

Sensorversorgung ohne Batterien oder Energy-Harvesting

Hans W. Diesing (hans-w.diesing@haohong.eu)

Zusammenfassung:

Fest installiert verteilte aktive Sensoren etwa in Alarmanlagen, Lichtinstallationen oder in der Gebäude- und Industrieautomation können inzwischen mit geringerem Aufwand auf die Versorgung aus unzuverlässigen Umgebungsenergien oder aus wartungsbedürftigen Batterien verzichten, sofern das Stromnetz in Reichweite installiert ist. Im letzten Jahr wurden erhebliche Fortschritte bei isolierten Minimalnetzteilen bzw. Netzladeadaptern erzielt und gemäß der Null-Watt-Definition nach IEC62301 sogar ein lastfreier Standby unter 5mW an 230Vac realisiert bei einer durchschnittlichen Effizienz von knapp 80% (25/50/75/100%Last) – allerdings auch nicht durchgehend etwa bei Minimallasten unter 1W. Trotz kompakter Abmessungen sind dafür aber immerhin mehr als 30 Bauteile nötig. Wenn jedoch nur wenige Milliwatt etwa für eine Sensorversorgung benötigt werden, kommt man mit erheblich weniger Bauteilen aus – auch ohne nennenswerte Zugeständnisse an die Energieeffizienz oder den Standby-Verbrauch.

Einführung: Standby-Minimierung – Stand der Technik

Getrieben von der Erkenntnis, dass auch durch den Boom mobiler Kommunikation und Medien mit Netz-/Ladeteilen deren Stromverbrauch trotz regulatorischer Beschränkungen des Standby bzw. der Null-Last-Leistungsaufnahme entsprechender Geräte nicht einzudämmen ist, sondern immer noch einen beträchtlichen Anteil zwischen 5 und 15% am allgemeinen Stromverbrauch ausmacht, ist die Netzteilindustrie inzwischen bemüht, Energy-Star-Scores und internationale Null-Watt/No-Load-Standards zu erfüllen und wo möglich sogar zu unterbieten. Erste Erfolge meldete PowerIntegrations mit einer recht aufwändigen IC-Applikation, die von der IEC62301 geforderten 5mW zu unterschreiten – allerdings ohne Isolation und damit beschränkt auf wenige Installationsanwendungen, die keinen Berührungsschutz verlangen. 2012 brachte der Konkurrent iWatt (inzwischen bei DialogSemiconductor) einen IC heraus, der nun auch das Isolationserfordernis für ein 5-Watt-Netz-/Ladeteil erfüllen konnte, zwar ebenfalls mit 4,5mW No-Load-Verbrauch aber mit 32 Einzelkomponenten und darunter auch nicht die allergünstigsten. Trotzdem ist das Netzteil so kompakt, dass es samt USB-Buchse in einen 1-Zoll-Würfel passt.

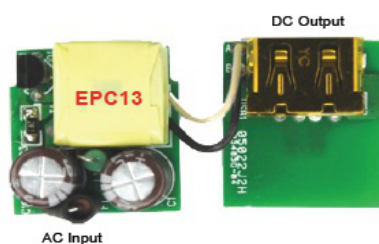


Figure 1.1 PCB Top View

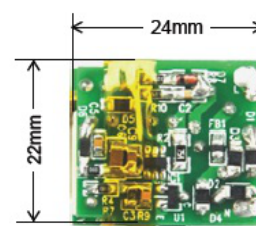


Figure 1.3 Side View

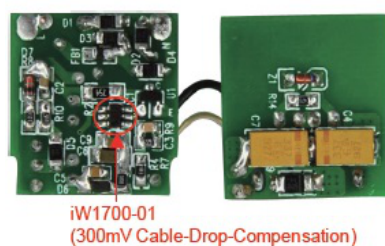


Figure 1.2 PCB Bottom View

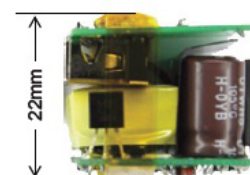


Figure 1.4 Side View

Item	Qty.	Ref.	Description	Manufacturer P/N	Manufacturer
1	1	IC1	iW1700-01(300mV CDC), off-line digital PSR & PWM & VMS controller, SOT23-6	iW1700-01	iWatt, Inc
2	2	C1, C10	6.8uF, 400V, E-Cap, (Ø8mmx12mm)	2GUTWHS6R8M0G12	TOSHIN KOGYO Co.
3	1	C2	4.7nF, 250V, X7R, SMD-0805	CGA4F3X7R2E472K	TDK Corporation
4	1	C3	10pF, 25V, NPO, SMD-0805	08053A100KAT2A	AVX Corporation
5	1	C5	470pF, 100V, X7R, SMD-0805	08051C471KAT2A	AVX Corporation
6	1	C6	22uF, 16V, X5R, SMD-1206	C3216X5R1C226M	TDK Corporation
7	2	C4, C7	330uF, 6.3V, tantalum capacitors	T520D337M006ATE045	Kemet
8	1	C9	10uF, 16V, X5R, SMD-0805	C2012X5R1C106M/0.85	TDK Corporation
9	1	R2	750KΩ ±5%, SMD-1206	ERJ-8GEYJ754V	Panasonic - ECG
10	1	R3	2.7Ω ±1%, SMD-1206	ERJ-8RQF2R7V	Panasonic - ECG
11	1	R7	18KΩ ±1%, SMD-0805	ERJ-6ENF1802V	Panasonic - ECG
12	1	R8	10KΩ ±5%, SMD-0805	ERJ-6GEYJ103V	Panasonic - ECG
13	1	R9	6.2KΩ ±1%, SMD-0603	ERJ-3EKF6201V	Panasonic - ECG
14	1	R10	510Ω, ±5%,SMD-0805	ERJ-6GEYJ511V	Panasonic - ECG
15	1	R14	47KΩ ±5%, SMD-0805	ERJ-6GEYJ473V	Panasonic - ECG
16	4	D1,D2,D3,D4	1A, 1000V, rectifier diode, SMD-1206S	SGC10MH	ZOWIE
17	1	D5	1A, 1000V, fast recovery rectifier (Trr=500ns), SMD-1206S	SRGC10MH	ZOWIE
18	1	D6	1A, 60V, Schottky diode, SMD-0805	WMSCD106RH	ZOWIE
19	1	D7	Fast recovery diode, LL34	LL4148	Fairchild
20	1	D9	3A, 40V, Schottky diode, SMD-2010	SCD34H	ZOWIE
21	1	Z1	6.2V, zener diode, LL34	ZMM5234B-7	Diodes Inc
22	1	F1	10Ω, fusible resistor, 1W	FRM1WJT-52-10R	Yageo
23	1	L1	330uH, color ring inductor, 0410	8230-80-RC	JW Miller A Bourns
24	1	FB1	4.7uH, chip inductor, SMD-0805	LQM21FN4R7M80L	Murata Electronics
25	1	U1	12mA, 600V, depletion mode MOSFET, SOT23	DMZ6005	ARK Microelectronics
26	1	U2	1.5A, 800V, NPN transistor (hFE: 25-30), TO-92	3DG3020A1	Wuxi China Resources Huajing Microelectronics
27	1	T1	EPC13, horizontal type		

Fig.2: iW1700-01 – 5-Watt-Mini-Charger-BOM – 32 Einzelbauteile (Quelle iWatt EBC 10010)

Die USB-Versorgungs-Norm verlangt inzwischen auch für alle Mobiltelefon-Netz-/Ladeadapter eine Spannung von 5 Volt bei einer maximalen Last von 5 Watt und insofern kann man dieses Beispiel als Referenz für den aktuellen Stand der Technik betrachten. Allerdings gibt es auch eine Vielzahl von minimalen Netzteilanwendungen, die nicht an diese Norm gebunden sind – etwa verteilte Sensoren in Gebäuden, in Haushaltsgeräten oder in Verbrauchszählern bzw. nicht zuletzt zur Standby-Überwachung größerer Netzteile, deren Microcontroller bei einsetzender Last aus einem verbrauchsarmen Tiefschlaf geweckt werden müssen, um wieder hochzufahren – also als Hilfsspannungsquelle für den verlustreduzierten Standby. Derartige Hilfsspannungsquellen sind ebenso interessant für die Ansteuerung von MOSFETs und IGBTs etwa in Motorsteuerungen. Oft werden nur wenige Milliwatt für solche Anwendungen benötigt, während die Effizienz herkömmlich erzeugter Hilfsspannungen aus dem Netz äußerst dürftig ist und den Standby-Verbrauch unnötig in die Höhe treibt. Batterielösungen sind zwar besonders einfach brauchen aber gelegentliche Batteriewechsel und eine entsprechend regelmäßige Überwachung, während Energy-Harvesting-Lösungen auf eine gesicherte Verfügbarkeit von Umgebungsenergien angewiesen sind und abgesehen von dieser Unwägbarkeit auch einen erheblichen Schaltungsaufwand bedingen. Insofern wäre es für Anwendungen in Reichweite einer Netzinstallation durchaus interessant, ein isolierendes Minimalnetzteil für wenige Milliwatt Standby bereitzustellen, das für einen entsprechend angepassten Wirkungsgrad mit nur wenigen Bauteilen ausgelegt ist und keine verlustträchtigen Netzteilstörfilter zusätzlich benötigt.

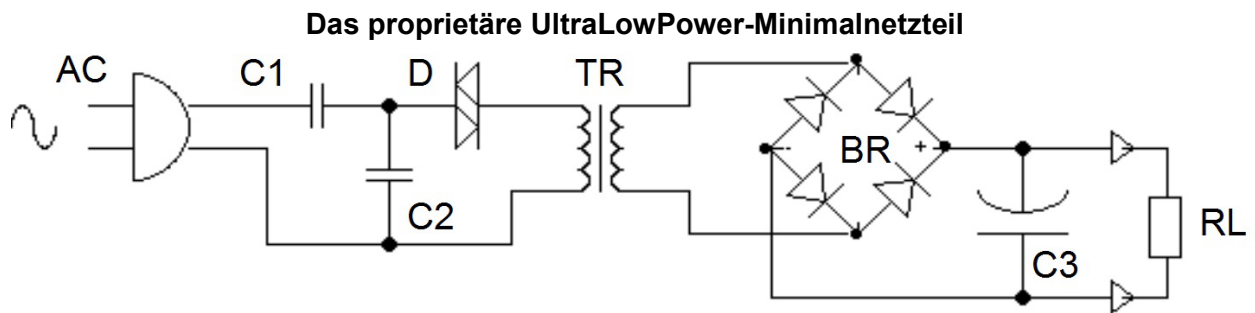


Fig. 3: Grundschtung des UltraLowPower-Minimalnetzteils aus 9 Einzelkomponenten

Auf dem ersten UltraLowPower-Entwicklerforum 2011 im Campus Garching der TU-München wurde die Grundschtung erstmals als Minimalversorgung eines Stromverbrauchszähler-Demonstrators auf EnergyMicro-Controller-Basis einer Fachöffentlichkeit vorgestellt, nachdem erste Schutzrechte gesichert waren. Damals kamen aus dem Auditorium Fragen auf, warum in den letzten 50 Jahren, seit es entsprechende Kippspannungsdioden wie den DIAC gibt, eine derart einfache Schaltung nie entwickelt wurde. Inzwischen hat eine internationale Prüfung durch das Europäische Patentamt die Neuheit bestätigt. Eine Entgeghaltung zur Stand-der-Technik-Recherche war ein APPLE-Patent aus dem Jahr 1996, das aber zur Begrenzung des Eingangsstroms einen Widerstand vorschlägt und dort einen Großteil der Leistungsaufnahme aus dem Netz einfach verheizt, was die Effizienzoptimierung offensichtlich massiv konterkariert.

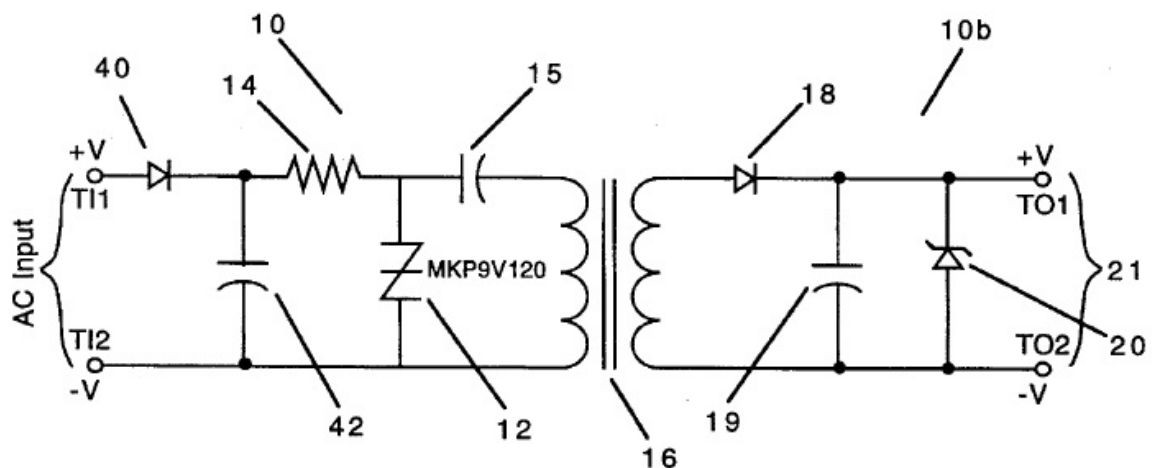


Fig. 4: APPLE-Patent-Zeichnung von 1996 mit Widerstand als Eingangsstrom-Begrenzer

Eine näher liegende Entgeghaltung war eine Patentanmeldung von 2006 auch mit einem SIDAC als Kippspannungsdiode jedoch in Serie mit der Primärwicklung und dem Kondensator zur verlustreduzierten Wechselstrombegrenzung, wohl aber mit unzulässig hohen impulsartigen Netzurückwirkungen, weshalb die Patentanmeldung vermutlich auch nicht weiter verfolgt wurde.

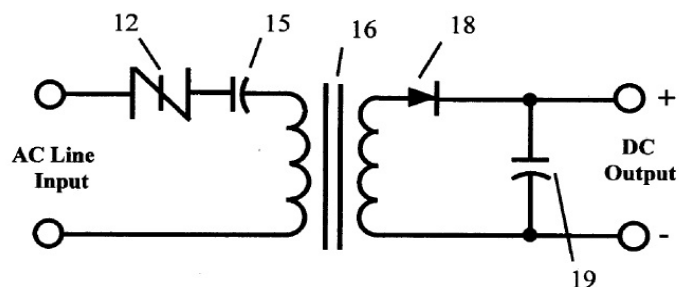


Fig. 5: Hanington/Kurka-Patentanmeldung von 2006 mit SIDAC als Kippspannungsdiode

EMV-Zulassung als Verwertungshemmnis?

Natürlich lassen sich durch Netzentstörfilter solche Störspikes absorbieren, die das Stromnetz in unzulässiger Weise belasten – vor allem auch die PowerLineCommunication, die in einer erst kürzlich standardisierten Schmalbandversion inzwischen im Wege der Energiewende als veritabler Kandidat zur Übertragung von SmartMetering-Daten gilt. Solche Netzentstörfilter konterkarieren aber wiederum den Effizienz-Optimierungs-Ansatz, da die Impulsenergie, die die Primärwicklung des Isolationstrafos nicht erreicht, damit verheizt wird und folglich verloren geht.

Damit lag es nahe, zu untersuchen, ob diese Netzurückwirkungen möglicherweise durch den zusätzlichen Hochvolt-Ladekondensator C2 (mit dem gleichen Wert wie der fast verlustfreie Eingangsstrom- Begrenzungskondensator C1, über den C2 während der Netzspannungsrampe wiederholt aufgeladen und über die Kippspannungsdioden mehrfach auf die Primärwicklung entladen wird), abgefangen bzw. auf ein zulässiges Maß reduziert werden können auch ohne flankierende Netzentstörfilter, die den Bauteileaufwand unnötig aufblähen und überdies die Energieeffizienz der Schaltung degradieren. Im Ingenieurbüro EmbeddedBrains aus Puchheim bei München konnten mit einem Spektrumanalysator erste EMV-Checks vorgenommen werden, die nahelegen, dass diese Annahme bestätigt werden kann, zumal die gemessenen Störungen äußerst nahe an eine realistische Nachweisgrenze herankamen, die bei ca. -85dBm liegt.

Weitere Optimierungen des Minimalnetzteils

Durch den Austausch des Brückengleichrichters gegen diskrete Schottky-Dioden (wie übrigens auch im iWatt-Netzteil iW1700 eingesetzt) konnte die Effizienz auf Anhieb um ganze Faktoren verbessert werden, weil in der Brückengleichrichtung damit weniger Raumladung bei der Ladungsträger-Rekombination bewegt wird und in der SIEMENS-Forschung wurde durch Simulation ermittelt, dass ein planar integrierter LTCC-Keramiktrafo mit optimiertem Luftspalt bei flächiger Geometrie der Kernhälften durch eine erhöhte magnetische Spitzensättigung trotz minimaler Streuverluste die Trafoverluste in der Gesamtschaltung gegenüber einem geschlossenen Ringkerntrafo bei gleicher Leistung halbieren kann. Eine weitere Option zur Verbesserung der Energieeffizienz wäre die Angleichung der Windungszahlen von Primär- und Sekundär-Wicklung des Isolations-Impulsübertragers. Dafür müssten allerdings Kippspannungsdioden mit entsprechend niedrigen Durchbruchspannungen eingesetzt werden, die der angestrebten Ausgangsspannung angeglichen sein sollten. Das wäre etwa ein sogenannter SIDACTor, eine TRIAC-artige Mehrschichtdiode mit einer integrierten bipolaren Zenerdiode im internen Gate-Pfad. Diese SIDACToren gibt es ab ca. 6 Volt Kippspannung, zumal der hierfür erforderliche Avalanche-Anteil beim Durchbruch der integrierten Zenerdiode erst ab ca. 5,6 Volt Nominalwert dominiert. Es gibt also mindestens drei parametrische Hauptfreiheitsgrade, die aufeinander abgestimmt werden sollten, um die Energieeffizienz der Schaltung in einer vorgegebenen Anwendung weiter zu optimieren:

1. Kippspannungsdiode optimiert: Stromimpulstoleranz, Durchbruch- und Sättigungsspannung
2. Schottky-Gleichrichter-Dioden optimiert: Durchbruchspannung, Maximal- und Leckströme
3. Isolationstrafo optimiert: Streuverluste zu Sättigung per Luftspalt und Windungsverhältnis

Um die neun Sub-Parameter der drei Komponenten auf die jeweilige Applikation untereinander abzustimmen, ist es sicherlich sinnvoll, per Simulation die optimalen Parameter vorzuermitteln, um dann die verfügbaren Komponenten zu selektieren, da eine experimentelle Optimierung aus einem beliebigen Bauteilefundus ohne eine vorläufige Orientierung kaum zu leisten ist. Die größte Herausforderung hierbei dürfte die Simulation des Isolationstrafos sein, zumal deren Hersteller keinerlei SPICE-Daten zur Verfügung stellen wie das bei Standardbauteilen üblich ist. Dafür ist der Trafo allerdings die einzige Komponente, die gegebenenfalls auch für kleinere Stückzahlen kundenspezifisch gefertigt werden kann und somit das letzte anzupassende Glied in einem derart interdependenten Effizienz-Optimierungsprozess.

Fazit: Für derartige Minimalnetzteile gibt es massenhaft Anwendungen mit teils erheblichem Energiesparpotenzial auch als Beitrag zur Schonung unserer Ressourcen, des Klimas und der Umwelt – ganz abgesehen von der schnelleren Amortisation bei steigenden Stromkosten, die bereits eine weitere Beschäftigung mit und Investitionen in derartige Lösungen hinreichend rechtfertigen sollte. Zudem eröffnen sich durch derart effiziente und störungskompensierte Minimalstromversorgungen im Zusammenhang mit der neuerlich genormten schmalbandigen PowerLineCommunication völlig neue Perspektiven für verteilt installierte intelligente Sensoren, über das vorhandene Stromnetz Daten auszutauschen, um nicht länger auf unzuverlässige Funkanbindungen und Batterien oder teure Energy-Harvesting-Lösungen angewiesen zu sein.

Referenzen:

http://www.rohm.com/web/global/news-detail?news-title=2013-09-05_ad&defaultGroupId=false
Rohm-25W-Netzteil-Controller, der bereits anstehende EU-Regularien EnergyStar6 übererfüllt

<http://www.powerint.com/en/applications/ultra-low-standby> PowerIntegrations 0-Watt-Application

<http://iwatt.com/product/iw1700/> PrimAccurate™ Zero No-Load Power Off-Line PWM Controller

https://www.techfundig.com/index.php#projects&project_id=153
Crowdfundig-Projekt „Minimal Standby isolated AC Power Supply/Charger“

Zitierte Patentpublikationen:

ISOLATING MINIMAL SWITCHED POWER SUPPLY

Methods and apparatus for auxiliary trickle power supply

AC line isolated DC high frequency low power converter

Weitere Datenblätter, Applikationen und Pressemeldungen zum Thema:

http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/121137-an-01-ml-Spektrumanalysator_HM5014_2_de_en.pdf Datenblatt EMV-Spektrumanalysator HM5014

http://www.siemens.com/innovation/de/news/2013/inno_1317_1.htm
SIEMENS-Pressemitteilung: LTCC-Planartrafo für OSRAM-LED-Lampe

<http://de.wikipedia.org/wiki/Schottky-Diode> Physik der Schottky-Diode

http://www.littelfuse.com/~media/Electronics_Technical/Application_Notes/Varistors/Littelfuse_Transient_Suppression_Devices_and_Principles_Application_Note.pdf
LittleFuse AN9768 „Transient Suppression Devices and Principles“

<http://www.littelfuse.com/products/sidactor-protection-thyristors/~media/Files/Littelfuse/Technical%20Resources/Documents/Data%20Sheets/Littelfuse%20SIDACtor%20MCDO%20214.pdf> LittleFuse-SIDACtor

<http://presse.gcpr.de/ieee/pressemeldungen/ieee-standardentwurf-fuer-narrowband-powerline-kommunikation-ueberzeugt-den-ersten-pruefungsausschuss-228>
Neue Norm schmalbandige PowerLineCommunication für SmartGrids