

**Von der Wahl der Schaltungstopologie  
zur universell einsetzbaren  
Standardstromversorgung**

## Von der Wahl der Schaltungstopologie zur universell einsetzbaren Standardstromversorgung

**Wie die Wahl der richtigen Topologie darüber entscheidet, ob eine Stromversorgung auch für Ihre Anwendung tauglich ist.**

Wie auch immer eine Applikation letztendlich aussieht, beim Thema Stromversorgung sind sich die Anwender in ihren Erwartungen einig: klein, effizient, mit exzellenter EMV und einem vernünftigen Preis. Dieses Whitepaper erläutert, wie sehr die Wahl der Topologie einer Stromversorgung diese Schlüsseleigenschaften beeinflussen kann.

### Inhalt

Einleitung	3
Arten von Topologien	4
Topologien Schalteigenschaften und Wirkungsgrad	6
Topologien Komplexität, EMV und applikationsrelevante Eigenschaften	8
Gewichtung und Bewertung der Topologien	9
Fazit	11
Firmenprofil TDK-Lambda	12
Kontaktdaten	12

## Einleitung

Häufig bieten sich für einen Anwendungsfall mehrere Lösungsansätze auf Basis unterschiedlicher Schaltungstypen an, die den gestellten Anforderungen alle sehr gut gerecht werden. Wenn es aber darum geht, die bestmögliche Lösung für eine bestimmte Anwendung zu finden, ist es nötig zu verstehen, wie die Wahl der Topologie die Schlüsseigenschaften der Stromversorgung beeinflussen kann: Kosten, Abmessungen, EMV-Eigenschaften und Wirkungsgrad.

Die Relevanz dieser Parameter variiert je nach Applikation und die Wahl der richtigen Topologie hängt wesentlich davon ab, welche Kompromisse zwischen diesen Parametern akzeptierbar sind und welche nicht. Beispielsweise wird eine Lösung, die auf geringste Kosten abzielt, sich von einer Lösung für einen maximalen Wirkungsgrad deutlich unterscheiden, und entgegen der gängigen Erwartungen geht eine Lösung mit höchster Leistungsdichte (und kleinsten Abmessungen) nicht unbedingt mit den geringsten Verlusten einher. Bei der Entwicklung seiner neuen EFE-Serie – einer Reihe von Stromversorgungen mit hoher Leistungsdichte für Embedded-Front-End-Applikationen – hat TDK-Lambda eine iterative Designmethode eingesetzt, um die bestmögliche Topologie zu ermitteln.

Zu den wichtigsten Designkriterien – etwa für das EFE300 - zählen: Äußere Abmessungen (5x3-Zoll-Format, also 127 x 76,2 mm, sowie Verwendbarkeit in 1-HE-Geräten), 300 W Dauerausgangsleistung bei 2 m/s Luftstrom und 400 W Spitzenleistung für 10 s, jeweils über den gesamten Eingangsspannungsbereich (90-264 VAC), sowie EMV mit Kurve B für leitungsgebundene Störungen (EN 55011, EN 55022). Eine weitere wichtige Designvorgabe war, die Stromversorgung nach den erprobten und getesteten Designregeln von TDK-Lambda beispielsweise zu Bauteil-Derating, Freiräumen und Leiterplattenaufbau zu entwickeln.

Diese Designregeln wurden bereits bei früheren Produkten erfolgreich eingesetzt. Ihre strikte Einhaltung erinnert die Entwickler immer wieder daran, keine Kompromisse einzugehen, nur um möglichst kompakte Abmessungen zu erhalten. Zudem sind diese Regeln wichtig, um die Produkte so zu entwickeln, dass sie sich leicht fertigen lassen und zuverlässig arbeiten. Es ist immer möglich, noch mehr Bauteile auf wenig Raum „zusammenzupferchen“, um eine Stromversorgung mit „hoher Leistungsdichte“ zu erhalten. Aber Bauteile, die wegen der zu engen Platzverhältnisse mechanisch belastet oder überhitzt werden, verringern dann zwangsläufig die Gesamtzuverlässigkeit.



Abb. 1: hohe Leistungsdichte: 300 Watt bei 127 x 76,2 x 34 mm

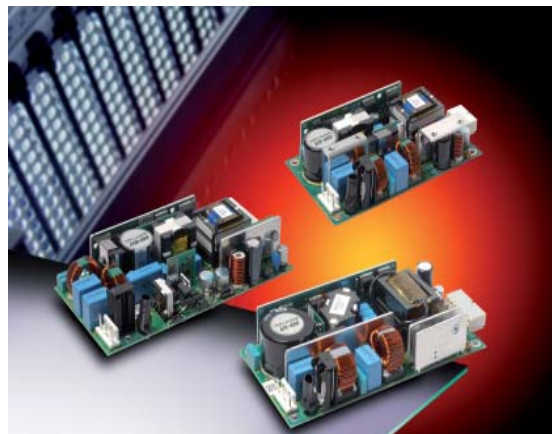


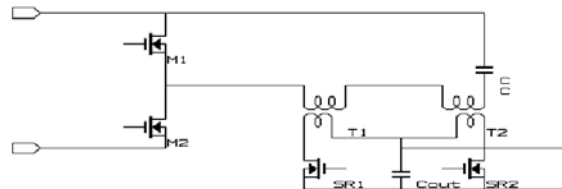
Abb. 2: universal: EFE-Serie in unterschiedlichen Ausführungen

## Arten von Topologien

Um die beste Topologie zu ermitteln, müssen die Eigenschaften aller in Frage kommenden Lösungen (siehe unten) in einem einfachen Auswertungsverfahren betrachtet werden. Jede Topologie wird unter zwei Aspektgruppen bewertet: Zunächst bzgl. ihrer Schalteigenschaften und ihres Wirkungsgrades (dargestellt in Tabelle 1), danach bzgl. der Komplexität der Schaltung, des EMV-Verhaltens und anderer Faktoren, die für die Zielapplikation relevant sind (dargestellt in Tabelle 2). Jede Eigenschaft wird mit einer Zahl zwischen 1 (schlecht) und 5 (gut) bewertet. Die Ergebnisse jeweils einer Gruppe werden später zusammen gewichtet.

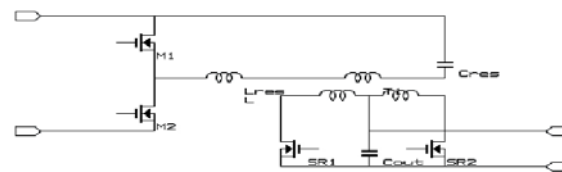
### „NV“-Topologie

Frequenzvariable, modifizierte LLC-Schaltung mit selbstgesteuerten Synchrongleichrichtern und spannungsfreiem Schalten. TDK-Lambda-Patent



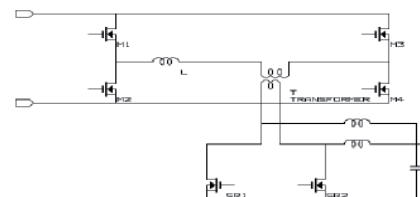
### Halbbrücken-LLC-Resonanzwandler

Frequenzvariable, modifizierte LLC-Schaltung mit aktiv gesteuerten Synchrongleichrichtern und spannungsfreiem Schalten; selbst-gesteuerter Modus ist hier nicht möglich.



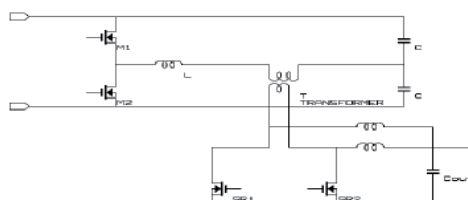
### Vollbrücken-Stromverdoppler

PWM-Wandler mit Stromverdoppler-Gleichrichtung und spannungsfreiem Schalten (PWM = Pulsweitenmodulation).



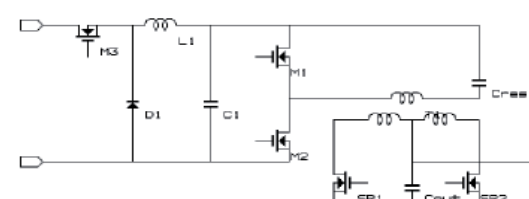
### Halbbrücken-Stromverdoppler

Hart schaltender Halbbrücken-PWM-Wandler mit Stromverdoppler-Gleichrichtung.



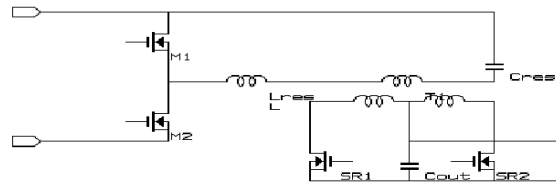
### ZVZCS-DC/DC-Resonanzwandler plus Vorregler

DC/DC-Resonanzwandler mit vorgeschaltetem Abwärtsregler (Nullstrom- oder Boundary-Mode-Steuerung) sowie spannungs- und stromfreiem Schalten (ZVZCS: „Zero-voltage zero-current switching“)



## ZCS-Resonanzwandler

Frequenzvariabler Resonanzwandler mit stromfreiem Schalten (ZCS: „Zero-current switching“)



## Quasiresonanzwandler

Sperrwandler mit aktiv gesteuerten Synchrongleichrichtern und Schaltvorgang beim Minimalwert.

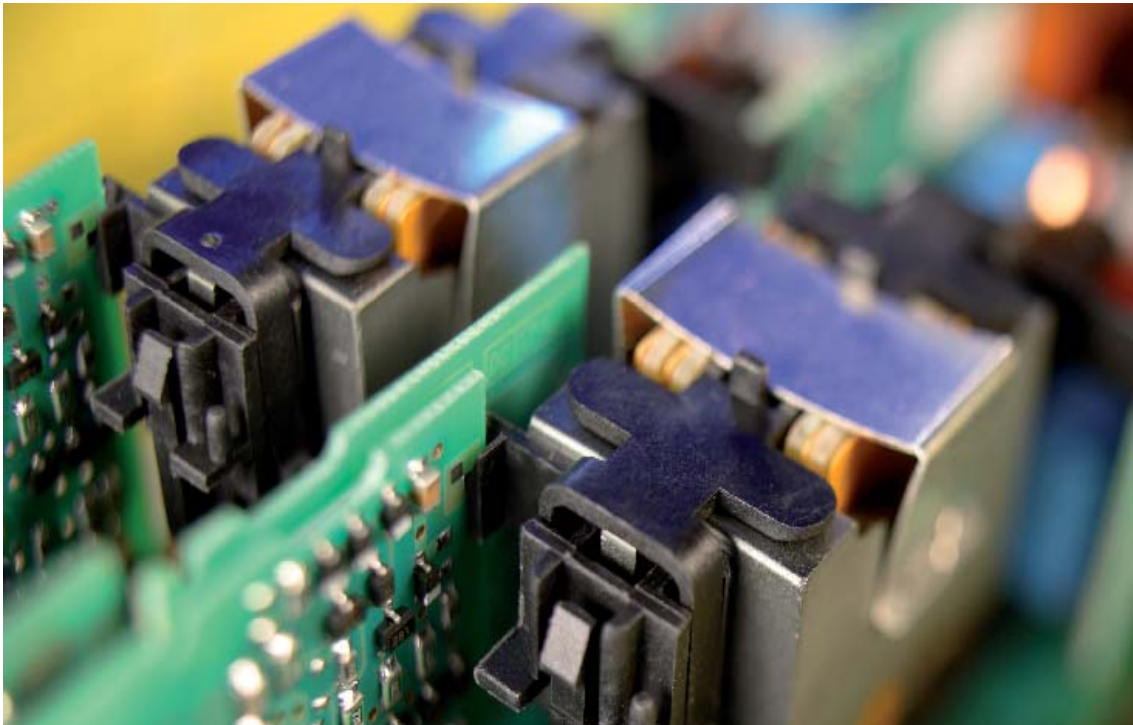
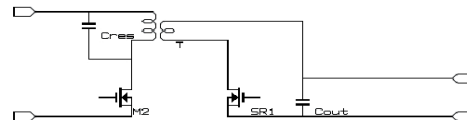


Abb.3: Beispiel eines Planar-Transformators

## Topologien Schalteigenschaften und Wirkungsgrad

Für die betrachteten Topologien zeigt Tabelle 1 die Ergebnisse bzgl. Schalteigenschaften und Wirkungsgrad. Generell ist eine Topologie mit sanften Schalteigenschaften und geringer zirkulierender Energie vorteilhafter und erhält daher eine bessere Bewertung. Im Einzelnen spielten zudem die folgenden Überlegungen eine Schlüsselrolle:

### Zirkulierende Energie

Ein gewisser Anteil der Energie zirkuliert in der Schaltung und trägt daher nicht zur direkten Versorgung der Last bei. Bei höheren Ausgangsspannungen ist dieses Kriterium aufgrund der geringeren sekundärseitigen Ströme allerdings von geringerer Bedeutung.

### Wirkungsgrad

Topologien mit einem kontinuierlichen Ausgangsstrom und aktiv gesteuerten Synchrongleichrichtern werden bevorzugt, obwohl hierdurch im Allgemeinen die Schaltungskomplexität steigt und die Topologie diesbezüglich eine schlechtere Bewertung erhält. Eine niedrige Bewertung bedeutet aber nicht zwangsläufig einen niedrigen Wirkungsgrad; prinzipiell ist bei passender Auswahl von Bauteilen und Schaltfrequenz mit den meisten Topologien ein hoher Wirkungsgrad durchaus erzielbar. Die Bewertung hier ist daher eher ein Maß für den Aufwand, den man für einen hohen Wirkungsgrad erbringen muss.

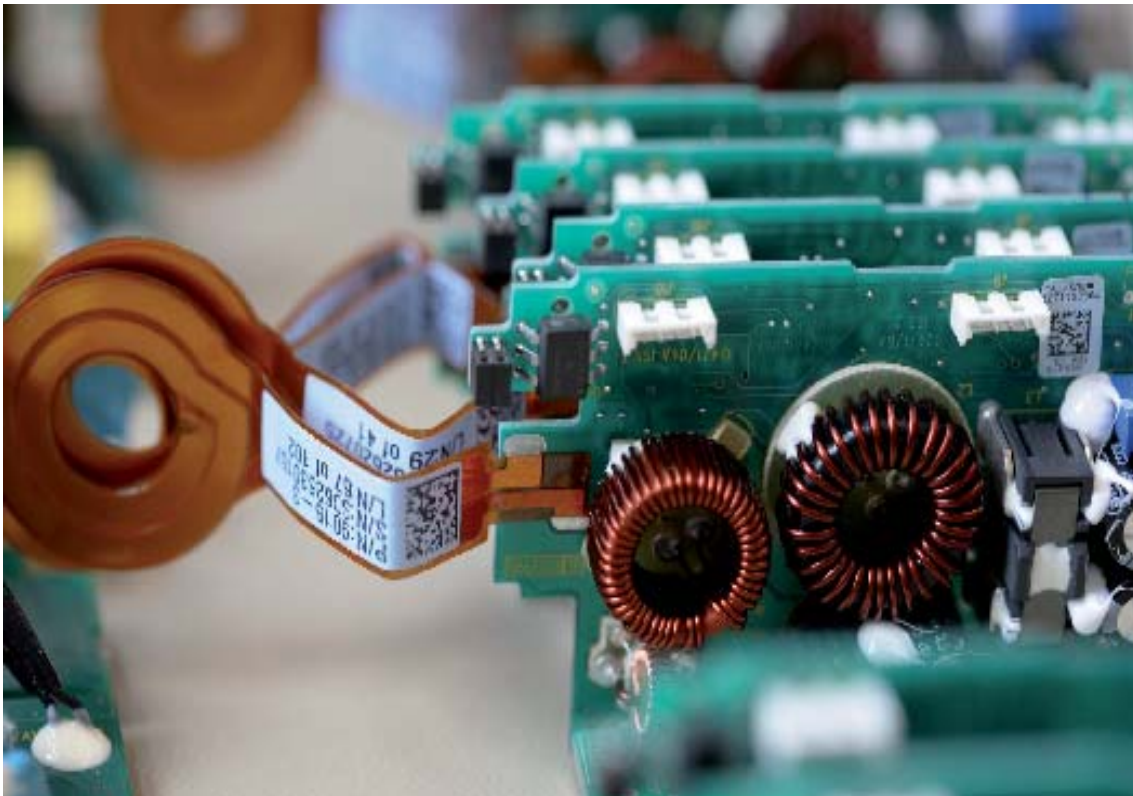


Abb.4: Beispiel eines Step-down Converters mit hohem Wirkungsgrad

Topologie	Primär-schaltvorgang		Sekundär-schaltvorgang		Zirkulierende Energie		Wirkungsgrad	
	Ein-schal-ten	Aus-schal-ten	Ein-schal-ten	Aus-schal-ten	Niedrige Ausgangs-spannung	Hohe Ausgangs-spannung	Geringe Last	Volllast
„NV“-Topologie Selbstgesteuerter Synchrongleichrichter	ZVS	ZVS	ZVS	Hohes di/dt	4	3	2	4
Halbbrücken-LLC- Synchrongleichrichter	ZVS	ZVS	ZVS	ZCS	3	5	3	5
Vollbrücken- Synchrongleichrichter mit Stromverdoppler	ZVS	ZVS/ hart	ZVS	Hohes di/dt	5	3	2	5
Halbbrücken- Synchrongleichrichter mit Stromverdoppler	ZCS/ hart	ZVS	ZVS	Hohes di/dt	4	3	3	5
ZVZCS-DC/DC- Resonanzwandler + Vorregler	ZVS	ZVS/ ZCS	ZVS	ZCS	2	4	2	4
ZCS Resonanzwandler mit feststehender Zeitbasis und variabler Frequenz	ZCS	ZVS	ZVS	ZCS	3	4	4	3
Quasiresonanter Sperrwandler mit Synchrongleichrichter und Diodenemulation	ZCS	ZVS	ZVS	ZCS	1	3	2	4

Tabelle 1: Schalteigenschaften und Wirkungsgrad

## Begriffserläuterungen:

ZVS: Zero-voltage switching, spannungsfreies Schalten

ZCS: Zero-current switching, stromfreies Schalten

ZVZCS: Zero-voltage zero-current switching, spannungs- und stromfreies Schalten

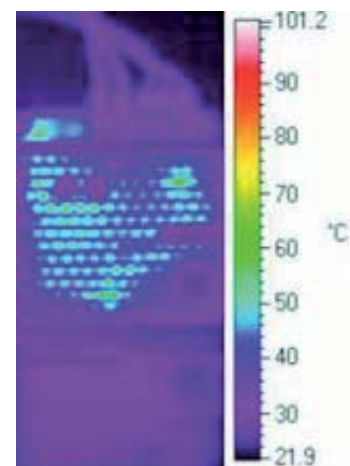


Abb. 5: Hoher Wirkungsgrad = kühle Bauteile

## Topologien Komplexität, EMV und applikationsrelevante Eigenschaften

Die Bewertung der zweiten Gruppe von Schlüsseleigenschaften wie Schaltungskomplexität, EMV und anderen applikations-relevanten Faktoren zeigt Tabelle 2. Hier spielen vor allem folgende Punkte eine Rolle:

### Mehrfachausgänge:

Eine stromgetriebene Schaltung ohne Ausgangsinduktivität ist von Vorteil, da sich hierdurch das mechanische Design vereinfacht.

### Halbgeregelte Ausgänge:

Wenn mehrere Ausgänge (mit geringer gegenseitiger Beeinflussung) benötigt werden, ist ein stromgetriebenes Design mit niedrigem  $di/dt$  vorteilhaft.

### Abmessungen:

Im Allgemeinen hängen die Abmessungen bei kleinen Leistungen von der Anzahl der Bauteile ab, bei größeren Leistungen dagegen eher vom Wirkungsgrad und sogar der Verteilung von Verlusten innerhalb der Bauteile.

### Komplexität:

Eine Topologie, die von sich aus den Strom begrenzt, ohne zwingende Timing-Anforderungen beim Controller auskommt und selbstgetriebene Synchrongleichrichter aufweist, erzielt hier eine bessere Bewertung für den Leistungsteil. Eine Topologie, die nur niederspannungsseitig eine Steuerung erfordert und mit einem einfachen Controller auskommt, erhält eine bessere Bewertung für den Steuerungsteil.

Komplexität ist auch ein Maß für die Kosten: In der Regel verursacht eine Topologie mit komplexem Aufbau und einer höheren Bauteilzahl höhere Fertigungskosten. Auch die Bauteilkosten sind aus verschiedenen Gründen höher: Zum einen sind komplexe Topologien weniger verbreitet; deshalb werden die entsprechenden Controller in geringeren Stückzahlen gefertigt, verwenden eine größere Die-Größe oder benötigen größere Bauformen mit mehr Pins. Zum anderen erfordert eine komplexe Topologie im allgemeinen mehr Funktionsblöcke im Controller, tendiert aber – insbesondere bei geringeren Leistungen – zu einem eher kleineren Die (Halbleiterchip ohne Gehäuse) und erhöht dadurch die relativen Kosten für die Konfektionierung des Controllers.

### EMV:

Topologien mit spannungsfreiem Schalten (ZVS) auf der Primärseite werden besser bewertet, sie weisen häufig eine geringere geleitete Störaussendung auf.

### Weiter Einstellbereich:

Topologien mit spannungsfreiem Schalten nutzen häufig den Magnetisierungsstrom des Transformators zur Unterstützung. Wenn die Ausgangsspannung über einen weiten Bereich einstellbar sein soll, variiert auch der Magnetisierungsstrom und führt zu entsprechend unterschiedlichen Ergebnissen bei EMV, Wirkungsgrad und Bauteilbelastung. Die meisten Topologien mit sanftem Schaltverhalten arbeiten daher mit einem reduzierten Ausgangsspannungsbereich, verglichen zu hart schaltenden PWM-Topologien.



Topologie	Mehr- fach- ausgänge	halb geregelt Ausgänge	Abmessungen		Komplexität		EMV	Großer Ein- stell- bereich
			Niedrige Leistungen	Hohe Leistungen	Lei- stungs- teil	Steu- erungs- teil		
„NV“-Topologie Selbstgesteuerter Synchrongleichrichter	5	4	5	3	4	1	5	2
Halbbrücken-LLC- Synchrongleichrichter	5	5	4	5	4	1	5	2
Vollbrücken- Synchrongleichrichter mit Stromverdoppler	2	3	1	5	3	2	5	2
Halbbrücken- Synchrongleichrichter mit Stromverdoppler	2	3	2	5	2	4	3	5
ZVZCS-DC/DC- Resonanzwandler + Vorregler	5	4	4	4	4	4	5	3
ZCS Resonanz- wandler mit feststehender Zeitbasis und variabler Frequenz	5	4	4	2	5	3	4	2
Quasiresonanter Sperrwandler mit Synchrongleichrichter und Diodenemulation	5	5	5	1	5	5	4	3

Tabelle 2: Bewertung von Schlüsseleigenschaften wie Komplexität, EMV und anderen applikations-relevanten Faktoren

## Gewichtung und Bewertung der Topologien

Die Bewertungen der Eigenschaften werden nun gemäß den Anforderungen an die EFE-Serie gewichtet: die Faktoren, die bei einem Produkt mit hoher Leistungsdichte vorrangig sind (Abmessungen und Wirkungsgrad), erhalten eine höhere Gewichtung als etwa die Komplexität -die Vorteile der Digitalsteuerung wie die Möglichkeit, komplexe Steuer-algorithmen zu realisieren, machen den Einsatz von komplexeren Schaltungen zu einer akzeptablen Design-Alternative. Auch das Störverhalten erhält eine hohe Gewichtung, da die Einhaltung der Störkurve B eine Designvorgabe ist.

Das Bewertungsergebnis nach der Gewichtung zeigt Tabelle 3: Vier der Topologien weisen eine sehr ähnliche Bewertungsziffer auf – das Rennen ist noch nicht entschieden.

Topologie	Gewichtete Bewertung	Kommentar
„NV“-Topologie Selbstgesteuerter Synchrongleichrichter	0,89	Kontinuierlicher Ausgangsstrom Hohe Restwelligkeit im Ausgangsfilterstrom; erfordert zudem aktiven Treiber für Synchrongleichrichter-Gate
Halbbrücken-LLC- Synchrongleichrichter	0,86	Hohe Restwelligkeit im Ausgangsfilterstrom; erfordert zudem aktiven Treiber für Synchrongleichrichter-Gate
Vollbrücken-Synchrongleich- richter mit Stromverdoppler	0,64	
Halbbrücken-Synchrongleich- richter mit Stromverdoppler	0,63	

ZVZCS-DC/DC-Resonanzwandler + Vorregler	0,85	Hohe Restwelligkeit im Ausgangsfilterstrom
ZCS Resonanzwandler mit feststehender Zeitbasis und variabler Frequenz	0,75	
Quasiresonanter Sperrwandler mit Synchrongleichrichter und Diodenemulation	0,90	Sehr hohe Restwelligkeit im Ausgangsfilterstrom

Tabelle 3: Gewichtete Bewertung für TDK-Lambda EFE300

Die niedrige Restwelligkeit im Strom des Ausgangsfilters macht schließlich doch die „NV“-Topologie zur Lösung der Wahl für den angestrebten Leistungs- und Baugrößenbereich: Im 5x3-Zoll-Format ist die mögliche Anzahl an Filterkondensatoren im Ausgang wegen des geringen Platzes auf der Leiterplatte begrenzt; dadurch entsteht in den Kondensatoren leicht eine (zu) hohe Stromrestwelligkeit, resultierend in einer höheren Erwärmung und damit einer kürzeren Lebensdauer. Da die NV-Topologie eine relativ hohe Betriebsfrequenz erlaubt, kann hier das Filter mit einigen Keramikkondensatoren realisiert werden, wodurch ein kompaktes Design mit dennoch hoher Lebensdauer möglich wird.

Die industriellen Einsatzgebiete, die TDK-Lambda adressiert, erfordern häufig Stromversorgungen, deren Eigenschaften speziell an die letztendliche Anwendung angepasst sind - etwa spezielle Spannungen, ein modifiziertes Regelverhalten, modifizierte Signale usw. Durch den Einsatz von Digitalsteuerungen lassen sich diese Anforderungen leichter und schneller realisieren. Zugleich relativieren sich die Bedenken, die bisher mit dem Einsatz von Resonanzwandlern aufgrund ihrer komplexeren Steueralgorithmen verbunden waren: Mit Digitalsteuerungen lässt sich jede Form von Steueralgorithmen realisieren. Die EFE-Serie wurde daher mit einem 8-Bit-Mikroprozessor ausgestattet, der die Steuerung des Resonanzwandlers ebenso übernimmt wie verschiedene interne Verwaltungsfunktionen.



Abb. 6: EFE-Ausführung mit Medizinzulassung

## Fazit

Die Wahl der richtigen Topologie ist lebenswichtig für den Erfolg eines Produkts und erfordert ein umfassendes Wissen, das alle möglichen Lösungen bis ins Detail umfasst – auch wenn letztendlich nur eine dieser Lösungen tatsächlich bis ins Detail entwickelt wird. Wenn an dieser Stelle die Wahl auf eine ungeeignete Topologie fällt und diese in zu enge Platzverhältnisse gepresst wird, gerät die Ausrüstung oder die des Kunden ernsthaft in Gefahr – dies gilt insbesondere im Bereich höherer Leistungen, für den die EFE-Serie von TDK-Lambda entwickelt wurde. Nur wenn an dieser Stelle die richtige Entscheidung getroffen wird, kann ein Produkt mit einem optimalen Verhältnis aus Kosten, Performance und Zuverlässigkeit entstehen, das seine Anwendung lange und sicher mit Strom versorgt.



Abb. 7: EFE-Serie Ausführung mit U-Chassis, (weitere: im geschlossenen Gehäuse mit Lüftervarianten)

## Firmenprofil TDK-Lambda

Die TDK-Lambda Germany GmbH ist einer der weltweit führenden Hersteller von Stromversorgungen und gehört seit 2005 zum japanischen TDK-Konzern. Seit dem 01. Oktober 2008 tritt die ehemalige Lambda GmbH unter dem Namen TDK-Lambda Germany GmbH im Stromversorgungsmarkt auf. Neben einem breiten Produktspektrum bietet TDK-Lambda Germany weltweiten Service durch lokale Niederlassungen, umfangreichen Applikationssupport und Unterstützung bei EMV- und Safety-Prüfungen. Das Produktspektrum umfasst Netzteile und DC/DC-Wandler im Leistungsbereich von 1,5 Watt bis 15 kWatt. Die Angebotsschwerpunkte liegen bei modularen Stromversorgungen, die individuell für jeden Kunden konfiguriert werden können, Standard-Einbaugeräten für den Industrieinsatz, DIN-Schienen-Netzteilen für den Schaltschrank, programmierbaren Laborstromversorgungen bis hin zu Value Added und kundenspezifischen Lösungen.

Auf seiner Internetseite unter der Adresse [www.emea.tdk-lambda.com](http://www.emea.tdk-lambda.com) bietet TDK-Lambda neben aktuellen Informationen und Datenblättern zu allen Produkten ein interaktives Tool zur Produktauswahl an.



Abb. 8: Netzgeräte von TDK-Lambda

## Kontaktdaten

TDK-Lambda Germany GmbH  
Karl-Bold-Str. 40  
77855 Achern  
Tel.: 07841 666 – 0  
Fax: 07841-5000

E-mail: [info.germany@de.tdk-lambda.com](mailto:info.germany@de.tdk-lambda.com)  
Internet:  
[www.de.tdk-lambda.com](http://www.de.tdk-lambda.com) (Deutschland)  
[www.emea.tdk-lambda.com](http://www.emea.tdk-lambda.com) (Ausland)