

# ***Moderne Lade- und Wandlertechniken für die Elektromobilität***

***SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH***

***SYKO Gesellschaft für Forschung und Entwicklung GmbH & Co. KG***

***Autor: Dipl.-Ing. Reinhard Kalfhaus***

***Geschäftsführung SYKO-Verbund***



# Leistungselektronik



Für den Firmenverbund SYKO ist der Markt der Elektromobilität zu Land, zu Wasser und in der Luft seit 40 Jahren eine sich positiv erweiternde Herausforderung. Die Bahntechnik stellt mit >50% und die Sondertechnik mit >30% die dominierenden Umsatzanteile.

Um den Anforderungen des Marktes, den in Pflichtenheften gestellten Maximalanforderungen gerecht zu werden, sind vielfältige Schaltungstopologien und deren Kombinationen zu beherrschen.



## für E-Mobility

- **seit 40 Jahren**
- **Bahntechnik**
- **Sondertechnik**
- **Fahrzeuge**
- **Marine**
- **Fluggeräte**



# Leistungs-Portfolio



Die geforderten Eingangsspannungsbereiche bewegen sich von < 9 V bis > 5050 V DC und AC bei < 15 bis > 800 Hz. Der zu erbringende Leistungsbereich erstreckt sich von 1 Watt bis heute > 15 KW.

- bis 5kW
- kaskadiert bis n x 5kW
- Ströme bis 600A
- Null-Last-Fähigkeit
- Spannungen bis 1kV
- Prozesstechnik für funktionale und adaptive Steuerung / Regelung
- CAN-Bus
- RS 232
- RS 485

## Eingang

### DC Niederspannung

12V  
24V  
36V  
48V  
72V  
110V  
(220V)

### DC- Hochspannung

220 – 1000 DC  
1000V DC  
1500V DC  
3000V DC

### AC- Eingang

40 – 264 AC  
300 – 3000V AC  
Rechteck/Trapez/Sin  
us  
16,7 / 50 / 60-800Hz

## Topologie

Buck/Boost mit Synchronsch.

Regeneratoren

Systemwandler/Housekeeper

Powerfaktor-Frontend

1Ph-Wechselrichter

3Ph-Wechselrichter

Frequenzumrichter

Festfrequenz u. f/U-Control

Bordnetzversorgung nulllastfähig

Batterieladegeräte nulllastfähig

Spannungskaskaden Hochvolt

Stromkaskaden Hochstrom

Topologie-Kaskadierung

Universalnetzteile mit PFC

Polaritätswechsler

Resonanz-Einstufentopologie

Synchrone Gleichrichtung

## Ausgang

### DC-Output

1V – >700V  
- Einfach-Ausgang  
- Mehrfach Ausgänge

### AC-Sinus Ausgänge

1Ph 115V / 230V AC  
3Ph 200V / 440V AC  
16,7 / 50 / 60 / 400 Hz

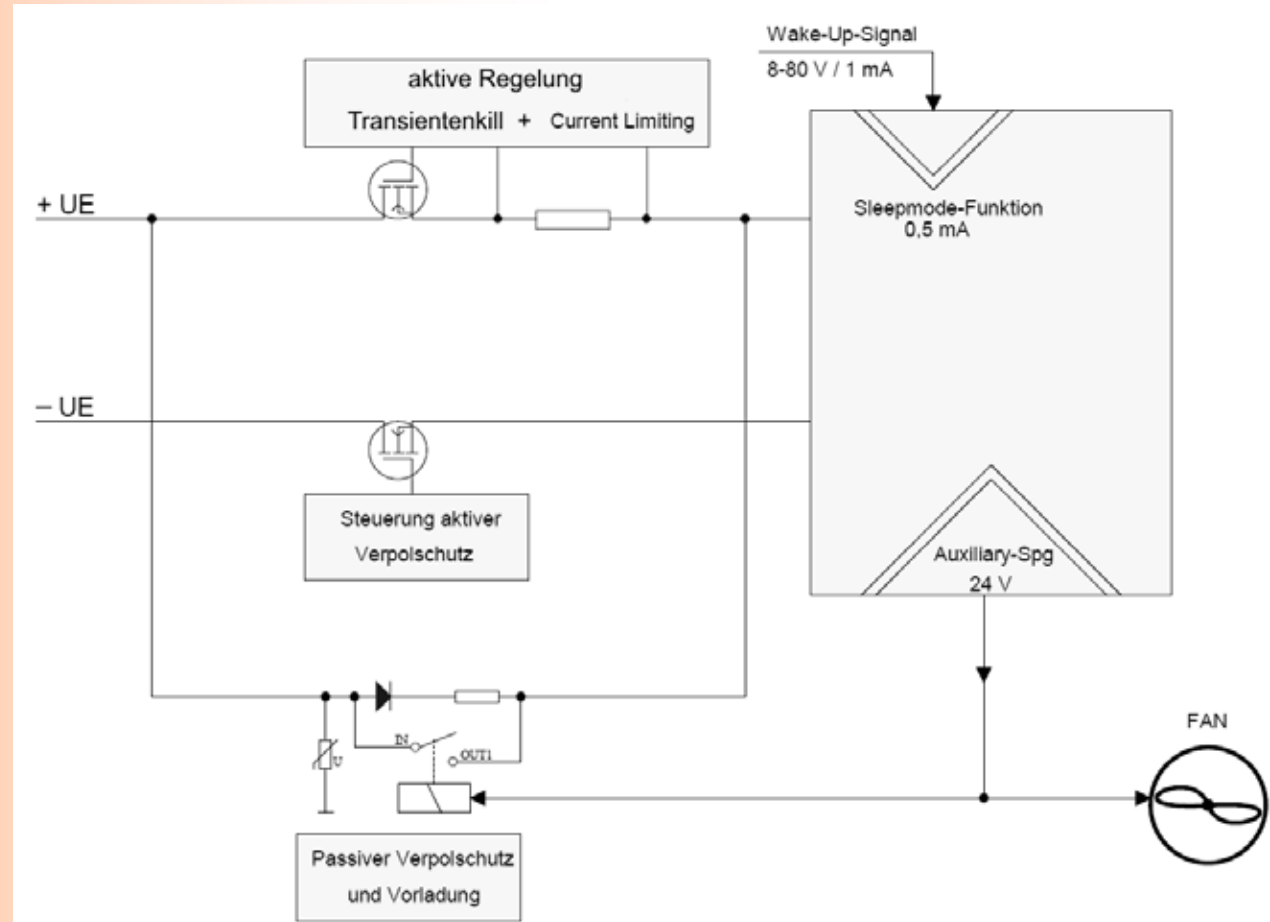
### Funktionale Ausgänge

$UA = f(x)$   
X = Sollwert/Pulsweite/Absolut  
X = Zeit  
X = Temperatur

3Ph 115V – 440V AC

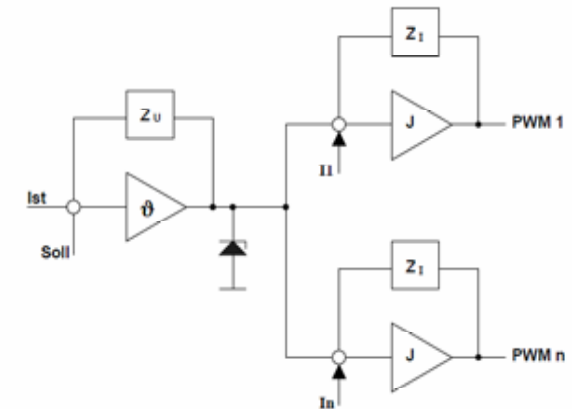
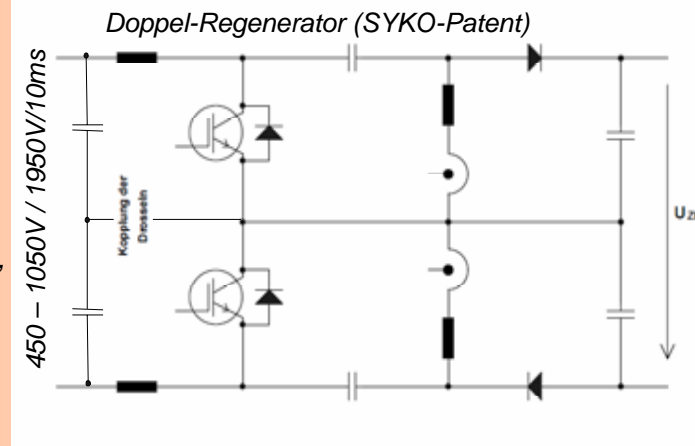
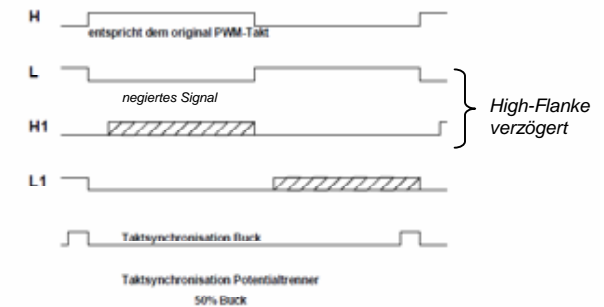
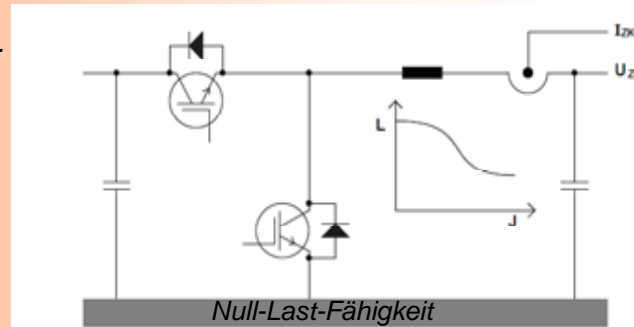
# Peripherie

Die Komponenten müssen dynamische Überspannungen mittels Aktivem Transientenschutz ohne Stromreflektion – also absorbierend - und das Aufschalten auf Eingangskapazitäten mit vorgegebenem Innenwiderstand beherrschen. Im Niedervoltbereich muss der Eingang ohne Verluste mittels eines sehr schnellen Aktiven Verpolschutzes geschützt werden und im Hochvoltbereich durch eine Dioden-Widerstands-kombination, die durch ein Hochstromschütz nach der Vorladung überbrückt wird. Für dieses bis > 150 A – Schütz und externe Lüfter muss eine Auxiliary-24 V Spannung potentialfrei / geregelt / kurzschlussfest und abgeleitet von dem internen housekeeper zur Verfügung stehen. Nach dem Anzug des Schützes wird die Leistungsstufe der SYKO-Komponenten integral aktiviert. Um Leistungskomponenten an der Batterie dauerhaft zu belassen, besitzen solche Komponenten optional eine sleep-mode-Funktion von  $\leq 0,5$  mA Leerlaufstrom. Aufgeweckt werden die Komponenten (z.B. Batteriewechselrichter / Frontendgeräte) mit einem wake up, einem potentialgetrennten und polaritätsfreien 1 mA Konstantstrom-Signal mit < 8 - > 80 V oder 15 - > 600 V.



# Topologie

Buck-Topologien arbeiten bis  $> 1000V$  mit aktiver Diode und speziellen Drosseln zur Nulllastfähigkeit. Stromkaskaden (Strings) arbeiten sehr stabil mit unterlagerten Stromregelkreisen im average-current-mode. Die patentierten Regeneratoren beherrschen Eingangsspannungen kleiner / gleich / höher als die verstellbare / geregelte und kurzschlussfeste (bis  $U_A=0 V$ ) Ausgangsspannung und arbeiten an 24 / 36 / 72 / 110 V – Bordnetzen mit  $\pm 40\%$  zur Felderregung an fremderregten Generatoren weltweit. Um an 3 Ph-Generatoren ohne Blindleistung zu arbeiten, wird zur Zeit mittels Prozessortechnik und dem Raumzeigermodell ein 3 Ph-Powerfaktor oder ab DC eine 3 Ph-Spannung mit  $f/U$ -Control zur Serienreife gebracht. Um systemspezifisch reagieren zu können, ist es weiterhin erforderlich, Ströme und Spannungen zu kaskadieren, wie dies bei den UIC-Wandlern oder am 750 V Fahrdraht (Patent des Doppel-Regenerators) eingesetzt wird. Durch Kombination von Topologien passt man sich den Kundenanforderungen an. So entstehen ab AC auf AC-Spannung mehrstufige Topologien.



# Mehrstufenlösung

## Beispiel Frequenzumrichter



### Mit Potenzialtrennung

- 3Ph-Powerfaktor
- PWM-Fontend
- Resonanz-Vollbrücke
- 3Ph-Wechselrichter

### Ohne Potenzialtrennung

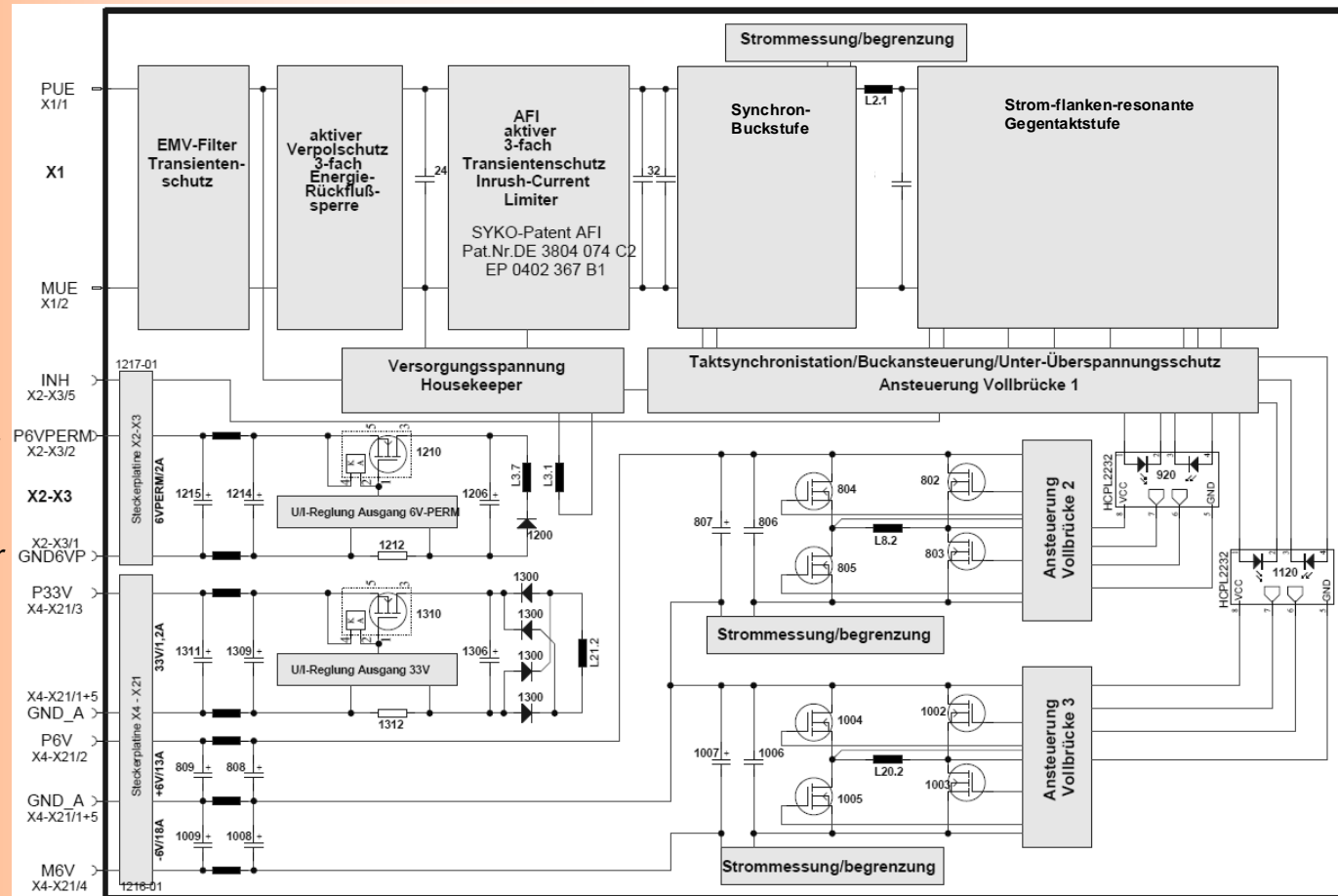
- 3Ph-Powerfaktor
  
- 3Ph-Wechselrichter

**Unterschiedliche Material- und  
Kostenaufwendungen**

# Mehrstufenlösung

Hocheffiziente Einstufen-Resonanzwandler ( $t_{off}=const$ ) werden für Kleinstleistungs-Frontendgeräte und als housekeeper eingesetzt. Synchrongleichrichter verbessern den Wirkungsgrad.

Hier das Bild einer beidseitig resonanten Vollbrücke die im Prinzip bidirektional arbeiten kann. Das Timing ist hier eine Herausforderung, dass der Wandler bis Nulllast strom- und flankenresonant bleibt und nicht zurückspeist. Diese Stufe alleine schaltet jeweils am Ausgang auf einen Kondensator und muss durch Frontendtopologien ergänzt werden



# Leistungs-Portfolio



Ausgänge sind geprägt durch Nieder- oder Hochvolt, DC oder AC und funktions-bestimmt über Temperatur / Zeit / Sollwert. Hier beherrscht SYKO Leistungen bis 12KW / n x 5 KW / Ströme von > 600 A, die Nulllastfähigkeit, Kommunikation und Prozessortechnik. Mit diesen Vorgaben: Eingang, Topologie, Ausgang und deren beliebigen Kombinationen werden Kompetenzbereiche bei Forschung, Entwicklung, Modifikation, Produktion und Vertrieb festgelegt. SYKO arbeitet kundenspezifisch global, meidet aber den globalen Stückzahlmarkt. Dennoch reden wir nicht von einem Nischenmarkt.

- bis 5kW
- kaskadiert bis n x 5kW
- Ströme bis 600A
- Null-Last-Fähigkeit
- Spannungen bis 1kV
- Prozessortechnik für funktionale und adaptive Steuerung / Regelung
- CAN-Bus
- RS 232
- RS 485

## Eingang

### DC Niederspannung

12V  
24V  
36V  
48V  
72V  
110V  
(220V)

### DC- Hochspannung

220 – 1000 DC  
1000V DC  
1500V DC  
3000V DC

### AC- Eingang

40 – 264 AC  
300 – 3000V AC  
Rechteck/Trapez/Sinus  
16,7 / 50 / 60-800Hz

## Topologie

Buck/Boost mit Synchronsch.

Regeneratoren

Systemwandler/Housekeeper

Powerfaktor-Frontend

1Ph-Wechselrichter

3Ph-Wechselrichter

Frequenzumrichter

Festfrequenz u. f/U-Control

Bordnetzversorgung nulllastfähig

Batterieladegeräte nulllastfähig

Spannungskaskaden Hochvolt

Stromkaskaden Hochstrom

Topologie-Kaskadierung

Universalnetzteile mit PFC

Polaritätswechsler

Resonanz-Einstufentopologie

Synchrone Gleichrichtung

## Ausgang

### DC-Output

1V – >700V  
- Einfach-Ausgang  
- Mehrfach Ausgänge

### AC-Sinus Ausgänge

1Ph 115V / 230V AC  
3Ph 200V / 440V AC  
16,7 / 50 / 60 / 400 Hz

### Funktionale Ausgänge

$UA = f(x)$   
X =  
Sollwert/Pulsweite/Absolut  
X = Zeit  
X = Temperatur  
3Ph 115V – 440V AC



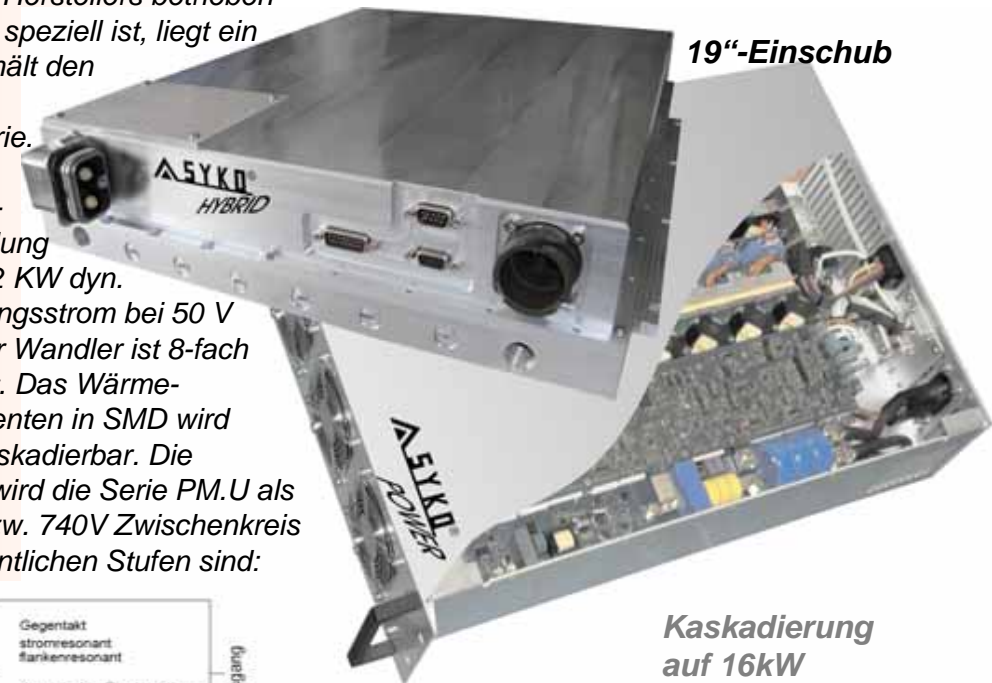
# Range-Extender



## Batterielader Li-Ion ab Brennstoffzelle

Für die Leistungswandlung Brennstoffzelle auf Hochvoltbatterie hat SYKO die PM-Serie in 19" oder mit Wasserkühlung zur Serienreife gebracht. Der Eingangsspannungsbereich 50-105V (75-154V) und der potentialgetrennte ca. 300 V DC-Ausgang beherrschen einen Leistungsbereich von 9 KW und optional dynamisch 12 KW (siehe Applikation 2). Da Brennstoffzellen gemäß dem Wissen und den Vorgaben des Herstellers betrieben werden müssen und das Ladekonzept der Hochvoltbatterie sehr speziell ist, liegt ein übergeordnetes Funktionsmanagement beim Kunden. SYKO erhält den Eingangsstrom-Sollwert und lädt mit vorgegebenen Ausgangs (Splitting)-Strom oder Ladeschluss-Spannung die Hochvoltbatterie. Der Wandler besitzt alle Schutzfunktionen wie Vorladung der Eingangsstufe, housekeeper ab Ausgangsseite, ein Interleaving-Betrieb (4x90°) zur Reduzierung der Stromwelligkeit, Stromregelung jedes String im Average-Current-Mode (ACM). Um die 9 KW / 12 KW dyn. mit den PWM-Frontend-Strings zu beherrschen, muss ein Eingangsstrom bei 50 V und 97 % Wirkungsgrad von 186 / 248 A beherrscht werden. Der Wandler ist 8-fach kaskadiert, was bedeutet, dass der Stringstrom 23 / 30 A beträgt. Das Wärme-Management für die Bestückung aller aktiven Leistungskomponenten in SMD wird beherrscht. Auch der Wandler selber ist optional zu n x 9 KW kaskadierbar. Die erforderliche Kommunikation erfolgt über CAN OPEN. Optional wird die Serie PM.U als Frontendgerät an 72/110/220V-Batterien angeboten mit 370V bzw. 740V Zwischenkreis und zum Nachschalten von 1Ph oder 3Ph-Umrichtern. Die wesentlichen Stufen sind:

IP65-  
Fahrzeugvariante



Kaskadierung  
auf 16kW



In den Hochstrom- / Niedervoltanwendungen werden keine Elektrolyte in der Chopperei eingesetzt. Die Ströme pro Volumen sind zu hoch. Keramik und Folie sind niederohmig. Ein Ausgang gemäß dieser Topologieanwendung ist ohne Regelung des Ausgangs auf  $\pm 2,5\%$  stabil.

# Wechselrichter



## hochfrequent und potentialgetrennt

Eingang: 24-110 V Bordnetz

Ausgang: Einphasenspannung 115 / 230 V AC  
Dreiphasenspannung 220 / 440 V DC

Leistung: 500 VA bis 2,6 KVA  
> 3kVA auf Anfrage

Diese Systembausteine sind die mechanische Kombination und Integration aus Frontendgeräten und Nachsetzmodulen

### Applikation 2: Klimatisierung mit Batteriedrehrichter

Wird die Ausgangsspannung der vorher beschriebenen Komponente PM.U auf 740 V kaskadiert, so wird dem PM.U eine 3 Ph-Leistungsstufe achgeschaltet. Mittels einer 3 Ph-Drossel und EMV-Filter wird ein synthetischer Sinus erzeugt, der mit f/U-Control in Amplitude und Frequenz gesteuert wird.



150W in Vorbereitung

12kVA in Vorbereitung

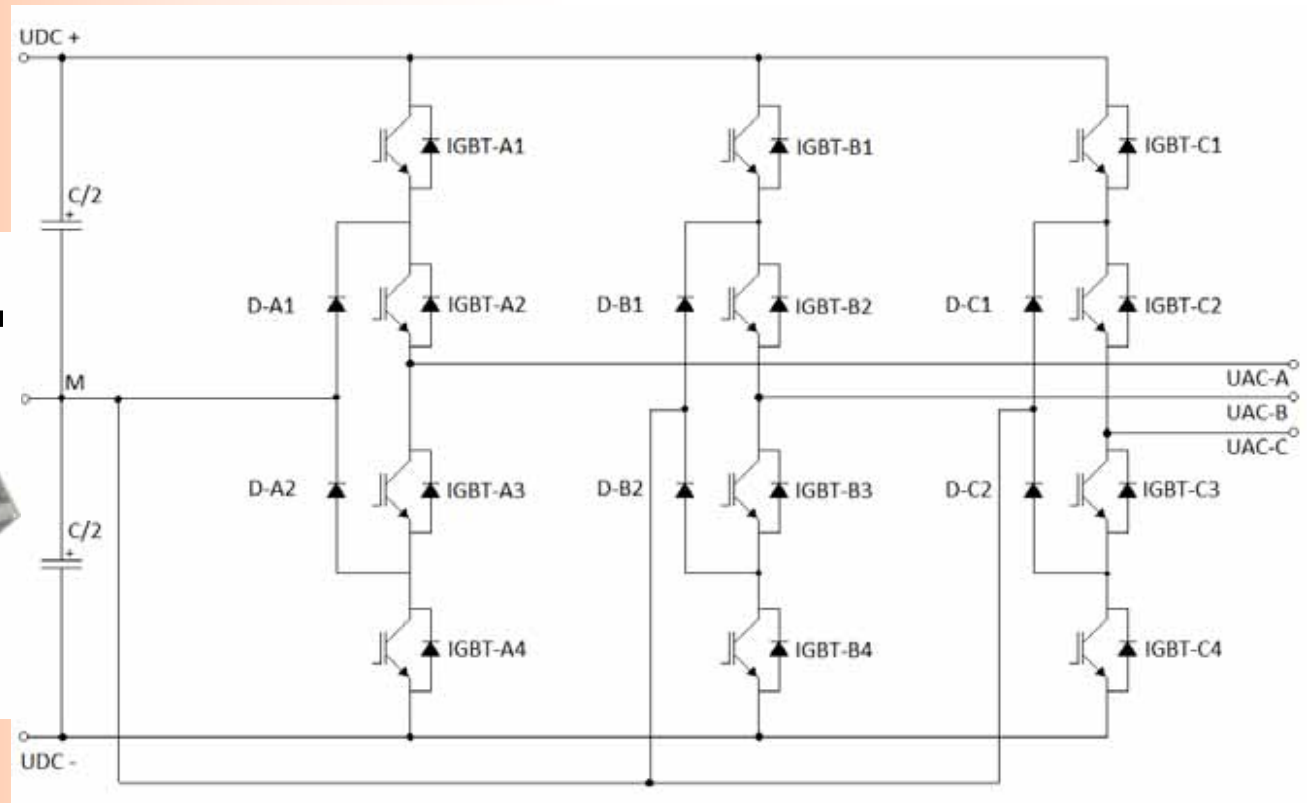
Frontend FE P01  
Nachsetzmodul 3Ph/50Hz  
Optional bis 12kVA DRR.H8

# Wechselrichter



## 3-Level-Wechselrichter

**Vorstufe**  
(Range-Extender)

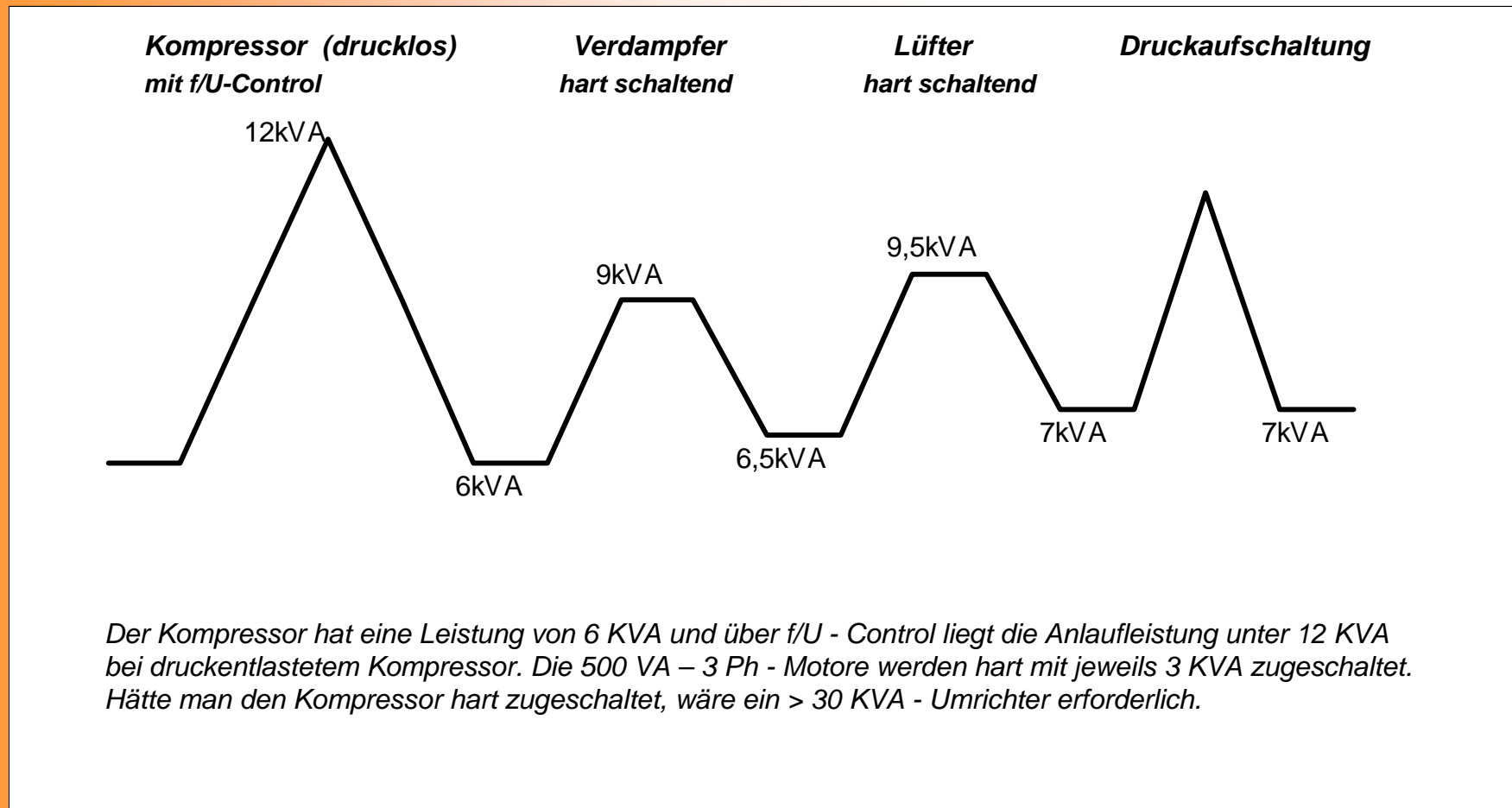


*Dieses 3 Ph-Konzept wird gerade als 3 Stufentopologie zur Verbesserung des Wirkungsgrades bei Verdoppelung der Frequenz als Bachelorarbeit bearbeitet. Funktionsstudie, Layout des SMD-Leistungsmoduls mit housekeeper und Ansteuerung und Prozessortechnik zur Mehrphasenansteuerung gehören zu dem Gesamtumfang. Dies ist eine sehr große Anforderung aber sehr berufseffizient.*

# Wechselrichter



## Lastprofil Klimaanlage PM.U + Drehrichter



# Batterieladung



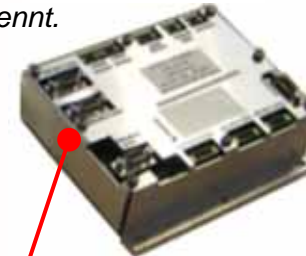
## Applikation 3: Intelligentes Batterie-Lademanagement

Der Markt verlangt ein Batterieladekonzept ab einer DC-Zwischenkreisspannung, die über die Drehzahl des Diesels eigenerregt von 200-850 V / 950 V dyn. schwankt. Potentialgetrennt muss ein Bordnetz im Parallelbetrieb (Batterie/Verbraucher) mit der 28 V Batterie mit 15 KW versorgt werden. SYKO hat sich entschieden, drei und bis vier Geräte ( $n \times 5 \text{ KW}$ ) geregelt parallel zu schalten. Dies ergibt einen  $\Sigma$ -Strom von bis zu 666 A. Bedingung ist, dass der Batterieladestrom (Splittingstrom) zwischen 20A und 80 A geregelt möglich ist. Das Gesamtkonzept sind drei (vier) Leistungssteller HBL.M mit Kommunikation zu einem übergeordneten Lademanagement LMB. Der Leistungssteller ist wenig intelligent und besitzt im wesentlichen: Eingangsfiler, optional Aufschaltstrombegrenzung Frontend PWM, vollresonante Gegentaktbrücke mit mehreren Transformatoren, (1+2 / 1+1 Wicklung) und den Gleichrichtdioden direkt auf die Ausgangskondensatoren. Die Kommunikation zwischen LMB.A (D) erfolgt analog (zukünftig digital). HBL.M – LMB.A (D) und CAN-Kommunikation sind zueinander potentialgetrennt. Das LMB verarbeitet die Batterietemperatur (PT1000), erhält den Batteriestrom (Splittingstrom) und die Batterie-Klemmenspannung über  $\geq 20 \text{ mtr}$  Senseleitung.

**HBL.M**  
Leistungssteller



**LMB**



## Serie HBL.M und BLG

1. Intelligentes Lademanagement mit externem LMB-A oder -D
2. geregelte Lastkaskadierung  $n \times 5 \text{ kW}$
3. Absolute Null-Last-Fähigkeit
4. leistungs- und sicherheitsredundant
5. CAN-Kommunikation
6. Digitale Kommunikation
7. Oberfläche für Inbetriebnahme
8. Wasser- oder Konvektionskühlung

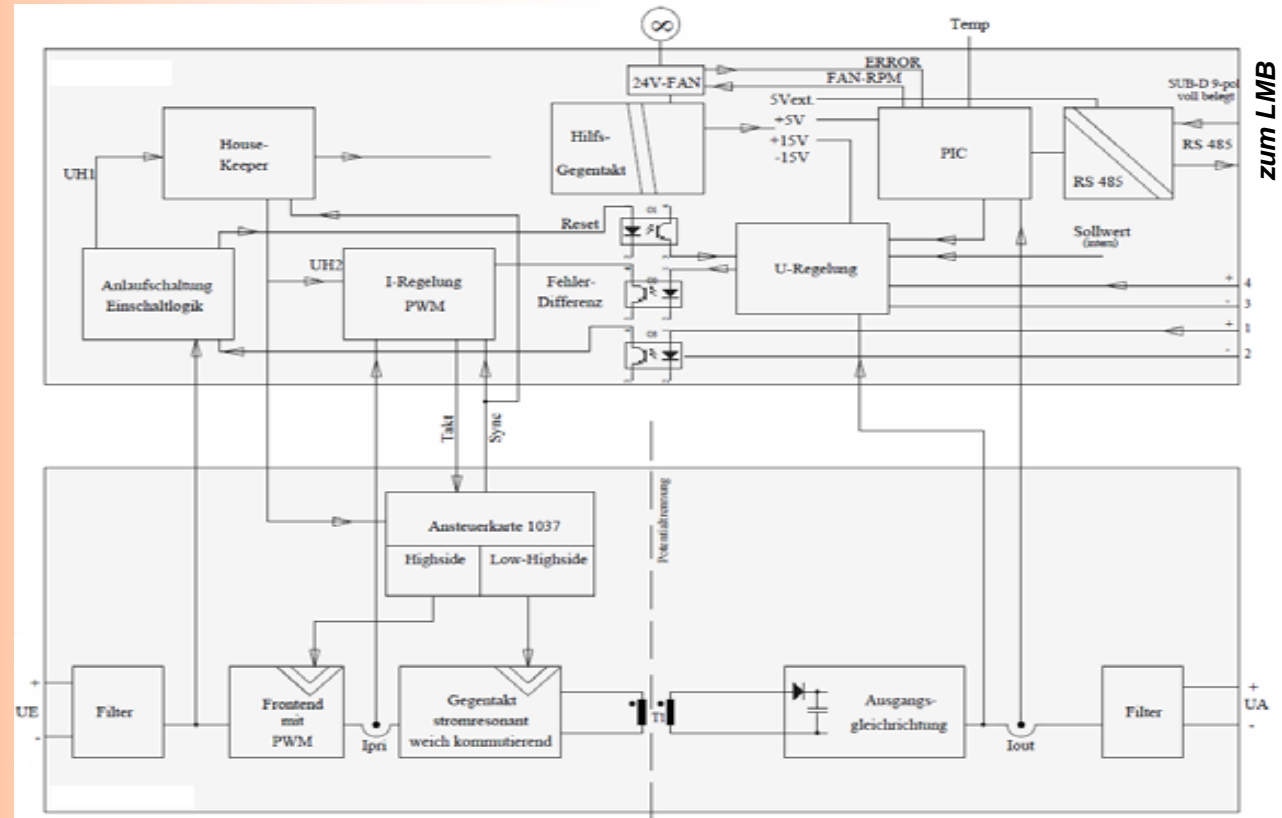


**bis 3 x BLG  
+ LMB**



# Batterieladung

Der Kunde kommuniziert über den CAN zum LMB, fragt die relevanten Systemdaten ab, Einzelströme der HBL.M, verrechnet und meldet die Gesamtleistung, registriert den Ausfall der Leistungsstufen und steuert bei geringem Leistungsbedarf die Einzelleistungsstufen. Bei Geräte-Kaskadierung ist es zwingend, dass jede Leistungsstufe nulllastfähig ist, da sonst ab lückendem Drosselstrom die Geräte pumpen und nicht im Power sharing arbeiten. So kann ab Nulllast auf Volllast ein Lastwechsel 0 auf 600A auf 0A vorgenommen werden. Denkbar ist auch, dass diese HBL.M als Frontendgerät bei Ausgangsspannung 0-Ua max als Leistungssteller bei einem Wirkungsgrad von 94 % arbeiten. Das Konzept der Kaskadierung bedeutet, dass viele Zwerge einen Riesen vorteilhaft ersetzen.



# **Leistungselektronik**

---



***SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH***  
***SYKO Gesellschaft für Forschung und Entwicklung GmbH & Co. KG***

***Autor: Dipl.-Ing. Reinhard Kalfhaus***  
***Geschäftsführung SYKO-Verbund***

