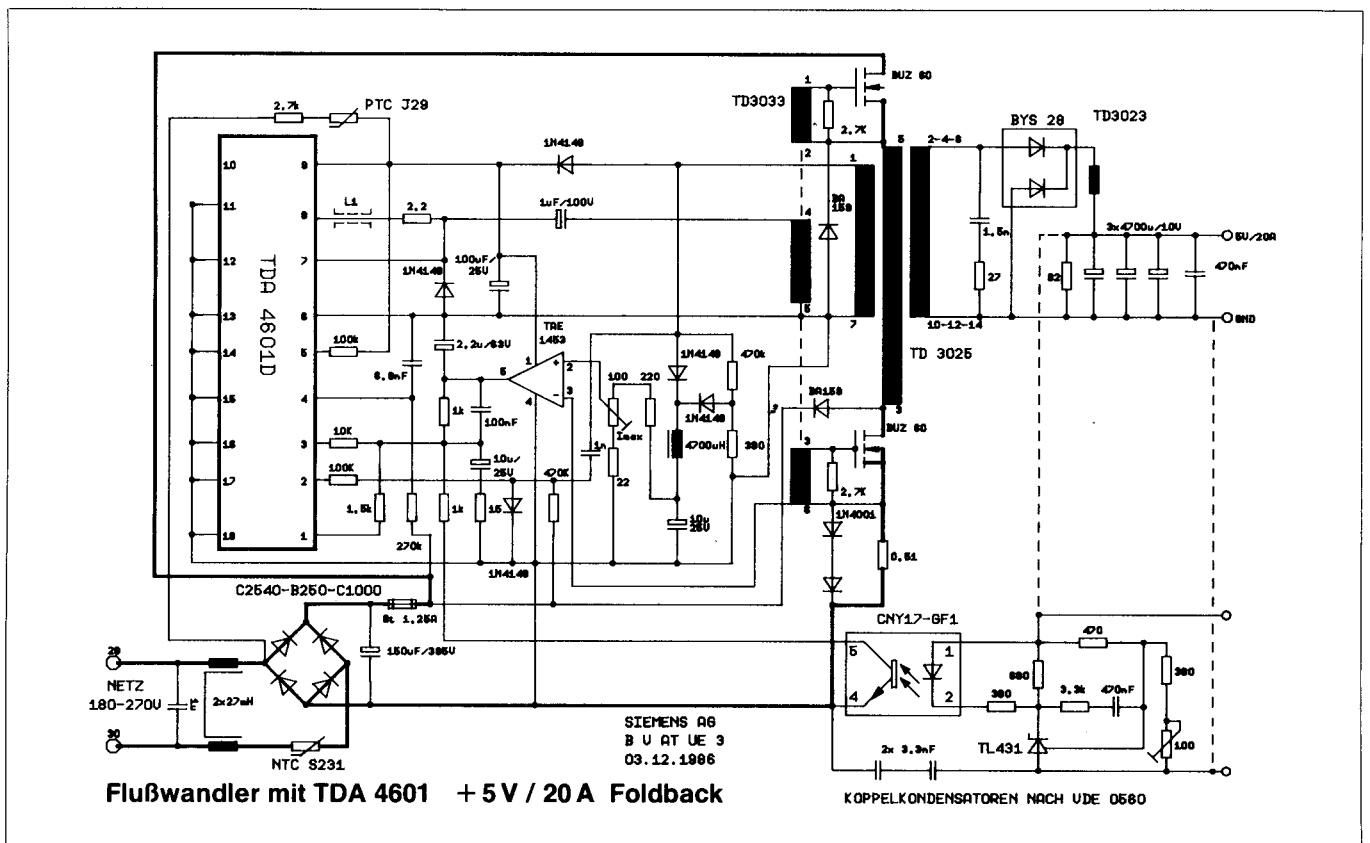


Bild 11 Flußwandlerschaltung für 5V/20 A. Trafo ETD34; Drossel RM12 (nichtlinear)