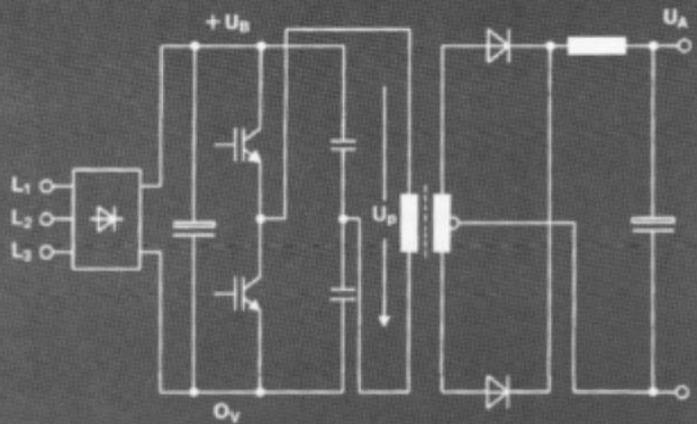


VITROPERM 500 F • VITROVAC 6030 F
*Ringbandkerne in Leistungsübertragern für
 getaktete Stromversorgungen*
*Tape-Wound Cores in Power Transformers for
 Switched Mode Power Supplies*



VITROPERM 500 F und VITROVAC 6030 F

Ringbandkerne in Leistungsübertragern für getaktete Stromversorgungen

Tape-Wound Cores in Power Transformers for Switched Mode Power Supplies

1. Allgemeines

Der Leistungsübertrager in einer getakteten Stromversorgung transformiert Ströme sowie Spannungen und sorgt für die galvanische Trennung von Stromkreisen. Er ist in der Regel das technisch anspruchsvollste induktive Bauelement. Wegen der sehr unterschiedlichen Anforderungen ist eine Standardisierung nahezu ausgeschlossen, d.h., der Leistungsübertrager wird fast immer gerätespezifisch dimensioniert.

Die übertragenen Leistungen reichen von wenigen Watt bis in den kW-Bereich. Unterhalb etwa 50 Watt setzt man Sperrwandler ein, darüber Durchflußwandler. Bei diesen wiederum dominiert bis ca. 500 W der Eintakt-Durchflußwandler, darüber der Gegentaktwandler.

Die Schaltfrequenzen werden bestimmt durch die Verluste der Halbleiter und der induktiven Bauelemente sowie durch die Erfordernisse der Funkentstörung.

Beim Aufbau des Übertragers spielen die geforderten Ein- und Ausgangsgrößen zunächst die Hauptrolle. Ebenso wichtig sind aber auch die räumlichen Verhältnisse (vorgegebene Maximalabmessungen in jeder Richtung), die Isolationserfordernisse sowie Normen und Vorschriften.

Als Kernformen kommen E-Kerne (bei großen Leistungen auch Kombinationen aus U- und I-Kernen) und Ringkerne zum Einsatz. Die Frage, welche Kernform vorzuziehen ist, kann nicht generell beantwortet werden. In letzter Zeit ist jedoch ein gewisser Trend hin zu Ringkernen erkennbar.

2. Werkstoffvorteile

Bei technisch anspruchsvollen Lösungen sind metallische Ringbandkerne aus dem nanokristallinen Werkstoff VITROPERM 500 F und dem amorphen Material VITROVAC 6030 F gegenüber Ferriten im Vorteil.

Beide Werkstoffe bieten durch ihre flachen Hystereseschleifen ohne nennenswerte Remanenz sowie die hohe Sättigungsinduktion einen großen unipolaren Induktionshub. Bei 100 °C beträgt er für VITROPERM 500 F ca. 1 T bzw. ca. 0,7 T für VITROVAC 6030 F (Ferrite sind nur bis ca. 0,25 T aussteuerbar). Das führt zu einer kleinen Baugröße und einem niedrigen Gewicht.

1. General

Power transformers in a switched power supply system transform currents as well as voltages and provide for the galvanic separation of circuits. As a rule, power transformers are the inductive components which are technically most demanding. The great variety in requirements does not allow much standardization, i.e. power transformers will in almost every case be dimensioned in relation to a specific device.

The transformed power ranges from just a few watts up to the kilowatt range. Below approximately 50 watts flyback converters are used; feed forward converters at higher power. And here, up to approximately 500 W, single ended converters dominate; above 500 W, push-pull converters will be used.

Switching frequencies will be determined by semiconductor and inductive component losses, as well as by the requirements of RFI suppression.

For transformer design, the required input and output values will initially play the most important part. But just as important will be space considerations (specified maximum dimensions in each direction), insulation requirements, as well as standards and regulations.

With regard to core shapes, E-cores (for larger power even combinations of U- and I-cores) as well as toroidal cores are used. The question which type of core form is to be preferred cannot be answered in general. However, recently a certain trend towards toroidal cores has become recognizable.

2. Advantages of Materials

For technically demanding solutions, however, metallic tape-wound cores made of the nanocrystalline VITROPERM 500 F and the amorphous material VITROVAC 6030 F are more advantageous than ferrites.

Both materials offer a high unipolar induction swing due to their flat hysteresis loops without remarkable remanence at a high saturation induction. The unipolar induction swing reaches approximately 1 T in case of VITROPERM 500 F and 0.7 T in case of VITROVAC 6030 F at 100°C (ferrites can only be driven up to approximately 0.25 T). This enables small transformer size and low weight.

VITROPERM 500 F ist der ideale Werkstoff für Gegentaktwandler. Hier vermindert die flache Schleife bei hohem Induktionshub die Gefahr der einseitigen Kernsättigung durch temporär unterschiedliche Spannungszeitflächen der Ansteuerung. Dadurch kann mit höheren Permeabilitäten gearbeitet werden, die zu weiteren Vorteilen führen. VITROVAC 6030 F wird durch die hohe unipolare Aussteuerbarkeit in Verbindung mit seiner eher niedrigen Permeabilität (gutes Rückstellverhalten) zum optimalen Werkstoff für Eintaktdurchflußübertrager.

Unsere Materialien besitzen zudem niedrige Verluste. Die Ummagnetisierungsverluste bei 100 kHz, 0,2 T und Raumtemperatur betragen ca. 40 mW/g bei VITROVAC 6030 F und ca. 35 mW/g bei VITROPERM 500 F. Ferrite liegen hier mit ca. 80 - 180 mW/g deutlich höher. Die Kupferverluste können vom Anwender klein gehalten werden, da durch den großen nutzbaren Induktionshub und die hohe Permeabilität, also Induktivität, die Windungszahlen klein und die Kupferquerschnitte somit groß dimensionierbar sind.

Bei hoher Aussteuerung kann ein weiterer Frequenzbereich genutzt werden. Neben vergleichsweise niedrigen Verlusten trägt dazu bei, daß die Hauptinduktivität nur eine geringe Frequenzabhängigkeit besitzt und die Streuinduktivitäten durch die Ringkerngeometrie und die niedrigen Windungszahlen klein sind. Hierdurch ist auch die magnetische Kopplung gut. Überspannungsspitzen an den Schalttransistoren können klein gehalten werden. Außerdem ist das äußere Streufeld gering.

Die Anwendungstemperaturen von VITROVAC 6030 F und VITROPERM 500 F reichen typischerweise von -40°C bis +120°C. Die hohe maximale Betriebstemperatur führt zu einem weiteren Volumenvorteil und wird möglich durch die große thermische Stabilität unserer Werkstoffe und ihrer Eigenschaften. Die Kernverluste von VITROVAC 6030 F und VITROPERM 500 F nehmen bei 100 °C gegenüber Raumtemperatur um ca. 3% ab. Ferrite zeigen im gleichen Temperaturbereich starke, vom Material abhängige Schwankungen. Meist liegt hier das Verlustminimum bei etwa 80°C, die steile Zunahme bei höheren Temperaturen erschwert die empirische Optimierung der Übertrager. Die Abnahme des nutzbaren Induktionshubes zu hohen Temperaturen hin ist bei unseren Werkstoffen mit ca. 10% bei 100°C gegenüber Raumtemperatur gering. Ferrite fallen hier um 20 bis 30% ab. Die Permeabilität ändert sich bei VITROVAC 6030 F und VITROPERM 500 F bis 100°C um weniger als 10%, bei Ferriten ist der Verlauf meist nicht kontinuierlich, die Schwankungsbreite beträgt ca. 50%.

Die Vorteile nanokristalliner und amorpher Ringbandkerne in Leistungsübertragern können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Geringes Volumen bzw. Gewicht** durch:
 - hohe Aussteuerbarkeit und
 - geringe spezifische Verluste des Kernmaterials.
- **Großer Temperaturbereich von - 40 bis + 120°C**, sehr geringe Temperaturabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften
- **Reduzierter Aufwand für Funkentstörung** durch
 - niedrige Schaltfrequenzen.
 - luftspaltlose Kernformen (minimale Streufelder).
- **Niedrige Halbleiterverluste** durch niedrige Schaltfrequenzen (möglich durch hohen Induktionshub).

VITROPERM 500 F suits ideally for push-pull converters. Operating at high induction swings, the flat hysteresis loop reduces the hazard of core saturation in the event of temporarily varying voltage time integrals of the drive signal. This enables the use of high permeabilities resulting in further benefits. VITROVAC 6030 F is the best choice for single ended forward converters because of its combination of high unipolar induction swing and fairly low permeability (for fast demagnetization in the pulse pause).

In addition, our materials are characterized by low losses. Core losses at 100 kHz, 0.2 T, and room temperature will be approximately 40 mW/g for VITROVAC 6030 F, and approximately 35 mW/g for VITROPERM 500 F. With approximately 80 - 180 mW/g, ferrites suffer significantly higher losses. Copper losses can be kept small by users due to the large usable induction swing and high permeability, i.e. inductivity, the number of turns will be small and copper cross-sections can thus be dimensioned to be quite large.

A wide frequency range can be used at even high induction swing. Beside low core losses, the main inductance of a VITROVAC or VITROPERM transformer will be dependent on frequency to a very small extent only, and as leakage inductances will be small due to the toroidal geometry and the low number of turns possible. This results in good magnetic coupling properties, and excess voltage peaks on switching transistors can be kept small. Moreover, there will be a low external leakage field.

The application temperatures of VITROVAC 6030 F and VITROPERM 500 F typically range from -40°C to +120°C. This high maximum operating temperature provides a further volume advantage and is made possible by the large thermal stability of our materials and their properties. Core losses of VITROVAC 6030 F and VITROPERM 500 F will decrease by 3% at 100 °C, when compared to room temperature. The core losses of ferrites vary strong in the given temperature range. In most cases, minimum loss will occur at approximately 80°C; the steep increase at higher temperatures makes empirical optimization of transformers very difficult. Our materials feature a very low decrease in usable induction swing within the high temperature range, i.e. approximately 10% at 100°C when compared to room temperature. Ferrites will decrease by 20 to 30%. For VITROVAC 6030 F and VITROPERM 500 F, permeability will change by less than 10% in temperatures up to 100°C; for ferrites, the curve will usually be discontinuous, with a 50% fluctuation margin (approx.).

The benefits of nanocrystalline and amorphous tape-wound cores in switched-mode power transformers can be summarized as follows:

- **Low volume and weight** due to:
 - high flux density and
 - low specific losses of the core material.
- **Wide temperature range from - 40 up to + 120°C**, material properties very stable in the operational temperature range.
- **Less filtering and RFI noise suppression** due to
 - low switching frequencies.
 - core design without airgap (smallest stray fields).
- **Low semiconductor switch losses** by low operational frequencies due to high induction flux density.

3. Kerne für Hochleistungsübertrager im Kilowatt-Bereich

Aufgrund der Entwicklungen auf dem Gebiet der Leistungshalbleiter werden gegenwärtig auch Stromversorgungen im kW-Bereich in getakteter Ausführung entwickelt.

Anwendungsgebiete sind zur Zeit:

- **Telekommunikation** (Stromversorgungen für die Amtstechnik, Mobilfunk)
- **Bahntechnik, Flurfördertechnik** (Batterieladegeräte)
- **Schweißtechnik** (getaktete Stromrichter)

Zukünftig werden verstärkt hinzukommen:

- **Elektrofahrzeuge** (Batterieladegeräte, Motorwechsel-richter)
- **Solartechnik** (Wechselrichter)
- **Induktionsöfen**

Die Schaltungstechnik unterscheidet sich nicht grundsätzlich von derjenigen für kleinere Leistungen. Allerdings liegen die Schaltfrequenzen in der Regel noch deutlich niedriger. Arbeitsprinzip ist meist der Gegentaktwandler.

Leistungsübertrager mit Kernen aus VITROPERM 500 F bietet hier Volumen- und Größenvorteile oftmals um den Faktor 2 und mehr gegenüber Ferriten!

In der folgenden Tabelle sind einige typische Kerngrößen und die mit ihnen erzielbare Übertragungsleistung aufgeführt. Diese Angaben können natürlich nur Richtwerte sein.

Randbedingungen sind:

Frequenz $f = 20 - 50$ kHz, Umgebungstemperatur $T < 60$ °C, zulässige Erwärmung $\Delta T = 50$ K. Ausführung vergossen.

Kernabmessungen d1 x d2 x h1 [mm]	Leistung Gegentaktübertrager ca. [W] VITROPERM 500 F
50x40x20	1 300 - 2 500
52x40x25	2 000 - 3 500
55x40x25	2 500 - 4 000
63x50x25	2 500 - 4 000
80x63x25	4 000 - 6 500
100x80x25	6 000 - 10 000
100x80x25 x 2	12 000 - 20 000
130x100x25	11 000 - 18 000
130x100x25 x 2	16 000 - 26 000
130x100x25 x 3	22 000 - 35 000
130x100x25 x 4	26 000 - 40 000

Eine aktuelle Typenübersicht finden Sie auf unserer Internetseite unter <http://www.vacuumschmelze.com>.

3. Cores for High Performance Power Transformers within the Kilowatts Range

In line with developments in the area of power semiconductors, switched mode power supplies for kW-range applications are currently being developed.

Known areas of application currently are:

- **telecommunications** (telephone exchange power supplies, Base Stations)
- **railways technology**, mechanical handling equipment technology (battery charging devices)
- **welding technology** (switched mode Converters)

In future, these will increasingly be extended to:

- **electric vehicles** (battery charging devices, motor inverters)
- **solar technology** (inverters)
- **induction heating**

Circuit engineering is not fundamentally different from that used for lower performance power transformers – usually at lower switching frequencies. The principle of operation will mostly be of the push-pull converter type.

Power Transformers with Cores made of VITROPERM 500 F frequently offers volume and size advantages over ferrites by a factor 2 and more!

The table below lists some typical core sizes and the transmitted power values these can achieve, although these data naturally are for guidance only.

Preconditions are:

Frequenz $f = 20 - 50$ kHz, ambient temperature $T < 60$ °C, permitted heating $\Delta T = 50$ K. Moulded design.

Core Dimensions d1 x d2 x h1 [mm]	Power: Push-Pull Converter, approx. [W] VITROPERM 500 F
50x40x20	1 300 - 2 500
52x40x25	2 000 - 3 500
55x40x25	2 500 - 4 000
63x50x25	2 500 - 4 000
80x83x25	4 000 - 6 500
100x80x25	6 000 - 10 000
100x80x25 x 2	12 000 - 20 000
130x100x25	11 000 - 18 000
130x100x25 x 2	16 000 - 26 000
130x100x25 x 3	22 000 - 35 000
130x100x25 x 4	26 000 - 40 000

For an up-to date type list please visit our home page <http://www.vacuumschmelze.com>.

4. Dimensionierung von Leistungsübertragern

Eine erste Grobdimensionierung kann mit unserer Unterstützung erfolgen. Bitte füllen Sie hierzu das beiliegende Blatt „Checkliste Kerne für Leistungsübertrager“ aus.

Grundsätzliche Zusammenhänge:

Die an der Primärwicklung anliegende Spannung bewirkt einen Stromfluß und somit gemäß der ersten Maxwell'schen Gleichung ein magnetisches Feld im Innern der Primärspule. Dieses magnetische Feld führt zu einer Induktionsänderung im Kern, wodurch in der Sekundärwicklung gemäß der zweiten Maxwell'schen Gleichung eine im Verhältnis der Windungszahlen transformierte Spannung induziert wird.

Ein idealer Kernwerkstoff würde infolge seiner unendlich hohen magnetischen Leitfähigkeit den von der Primärwicklung erzeugten magnetischen Fluß so führen, daß er mit allen Windungen der Sekundärwicklung des Übertragers verkettet ist. Die Eingangsgrößen von Strom und Spannung würden sich dann lediglich durch das Windungszahlenverhältnis von den Ausgangsgrößen unterscheiden.

Beim realen Übertrager sind jedoch Verluste und parasitäre Kapazitäten durch Kernwerkstoff und Wicklung zu berücksichtigen.

Durch den primären Kupferwiderstand R_p reduziert sich die an der Hauptinduktivität L anliegende Spannung, und nur diese erzeugt das magnetische Feld im Kern. Eine zusätzliche Reduzierung der Eingangsspannung erfolgt durch die primäre Streuinduktivität L_s , da ein Teil des von der Primärwicklung erzeugten Flusses nicht mit der Sekundärwicklung verkettet ist.

Die im Kernwerkstoff entstehenden Ummagnetisierungsverluste werden im Ersatzschaltbild durch einen Parallelwiderstand R zur Hauptinduktivität L berücksichtigt. Der sekundäre Laststrom I_s führt ebenso wie der Primärstrom I_p zu einem Spannungsabfall am sekundären Wicklungswiderstand R_s und an der sekundären Streuinduktivität L_s . Da die Spannungsabfälle vom Laststrom I_s und die Impedanz der Streuinduktivität zusätzlich von der Frequenz abhängig sind, schwankt die Ausgangsspannung eines Übertragers immer last- und frequenzabhängig (Innenwiderstand des Übertragers).

4. Design Calculation of Power Transformers

First transformer design calculations are possible with our support. If you require our support, please complete the enclosed "Check List for Power Transformers".

Basic Principles:

The voltage applied to the primary winding causes a current to flow, and thus according to the first Maxwell equation a magnetic field to arise inside the primary coil. This magnetic field leads to a change of induction in the core, which, according to the second Maxwell equation will induce a voltage transformed in proportion to the number of turns.

Due to its infinitely high magnetic conductivity, an ideal core material would carry the magnetic flux, generated by the primary winding, such that it is interlinked with all turns of the transformers secondary winding. Current and voltage input values would then differ from output values in relation to turns ratio only.

For a real transformer, however, losses and parasite capacities due to core material and windings need to be taken into consideration.

Due to the primary copper resistance R_p , the voltage applied to the main inductance L will reduce, and it is only this voltage which will generate the magnetic field inside the core. A further reduction of input voltage will be effected by primary leakage inductivity L_s , as a part of the magnetic flux generated by the primary winding will not be linked with the secondary winding.

Core losses arising in the core material will be taken into account in the equivalent circuit diagram by means of a parallel resistor R to the main inductance L . The secondary load current I_s , as well as primary current I_p , will cause a voltage drop on secondary winding resistor R_s and on secondary leakage inductivity L_s . As these voltage drops of load current I_s and leakage inductance impedance will additionally be dependent on frequency, the output voltage of a transformer will always vary in relation to load and frequency (intrinsic resistance of transformer).

Vorgehen bei der Dimensionierung:

Bei der vorgegebenen maximalen Übertemperatur läßt sich für jeden Kernwerkstoff und jede Kernabmessung eine **optimale Induktion** ΔB_{opt} und eine **optimale Stromdichte** $S_{eff,opt}$ errechnen, bei der die übertragbare Leistung einen Maximalwert erreicht:

$$\Delta B_{opt} = \Delta B_0 \times \left(\frac{2 \times \Delta T}{(2 + Z) \times R_{th} \times m_{Fe} \times P_0 \times \left(\frac{F}{F_0}\right)^X \times \left(\frac{f}{f_0}\right)^Y} \right)^{\frac{1}{Z}}$$

$$S_{eff,opt} = \sqrt{\frac{Z \times \Delta T}{(Z + 2) \times R_{th} \times \rho_{Cu} \times l_{Cu} \times A_{Cu} \times 10^4}}$$

Design Calculation Procedure:

For a specified maximum temperature rise, an **optimum induction** ΔB_{opt} and an **optimum current density** $S_{eff,opt}$ can be calculated for each core material and each core size, where transferable power reaches a maximum value:

P_0	[W/kg]	Maximale spezifische Ummagnetisierungsverluste bei f_0 , ΔB_0 und F_0 VITROVAC 6030 F : 140 W/kg VITROPERM 500 F : 110 W/kg
m_{Fe}	[kg]	Kernmasse
f	[kHz]	Betriebsfrequenz
f_0	[kHz]	Bezugsfrequenz VITROVAC 6030 F: 70 kHz; VITROPERM 500 F: 100 kHz
ΔB_0	[T]	Bezugsinduktionshub VITROVAC 6030 F : 0,6 T VITROPERM 500 F : 0,6T
F		Formfaktor (Spannungsform). Für Rechtecke gilt: $F = \frac{1}{\sqrt{2 \times \tau}}$
F_0		Bezugsspannungsform (Sinus, $F_0 = 1,11$)
X,Y,Z		Exponenten bei obigen f_0 , ΔB_0 und F_0 , werkstoffabhängig: VITROVAC 6030 F: X=1,62; Y= 1,83; Z = 2,15 VITROPERM 500 F: X=1,60; Y=1,80; Z=2,08
ΔT	[K]	Übertemperatur
R_{th}	[K/W]	Wärmeübergangswiderstand des Übertragers. Richtwerte für unsere Typenkerne: siehe Tabelle am Ende dieser Schrift.
ρ_{Cu}	[Ω cm]	spezifischer Kupferwiderstand ($1,786 \times 10^{-6} \times (1+T_{max} / 235)$)
A_{Cu}	[cm ²]	Kupferquerschnitt
l_{Cu}	[cm]	mittlere Länge einer Kupferwindung.

P_0	[W/kg]	Max. specific core losses at f_0 , ΔB_0 and F_0 VITROVAC 6030 F : 140 W/kg VITROPERM 500 F : 110 W/kg
m_{Fe}	[kg]	core mass
f	[kHz]	operating frequency
f_0	[kHz]	reference frequency VITROVAC 6030 F: 70 kHz; VITROPERM 500 F: 100 kHz
ΔB_0	[T]	reference induction swing VITROVAC 6030 F : 0.6 T VITROPERM 500 F : 0.6T
F		form factor (voltage form). For rectangular wave form: $F = \frac{1}{\sqrt{2 \times \tau}}$
F_0		reference voltage form (Sinus, $F_0= 1.11$)
X,Y,Z		exponents at above f_0 , ΔB_0 und F_0 , dependent on material: VITROVAC 6030 F: X=1.62; Y=1.83; Z=2.15 VITROPERM 500 F: X=1.60; Y=1.80; Z=2.08
ΔT	[K]	temperature rise
R_{th}	[K/W]	thermal resistance of transformer to ambient. Reference values for our type cores: see table at the end of this brochure.
ρ_{Cu}	[Ω cm]	specific copper resistance ($1.786 \times 10^{-6} \times (1+T_{max} / 235)$)
A_{Cu}	[cm ²]	copper cross section
l_{Cu}	[cm]	mean winding turn length.

Die **übertragbare Leistung** P_{max} [W] wird errechnet nach:

The **transferable power** P_{max} [W] will then be calculated:

$$P_{max} = 10 \times k \times f \times A_{Fe} \times A_{Cu} \times \Delta B_{opt} \times S_{eff,opt}$$

A_{Fe} [cm ²]	Eisenquerschnitt
ΔB [T]	Induktionshub des Kernwerkstoffes ($\Delta B \leq 2 \times B_{max}$)
S_{eff} [A/mm ²]	effektive Stromdichte
k	Leistungsfaktor (vom Schaltungsprinzip abhängig)

A_{Fe} [cm ²]	iron cross section
ΔB [T]	induction swing of core material ($\Delta B \leq 2 \times B_{max}$)
S_{eff} [A/mm ²]	effective current density
k	power factor dependent on circuit principle.

Für **Eintakt**durchflußübertrager gilt:

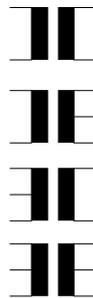
For **single-ended forward** transformers applies

$$k = 1 / (2 \times \sqrt{\tau_m})$$

Für **Gegentakt**übertrager gilt:

For **push-pull** transformers applies:

Schaltungsaufbau / circuit principle



k =

$$k = \frac{1}{\sqrt{2 \times \tau_m}}$$

$$k = \frac{2}{\sqrt{2 \times \tau_m} + \sqrt{2 \times \tau_m + 1}}$$

$$k = \frac{2}{2 \times \sqrt{\tau_m} + \sqrt{2 \times \tau_m}}$$

$$k = \frac{2}{2 \times \sqrt{\tau_m} + \sqrt{2 \times \tau_m + 1}}$$

τ_m	mittl. Tastverhältnis der Eingangsspannung
τ_{max}	maximales Tastverhältnis der Eingangsspannung (Vorgabewert)
$U_{E,min}$ [V]	minimale Eingangsspannung (Vorgabewert)
$U_{E,max}$ [V]	maximale Eingangsspannung (Vorgabewert)

τ_m	mean pulse duty ratio of input voltage
τ_{max}	maximum pulse duty ratio of input voltage (specified value)
$U_{E,min}$ [V]	minimum input voltage (specified value)
$U_{E,max}$ [V]	maximum input voltage (specified value)

Die **Primärwindungszahl N_p** wird so festgelegt, daß die angelegte Primärspannung U_E [V] im Kern eine magnetische Induktion erzeugt, die ΔB_{opt} nicht übersteigt:

The **primary number of turns N_p** will be determined such that the applied primary voltage U_E [V] will generate a magnetic induction in the core, which does not exceed ΔB_{opt} :

$$N_p = (\tau_{max} \times U_{E,min} \times 10) / (f \times A_{Fe} \times \Delta B_{opt})$$

Die **Sekundärwindungszahl N_s** wird nach folgender Beziehung festgelegt:

The **secondary number of turns N_s** will be determined according to the following equation:

$$N_s = ((U_A + \Delta U) \times N_p) / (\tau_{max} \times U_{E,min}) *$$

* gilt für Eintakt-Durchflußwandler. Bei Gegenteil-Durchflußwandlern ist N_s zu halbieren

converters, divide N_s in half

U_A [V]	Ausgangsgleichspannung. Nicht berücksichtigt wurden Spannungsabfälle über den Kupferwiderständen der Wicklungen sowie über den Gleichrichterioden.
* applies to	single-ended forward converters. For push-pull
ΔU [V]	Spannungsabfälle über den Kupferwiderständen der Wicklungen und über den Gleichrichterioden.

U_A [V]	DC Output voltage. Voltage drops across winding resistance and rectifier diodes have not been taken into account.
ΔU [V]	voltage drops across the copper resistances of the windings and across the rectifier diodes.

Weiterführende Anwendungshinweise für den Einsatz von VITROPERM 500 F:

Induktivität des Übertragers:

Da die Permeabilität bei VITROPERM 500 F um ca. den Faktor 10 höher liegt als bei einem typischen Ferritwerkstoff, bedeutet dies eine größere Hauptinduktivität und somit niedrigere Magnetisierungsströme. Bei unipolarer Aussteuerung (Eintakt-Durchflussübertrager) ist das Rückstellverhalten in der Impulspause problematisch. Bei bipolarer Aussteuerung (Gegentakt Durchflussübertrager) ist dies jedoch unkritisch. Hier ist lediglich auf gute Symmetrie in der Ansteuerung zu achten, da unterschiedlich große Spannungszeitflächen im Ansteuersignal (Gleichstromanteil) den hochpermeablen Kernwerkstoff schnell in die Sättigung treiben. Für die anderen Fälle steht unser Werkstoff VITROVAC 6030 F zur Verfügung.

Arbeitsfrequenz:

Die Werkstoffvorteile des VITROPERM 500 F kann der Schaltungsentwickler nur dann voll ausnutzen, wenn er auf sie eingeht. Aufgrund des hohen möglichen Induktionshubes ist deshalb oft eine niedrigere Schaltfrequenz möglich als bei Verwendung eines Ferritwerkstoffes. Diese wiederum macht den Einsatz preiswerter Standardhalbleiter möglich und senkt den Aufwand für die Funkentstörung.

Transformatoraufbau:

Umfangreiche Erfahrungen liegen seitens der VAC vor. Primär- und Sekundärwicklung werden meist mit Litze aufgebaut, die Anschlüsse mit Kabelschuhen versehen. Die Isolationsforderungen werden durch den Einsatz spezieller Kunststoffteile zur Distanzierung der Wicklungen und durch den Vakuumverguss mit einem gefüllten und damit wärmeleitenden Epoxid-Harz erfüllt. Ein Aluminiumgehäuse dient als stabiler Schutz und es lässt sich auf einem Kühlkörper montieren.

Typische Schaltungstopologien:

Abhängig von der übertragenen Leistung, den Ein- und Ausgangsspannungen und Strömen sowie der Kostensituation wurden primärseitig die Schaltungsarten Halb- und Vollbrücke bisher am häufigsten verwirklicht. Bei Leistungen bis ca. 15 kW dominiert die Halbbrücke, darüber üblicherweise die Vollbrücke. Sekundärseitig kommt bei niedrigen Spannungen (bis ca. 20 V) meist die Mittelpunktleiterschaltung, darüber die Brückengleichrichtung zum Einsatz.

Beispiele / Examples:



Additional Application Notes for the use of VITROPERM 500 F:

Transformer inductance:

As the permeability for VITROPERM 500 F is higher by an approximate factor 10 than for a typical ferrite material, this means that there is a higher main inductance resulting in lower magnetization currents. In the case of unipolar drive control (single-ended forward converter), the reset behavior in the impulse pause is problematical. However, in the case of bipolar drive control (push-pull converters) this is uncritical. Here, users must ensure only that there is a good symmetry in the drive control, as various different voltage time areas in the drive signal (appearance of DC) will fast drive the highly permeable core material into saturation. For all other cases, our material VITROVAC 6030 F is available.

Operating frequency:

The circuit designer can only make full use of the material advantages offered by VITROPERM 500 F, if special provision is made for them. Therefore, due to the high possible flux density, often a lower switching frequency is possible than when a ferrite material is used. This lower switching frequently allows the use of low cost standard semiconductors and reduces the cost for RFI noise suppression.

Transformer setup:

VAC has comprehensive experience in this field. Primary and secondary windings are usually built up from stranded wire, terminals are fitted with cable lugs. The insulation requirements are met by the use of special plastic components for spacing the windings and by vacuum molding with a filled and thus heat-conducting epoxy resin. An aluminium housing is used for solid protection, and it can be mounted on a heat sink.

Typical switching topologies:

Depending on the power transformed, input and output voltages and currents, as well as the cost situation, the switching types half and full bridge so far have been implemented most frequently at the primary side. Up to approximately 15 kW, the half bridge type dominates. At higher power, the full bridge type is more common. At the secondary side, for low voltages (up to 20 V approximately), usually center-tap rectification is used; for higher voltages bridge rectification is used.

5. Typenreihen Ringbandkerne aus VITROVAC 6030 F und VITROPERM 500 F

Innerhalb der nachfolgenden Typenreihe finden Sie Ringbandkerne, mit denen sich Übertrager von ca. 100 Watt bis 20000 Watt und mehr realisieren lassen. Sollte der für Ihre Anwendung optimale Kern nicht enthalten sein, so fragen Sie uns bitte an.

Werkstoffdaten [#]		VITROVAC 6030 F	VITROPERM 500 F
Sättigungsinduktion*	B _s	0,82T	1,2T
Sättigungs-magnetostriktion*	λ _s	< 0,2x10 ⁻⁶	< 0,5x10 ⁻⁶
Curietemperatur*	T _c	365 °C	600 °C
Max. unipolarer Induktionshub bei Raumtemperatur*	ΔB	0,75 T	1 T
Impuls Permeabilität (t _d = 10 μs; ΔB = 0,5T)**	μ _p	≥ 2 100	
Impuls Permeabilität (t _d = 20 μs; ΔB = 1 T)***	μ _p		≥ 10 000
Ummagnetisierungsverluste (f = 100 kHz sinus; B _{max} = 0,3T)	P _{Fe}	≤ 140 W/kg	≤ 110 W/kg

[#] für ungeteilte runde Ringbandkerne

* Typische Werte

** Grenzwerte lt. VAC Magnetqualität XDF-535 (VITROVAC 6030 F)

*** Grenzwerte lt. VAC Magnetqualität LHF-582 (VITROPERM 500 F)

5. Type Series Tape-Wound Cores made of VITROVAC 6030 F and VITROPERM 500 F

Within the following type series, you will find toroidal cores suitable for implementing transformers from approx. 100 watts up to 20000 watts and higher. If you do not find the optimum core for your application, please contact us directly.

Material Data [#]		VITROVAC 6030 F	VITROPERM 500F
Saturation Induction*	B _s	0.82T	1.2T
Saturation Magnetostriction*	λ _s	< 0.2x10 ⁻⁶	< 0.5x10 ⁻⁶
Curie Temperature*	T _c	365 °C	600 °C
Max. unipolar Induction Swing at Room Temp.*	ΔB	0.75 T	1 T
Pulse Permeability (t _d = 10 μs; ΔB = 0.5T)**	μ _p	≥ 2 100	
Pulse Permeability (t _d = 20 μs; ΔB = 1 T)***	μ _p		≥ 10 000
Magnetic Reversal Losses (f = 100 kHz sinus; B _{max} = 0.3T)	P _{Fe}	≤ 140 W/kg	≤ 110 W/kg

[#] for toroidal uncutted tape-wound cores

* Typical values

** Limiting values according to VAC's magnetic quality XDF-535 (VITROVAC 6030 F)

*** Limiting values according to VAC's magnetic quality LHF-582 (VITROPERM 500 F)

Nennmaße Rated Dim's d1 x d2 x h1 [mm x mm x mm]	Grenzmaße Limiting Dim's d3 x d4 x h2 [mm x mm x mm]	A _{Fe} [cm ²]	l _{Fe} [cm]	A _L typ* [μH]	A _L typ** [μH]	m _{Fe} * [g]	m _{Fe} ** [g]	A _{Cu} [cm ²]	l _{Cu} [cm]	R _{th} [K/W]	Bestellbez. / Ordering Code	
											VITROPERM 500 F T60004-	VITROVAC 6030 F T60004-
16x10x6	17.6x8.3x8	0.14	4.08	11	1.3	4.3	4.6	0.20	3.18	33	L2016- W373	E3016-F002
20x12.5x8	22x10.5x10	0.24	5.11	14	1.8	9.0	9.5	0.32	3.97	23	L2020- W374	E3020-F008
25x16x10	27x14x12	0.36	6.44	17	2.1	17	18	0.58	4.80	16	L2025- W375	E3025-F006
30x20x15	32.3x17.8x17.8	0.57	7.85	20	2.7	33	37	0.93	6.41	11	L2030- W376	E3030-F003
40x25x15	42.3x22.5x17.3	0.86	10.2	23		64		1.49	7.21	7.5	L2040- W433	
50x40x20	52.3x37.1x22.8	0.76	14.1	15		79		4.05	9.0	4.5	L2050- W434	
52x40x25	54.3x37.1x27.8	1.14	14.5	22		121		4.05	10.2	4.1	L2052- W827	
55x40x25	57.5x37.1x27.8	1.43	14.9	26		156		4.05	10.5	3.9	L2055- W848	
63x50x25	65.6x46.6x27.8	1.24	17.8	19		161		6.40	11.1	3.1	L2063- W435	
80x63x25	82.6x59.3x27.8	1.62	22.5	20		267		10.4	12.6	2.2	L2080- W436	
100x80x25	104.5x74.5x28.5	1.90	28.3	19		395		16.4	14.6	1.6	L2100- W342	
130x100x25	135.5x94.5x28.5	2.85	36.1	22		757		26.3	17.2	1.1	L2130- W352	
160x110x25	165x105x28.5	4.75	42.5	31		1480		32.5	19.9	0.8	L2160- W758	

* VITROPERM 500 F

** VITROVAC 6030 F

Eine aktuelle Typenübersicht finden Sie auf unserer Internetseite unter <http://www.vacuumschmelze.com>.

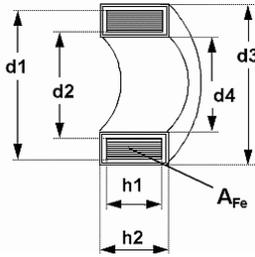
Please visit our home page <http://www.vacuumschmelze.com> for an up-to date type list.

d1 = Nennaußendurchmesser Kern
d2 = Nenninnendurchmesser Kern
h1 = Nennhöhe Kern
d3 = max. Außendurchmesser incl. Beschichtung
d4 = min. Innendurchmesser incl. Beschichtung
h2 = max. Höhe incl. Beschichtung
A_{Fe} = Effektiver Eisenquerschnitt
l_{Fe} = Eisenweglänge
A_L = Induktivität für N = 1. Typische Werte für diese Werkstoffe bei f = 10 kHz und geringer Aussteuerung (VITROVAC 6030 F: μ = 3000; VITROPERM 500 F: μ = 22000). Keine Garantiewerte.
m_{Fe} = Eisenmasse
A_{Cu} = möglicher Kupferquerschnitt bei einem Kupferfüllfaktor von 0,5
l_{Cu} = mittlere Windungslänge
R_{th} = Werte gelten für ein gedachtes Bauelement mit dem jeweiligen Kern und einer typischen Bewicklung. Ausführung im Vergußgehäuse, montiert auf einer Platine. Die Werte sind für Kern- und Kupferverluste anwendbar, jedoch nur als grobe Richtwerte.

d1 = nominal outer core diameter
d2 = nominal inner core diameter
h1 = nominal core height
d3 = max. outer diameter with epoxy coating
d4 = min. inner diameter with epoxy coating
h2 = max. height with epoxy coating
A_{Fe} = effective iron cross section
l_{Fe} = mean iron path length
A_L = Inductance with a single turn. Typical values for these materials at 10 kHz and small excitation (VITROVAC 6030 F: μ = 3000, VITROPERM 500 F: μ = 22000). No guaranteed values.
m_{Fe} = iron mass
A_{Cu} = possible winding cross section at a mean winding factor of 0.5
l_{Cu} = mean winding turn length
R_{th} = These values are calculated on the basis of an imaginary component using this core and typical windings. The make is thought as a moulded design, mounted on a PCB. The values are for core- and copper losses, but are understood as a rough orientation only.

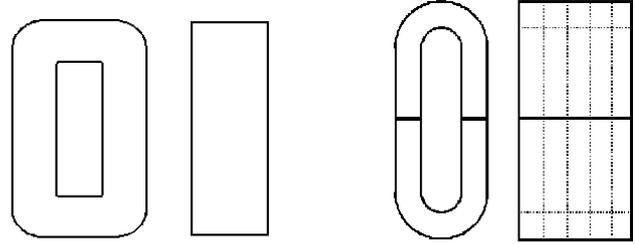
5.1 Kernauführung

Als Standard fertigen wir geschlossene Ringbandkerne. Sonderkerne in Oval- oder Rechteckform in geteilter oder ungeteilter Ausführung sind auf Wunsch ebenfalls herstellbar. Bitte sprechen Sie uns bei Interesse an.



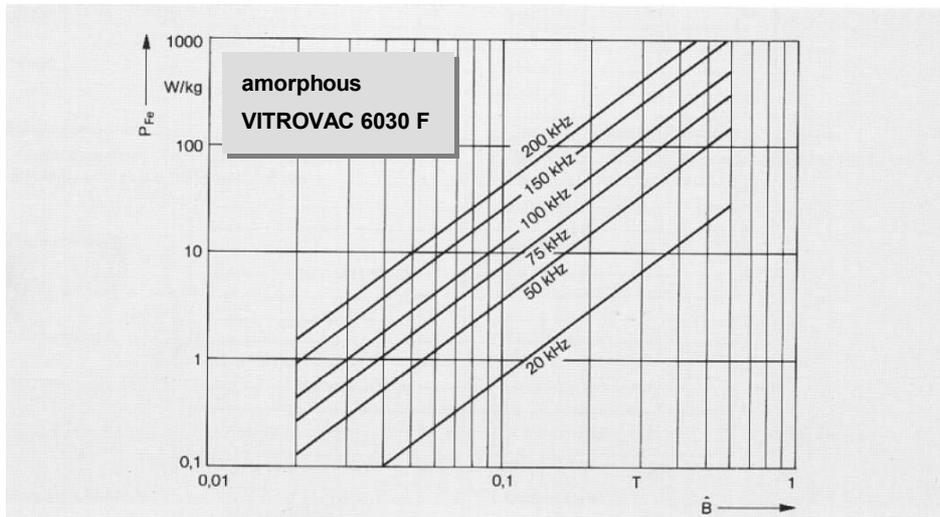
5.1. Core designs

Our standard designs are toroidal uncapped tape-wound cores. Special shapes in oval or rectangle design with or without cut can be produced, too. Please contact us for further informations.



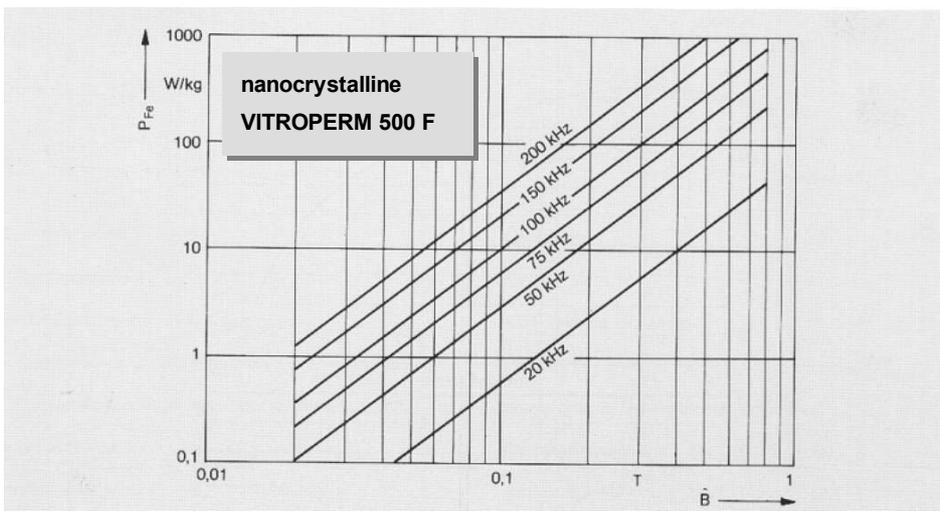
6. Magnetische Eigenschaften

6. Magnetic Properties



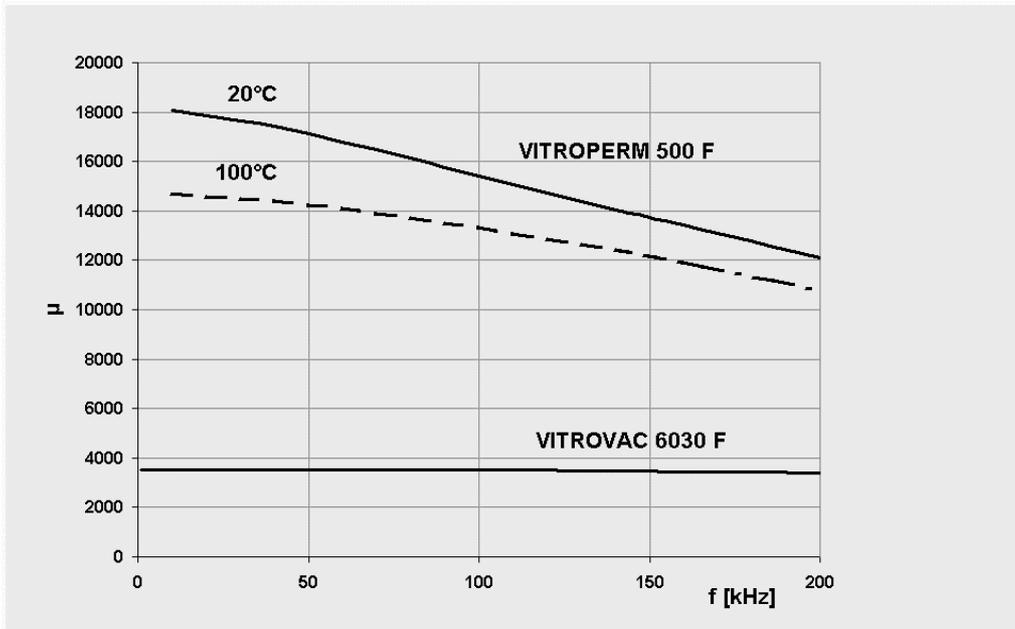
Typischer Verlauf der Ummagnetisierungsverluste über der Flußdichte von Ringbandkernen (ungeteilt) aus **VITROVAC 6030 F** bei verschiedenen Frequenzen. $T_u = 25^\circ\text{C}$.

Typical curve for magnetic reversal losses versus flux density of ungapped **VITROVAC 6030 F** tape-wound cores at various frequencies. $T_u = 25^\circ\text{C}$.



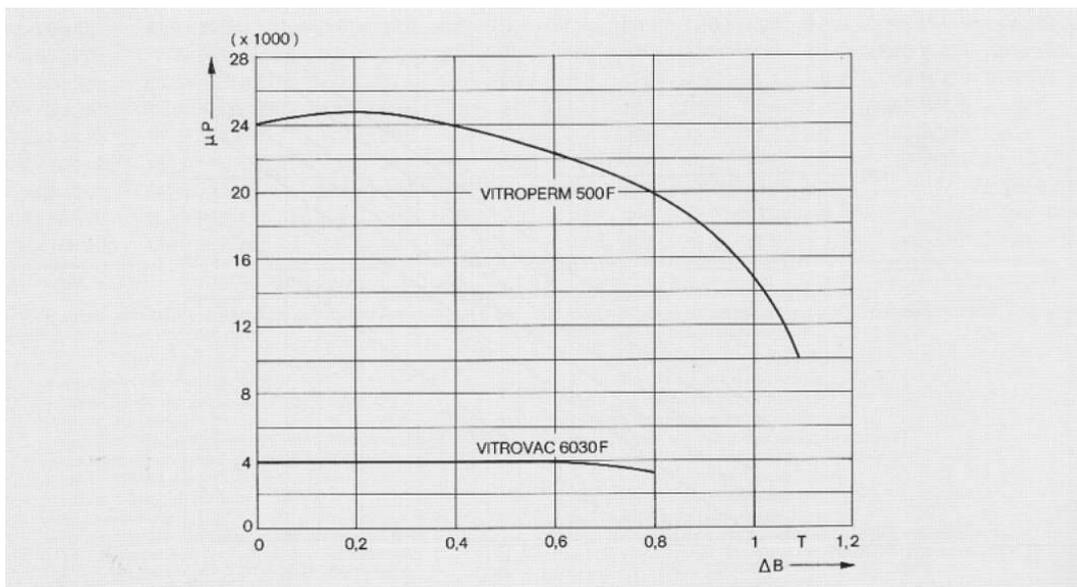
Typischer Verlauf der Ummagnetisierungsverluste über der Flußdichte von Ringbandkernen (ungeteilt) aus **VITROPERM 500 F** bei verschiedenen Frequenzen. $T_u = 25^\circ\text{C}$.

Typical curve for magnetic reversal losses versus flux density of ungapped **VITROPERM 500 F** tape-wound cores at various frequencies. $T_u = 25^\circ\text{C}$.



Typischer Verlauf der Permeabilität über der Frequenz von Ringbandkernen aus VITROPERM 500 F / VITROVAC 6030 F ($T_u = 25^\circ\text{C}$). $H_{\max} = 4 \text{ mA/cm}$.

Typical curve of permeability versus frequency of VITROPERM 500 F / VITROVAC 6030 F ($T_u = 25^\circ\text{C}$), $H_{\max} = 4 \text{ mA/cm}$.



Typischer Verlauf der Impulspermeabilität über dem Induktionshub von Ringbandkernen aus VITROPERM 500 F / VITROVAC 6030 F. Impulsdauer $t_d = 5 \mu\text{s}$. Wiederholfrequenz $f_p = 1 \text{ kHz}$. $T_u = 25^\circ\text{C}$.

Typical curve for pulse permeability versus flux density swing of VITROPERM 500 F / VITROVAC 6030 F tape wound cores. Pulse duration $t_d = 5 \mu\text{s}$. Repeating frequency $f_p = 1 \text{ kHz}$. $T_u = 25^\circ\text{C}$.

VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG



Advanced Materials – The Key to Progress

Postfach 2253 / P.O.B. 2253
D-63412 Hanau
☎ (**49) 6181 / 38-0
Fax (**49) 6181 / 38-2075
E-Mail: Info@vacuumschmelze.com
<http://www.vacuumschmelze.com>

000403

Checkliste: Kerne für Leistungsübertrager

Firma:

Name:

Projekt:

Schaltungsprinzip: (bitte auswählen)

Gegentaktwandler

Eintakt-Durchflußwandler

Bitte Skizze mit Prinzipschaltung beifügen.

Eingangsdaten:

min. Eingangsspg. $U_{E,min}$ = _____ V

max. Eingangsspg. $U_{E,max}$ = _____ V

Arbeitsfrequenz f = _____ kHz

Tastverhältnis $\tau \leq$ _____ (x 2 bei Gegentakt)

Ausgangsdaten:

Gleichspannungen	Spannungsabfälle (über Dioden usw.)*	Ströme
------------------	---	--------

$U_1 =$ _____ V	$\Delta U_1 =$ _____ V	$I_1 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_2 =$ _____ V	$\Delta U_2 =$ _____ V	$I_2 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_3 =$ _____ V	$\Delta U_3 =$ _____ V	$I_3 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_4 =$ _____ V	$\Delta U_4 =$ _____ V	$I_4 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_5 =$ _____ V	$\Delta U_5 =$ _____ V	$I_5 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

* z.B. 1V (2 x 0,5 V) für zwei Low-Drop
Dioden im Strompfad.

Sonstige Daten:

Umgebungstemperatur T_u _____ °C

Besondere Umweltaforderungen: _____

Vorgesehene Ausführung: vergossen unvergossen

voraussichtlich benötigte Jahresstückzahl: ca. _____ St.

Preisvorgabe für Kern ca. (EUR) _____

Angebot gewünscht? Ja Nein

Muster gewünscht? Ja Nein

Folgende Angaben werden wir nach Berechnung treffen:

Kern: Abmessungen, Material, Qualität, Fixierung.

Check List: Cores for Power Transformers

Company:

Name:

Project:

Circuit Engineering Principle: (please select)

Push Pull Converter

Single-Cycle-Feed-Forward Converter

Please add sketch of circuit.

Input data:

Min. Input Volt. $U_{E,min}$ = _____ V

Max. Input Volt. $U_{E,max}$ = _____ V

Operating Frequency f = _____ kHz

Pulse Duty Ratio $\tau \leq$ _____ (x 2 for push-pull)

Output Data:

DC voltages	Voltage drops (across diodes etc.)*	Currents
-------------	--	----------

$U_1 =$ _____ V	$\Delta U_1 =$ _____ V	$I_1 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_2 =$ _____ V	$\Delta U_2 =$ _____ V	$I_2 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_3 =$ _____ V	$\Delta U_3 =$ _____ V	$I_3 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_4 =$ _____ V	$\Delta U_4 =$ _____ V	$I_4 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

$U_5 =$ _____ V	$\Delta U_5 =$ _____ V	$I_5 =$ _____ A
-----------------	------------------------	-----------------

*e.g. 1V (2 x 0.5 V) for two low-drop diodes
in the current path

Other Data:

Ambient Temperature T_u _____ °C

Environmental requirements: _____

Design: moulded non-moulded

Annual quantity approx.: _____ pcs

Target Price for Core (EUR): _____

Quotation required? Yes No

Sample required? Yes No

On calculation, we will determine the following details:

Core: dimensions, material, quality, fixation.