

منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا تئوری و طراحی

تالیف: جرج سی. کریسیس

ترجمه: حسن مرادی چشمه‌بیگی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن (مرکز پردیس)
سید فرزاد حبیب تبار



GEORGE C. CHRYSSIS

جرج سی. کریسیس

منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا، تئوری و طراحی / تالیف: جرج سی. کریسیس؛
ترجمه: حسن مرادی چشمه‌بیگی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن (مرکز پردیس) - سید
فرزام حبیب تبار

۲۸۴ ص - انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

ISBN: ۹۷۸-۹۶۴-۲۲۳-۱۴۷-۸

۶۰۰۰۰ ریال

عنوان اصلی:

HIGH-FREQUENCY SWITCHING POWER SUPPLIES: THEORY
AND DESIGN

عنوان: منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا، تئوری و طراحی

تالیف: جرج سی. کریسیس

ترجمه: حسن مرادی چشمه‌بیگی - سید فرزام حبیب تبار

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۲۳-۱۴۷-۸

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۳۸۸

چاپ و صحافی: سازمان چاپ دانشگاه آزاد اسلامی

بها: ۶۰۰۰۰ ریال

فهرست

فصل اول

نگاهی اجمالی به منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ

- ۰-۱ مقدمه ۷
- ۱-۱ منبع تغذیه‌ی خطی (Linear) ۸
- ۲-۱ منبع تغذیه‌ی رگوله شده‌ی سوئیچینگ off-the-line (متصل به خط) ۹
- ۱-۲-۱ بلوک‌های ساختار کامل منبع تغذیه‌ی off-the-line ۱۰

فصل دوم

بخش ورودی

- ۰-۲ تکنیک دو برابر کردن ولتاژ ۱۳
- ۱-۲ انتخاب اجزاء و معیارهای طراحی ۱۴
- ۱-۲-۱ یکسوکننده‌های ورودی ۱۴
- ۲-۱-۲ خازن‌های فیلتر ورودی ۱۴
- ۲-۲ تجهیزات محافظ ورودی ۱۵
- ۲-۲-۲ جریان هجومی (Inrush current) ۱۵
- ۲-۲-۲ محافظت در برابر ولتاژ ورودی گذرا (Transient) ۱۷

فصل سوم

انواع مبدل‌های توان

- ۰-۳ تعاریف و دیمانسیون‌ها ۱۹
- ۱-۳ مبدل Flyback ایزوله شده ۲۱
- ۱-۱-۳ ترانزیستور سوئیچینگ مبدل Flyback ۲۲
- ۱-۲-۳ ترانس - چوک مبدل Flyback ۲۵
- ۳-۱-۳ انواع مبدل Flyback ۲۵

۲۶	۳-۲ مبدل Forward ایزوله شده.....
۲۸	۱-۲-۳ ترانزیستور سوئیچینگ مبدل Forward.....
۲۹	۳-۲-۲ ترانس مبدل Forward.....
۳۰	۴-۲-۳ انواع مبدل Forward اساسی.....
۳۱	۳-۳ مبدل Push-Pull.....
۳۲	۱-۳-۳ ترانس مبدل Push-Pull.....
۳۳	۲-۳-۳ ترانزیستورهای مبدل Push-Pull.....
۳۴	۳-۳-۳ محدودیت‌های مدار Push-Pull.....
۳۶	۴-۳ انواع مدار مبدل Push-Pull.....
۳۶	۱-۴-۳ مبدل نیم‌پل (Half-bridge).....
۳۸	۲-۴-۳ خازن کوپلینگ رابط سری.....
۴۳	۳-۴-۳ دیود های جایگزین (commutating diodes).....
۴۳	۵-۳ مدار تمام پل.....
۴۴	۶-۳ یک مبدل جدید با ریپل خروجی صفر.....
۴۸	۷-۳ نوسان‌ساز مسدودکننده (blocking oscillator) یا مبدل Ringing choke.....
۵۱	۱-۷-۳ ترانس نوسان‌ساز مسدودکننده.....
۵۲	۲-۷-۳ یک مبدل نوسان‌ساز مسدودکننده با ماسفت (MOSFET).....
۵۳	۸-۳ مبدل شپارد - تیلور (SHEPPARD-TAYLOR).....
۵۳	۱-۸-۳ تحلیل مداری مبدل شپارد - تیلور.....
۵۹	۲-۸-۳ خصوصیات مبدل شپارد - تیلور.....
۶۰	۳-۹ مبدل‌های رزونانسی فرکانس بالا.....
۶۰	۱-۹-۳ مبدل پایه‌ی تشدیدشده‌ی موج سینوسی سری.....
۶۲	۲-۹-۳ انتخاب ترانزیستور در مبدل تشدید سری.....
۶۳	۳-۹-۳ طراحی ترانس قدرت.....
۶۳	۴-۹-۳ طراحی شبکه‌ی تشدید سری $LRCR$
۶۳	۵-۹-۳ طراحی سلف تشدید.....
۶۶	۱۰-۳ مبدل‌های رگوله‌شده‌ی مد جریان.....
۶۷	۱۱-۳ مبدل وارد (The Ward Converter).....
۶۹	۱-۱۱-۳ تحلیل مدار مبدل وارد.....
۷۱	۲-۱۱-۳ روند طراحی مبدل وارد.....
۷۲	۳-۱۱-۳ مشخصه‌های مبدل وارد.....

فصل چهارم

ترانزیستور قدرت در طراحی مبدل

۷۳	۰-۴ مقدمه
۷۳	۱-۴ انتخاب ترانزیستور
۷۴	۲-۴ استفاده از ترانزیستور قدرت دوقطبی به عنوان یک سوئیچ
۷۵	۳-۴ تعاریف زمان سوئیچ ترانزیستورهای دوقطبی (بار مقاومتی)
۷۶	۴-۴ روابط سوئیچینگ بار سلفی
۷۶	۵-۴ مدارهای ضد اشباع ترانزیستور
۷۹	۶-۴ تکنیک‌های جریان درایو بیس برای ترانزیستورهای دوقطبی
۷۹	۱-۶-۴ مدارهایی با جریان درایو ثابت
۸۳	۲-۶-۴ یک مدار درایو بیس نسبی
۸۵	۳-۶-۴ یک مدار درایو بیس نسبی متناوب
۸۹	۴-۶-۴ مدارهای ضد اشباع استفاده شده در درایوهای بیس
۹۰	۷-۴ شکست ثانویه ترانزیستور دو قطبی
۹۰	۱-۷-۴ شکست ثانویه بایاس مستقیم
۹۳	۲-۷-۴ شکست ثانویه بایاس معکوس
۹۵	۸-۴ شبکه‌های حافظت ترانزیستور سوئیچینگ: اسنابرهای RC
۹۸	۹-۴ استفاده از ماسفت قدرت به عنوان کلید (SWITCH)
۹۸	۱-۹-۴ مقدمه
۹۹	۲-۹-۴ تعاریف پایه‌ای ماسفت
۹۹	۳-۹-۴ ملاحظات درایو گیت ماسفت
۱۰۲	۴-۹-۴ مشخصه‌های عملیاتی استاتیک ماسفت
۱۰۳	۵-۹-۴ ناحیه‌ی کار ایمن ماسفت (SOA)
۱۰۵	۶-۹-۴ ملاحظات طراحی برای راه‌اندازی ماسفت قدرت
۱۰۷	۷-۹-۴ مدارهای به کار رفته در راه‌اندازی ماسفت
۱۱۳	۸-۹-۴ مدارهای محافظتی کلید ماسفت قدرت
۱۱۶	۱۰-۴ کلید گیت خاموش (GTO)
۱۱۶	۱-۱۰-۴ نیازهای فرمان گیت GTO

فصل پنجم

ترانسفورمر قدرت فرکانس بالا

۱۱۷	۰-۵ مقدمه
۱۱۷	۱-۵ مبانی الکترومغناطیس

۱۱۹	۲-۵ حلقه‌ی هیستریزیس
۱۲۲	۳-۵ تئوری پایه‌ی ترانسفورمر
۱۲۴	۴-۵ انتخاب مواد و شکل هسته
۱۲۵	۵-۵ طراحی یک ترانسفورمر قدرت برای یک مبدل نیم‌پل پهنای باند مدوله‌شده
۱۲۹	۶-۵ ملاحظات عملی
۱۳۰	۷-۵ طراحی ترانس - چوک مبدل flyback
۱۳۱	۱-۷-۵ روند طراحی
۱۳۸	۸-۵ برخی ملاحظات عمومی ترانس‌های فرکانس بالا

فصل ششم

قسمت خروجی: یکسوکننده‌ها، سلف‌ها و خازن‌ها

۱۴۱	۱-۶ مقدمه
۱۴۱	۱-۶ روش‌های فیلتر کردن و یکسوسازی خروجی
۱۴۳	۲-۶ مشخصه‌های یکسوکننده‌ی قدرت در طراحی منبع تغذیه‌ی سونیچینگ قدرت
۱۴۴	۱-۲-۶ دیودهای با بازایی سریع و خلی سریع
۱۴۵	۲-۲-۶ یکسوکننده‌های شاتکی (Shotky barrier)
۱۴۶	۳-۲-۶ حذف اضافه ولتاژ گذرا
۱۴۷	۴-۲-۶ محاسبه‌ی پیک جریان دیود یکسوکننده برای مبدل‌های flyback, forward و push-pull
۱۵۱	۳-۶ یکسوکننده‌های سنکرون
۱۵۱	۱-۳-۶ ملاحظات عمومی
۱۵۳	۲-۳-۶ ماسفت قدرت به عنوان یک یکسوکننده‌ی سنکرون
۱۵۵	۳-۳-۶ یکسوکننده‌ی سنکرون دوقطبی
	۴-۳-۶ رگولاسیون ولتاژ خروجی با استفاده از یکسوکننده‌های سنکرون دوقطبی و تکنیک‌های
۱۵۷	رگولاسیون PWM
۱۵۹	۵-۳-۶ یک یکسوکننده‌ی سنکرون راه‌اندازی شده با جریان (Current-Driven)
۱۶۱	۴-۶ طراحی سلف قدرت خروجی
۱۶۱	۱-۴-۶ ملاحظات عمومی
۱۶۲	۲-۴-۶ بدست آوردن معادلات و طراحی
۱۷۰	۵-۶ تقویت‌کننده‌های مغناطیسی
۱۷۱	۱-۵-۶ عملکرد تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی
۱۷۳	۲-۵-۶ طراحی راکتور اشباع شونده‌ی تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی
۱۷۸	۳-۵-۶ مدارهای کنترلی برای تقویت‌کننده‌های مغناطیسی
۱۸۰	۴-۵-۶ کنترل‌کننده‌ی تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی UC1۸۲۸

۱۸۶	۶-۶ طراحی خازن فیلتر خروجی
-----	----------------------------

فصل هفتم

مدارهای کنترلی رگولاتورهای سونیچینگ

۱۸۹	۷-۰ مقدمه
۱۸۹	۷-۱ تکنیک‌های ایزولاسیون سیستم‌های رگولاتور سونیچینگ
۱۹۱	۷-۲ سیستم‌های PWM
۱۹۱	۷-۲-۱ یک مدار کنترل PWM تک خروجی با قطعات مجزا
۱۹۲	۷-۲-۲ یک کنترل‌کننده PWM مجتمع
۱۹۳	۷-۲-۳ چند مدار کنترل PWM یک‌پارچه‌ی تجاری موجود و کاربردهای آن‌ها
۱۹۵	۷-۳-۱ مدار کنترل PWM، TL۴۹۴
۱۹۸	۷-۳-۲ کنترلر PWM نوع off-line با قابلیت برنامه‌ریزی، UC۱۸۴۰
۲۰۲	۷-۳-۳ مدار مجتمع کنترل PWM، UC۱۵۲۴A
۲۰۵	۷-۳-۴ مدار مجتمع کنترل مد - جریان UC۱۸۴۶
۲۱۱	۷-۳-۵ کنترلر تغذیه‌ی توان مد تشدید UC۱۸۶۰

فصل هشتم

اجزاء و مدارهای کمکی، نظارتی و جانبی منبع تغذیه‌ی سونیچینگ

۲۱۵	۸-۰ مقدمه
۲۱۵	۸-۱ تزویج‌کننده‌ی نوری (جداکننده‌ی نوری)
۲۱۷	۸-۲ تکنیک self-bias استفاده شده در منابع تغذیه با مرجعیت طرف اولیه
۲۱۹	۸-۳ طراحی مدار اپتوکوپلر برای تأمین ایزولاسیون ورودی - خروجی در یک منبع تغذیه‌ی سونیچینگ
۲۲۲	۸-۴ شروع نرم در طراحی منبع تغذیه سونیچینگ
۲۲۳	۸-۵ مدارهای محدودکننده‌ی جریان
۲۲۴	۸-۵-۱ مدارهای محدودکننده‌ی جریان برای طراحی‌های فرمان مستقیم با مرجعیت اولیه
۲۲۶	۸-۵-۲ مدارهای محدودکننده‌ی جریان برای طرح‌هایی که از راه‌اندازهای بیس استفاده می‌کنند
۲۲۸	۸-۵-۳ یک مدار محدودکننده‌ی جریان عمومی
۲۲۹	۸-۶ مدارهای محافظ اضافه ولتاژ
۲۳۰	۸-۶-۱ مدار حس گر OVP به کمک زنر
۲۳۱	۸-۶-۲ مدارهای OVP مجتمع
۲۳۵	۸-۷ آشکارسازهای تلفات خط

فصل نهم

تحلیل و طراحی پایداری در منبع سوئیچینگ

۲۳۹	۹-۰ مقدمه
۲۳۹	۹-۱ تبدیل لاپلاس
۲۴۱	۹-۲ توابع انتقال
۲۴۲	۹-۳ نمودار بُد
۲۴۵	۹-۴ تئوری فیدبک و معیار پایداری
۲۴۸	۹-۵ آنالیز پایداری منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ off-the-line
۲۴۸	۹-۵-۱ تابع انتقال کنترل به خروجی
۲۴۹	۹-۵-۲ جبران‌کننده‌ی تقویت‌کننده‌ی خطا
۲۶۰	۹-۶ تجزیه و تحلیل پایداری با استفاده از فاکتور K
۲۶۰	۹-۶-۱ فاکتور K
۲۶۲	۹-۶-۲ بیان ریاضی فاکتور K
۲۶۳	۹-۶-۳ تحلیل تقویت‌کننده‌های فیدبک با استفاده از فاکتور K
۲۶۷	۹-۷ اندازه‌گیری پایداری حلقه

فصل دهم

ملاحظات تداخل فرکانس‌های رادیویی و الکترومغناطیسی (EMI-RFI)

۲۷۱	۱۰-۰ مقدمه
۲۷۱	۱۰-۱ مشخصات FCC و VDE در مورد نویز انتقالی
۲۷۳	۱۰-۲ منابع RFI در منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ
۲۷۳	۱۰-۳ فیلترهای خط ورودی AC برای حذف RFI

فصل یازدهم

استانداردهای ایمنی الکتریکی منبع تغذیه

۲۷۶	۱۱-۰ مقدمه
۲۷۶	۱۱-۱ الزامات ساختمانی منبع تغذیه برای ایمنی
۲۷۶	۱۱-۱-۱ الزامات فاصله‌گذاری
۲۷۹	۱۱-۱-۲ آزمون تحمل ولتاژ دی‌الکتریک
۲۷۹	۱۱-۱-۳ اندازه‌گیری جریان نشتی
۲۷۹	۱۱-۱-۴ مقاومت ایزولاسیون
۲۸۰	۱۱-۱-۵ ملزومات صفحه‌ی PC

۲۸۰		۲-۱۱ ساختار ترانس منبع تغذیه برای ایمنی
۲۸۰		۱-۲-۱۱ عایق‌بندی ترانس
۲۸۱		۲-۲-۱۱ پایداری دی‌الکتریک ترانسفورمر
۲۸۲		۳-۲-۱۱ مقاومت عایق‌بندی ترانسفورمر
۲۸۲		۴-۲-۱۱ فواصل باز و خزشی ترانسفورمر
۲۸۲		۵-۲-۱۱ مقاومت رطوبتی ترانسفورمر
۲۸۳		۶-۲-۱۱ سنجش دمای ترانس در VDE
۲۸۴		۷-۲-۱۱ سنجش دمای ترانس در UL و CSA

مقدمه مترجم

کتابی که هم اکنون از نظر خوانندگان محترم می گذرد، کتاب High-Frequency Switching Power Supplies تألیف George C. Cryssis می باشد. این کتاب می تواند به عنوان یک مرجع در رشته برق، گرایش قدرت تدریس و برای علاقمندان این رشته مورد استفاده قرار گیرد.

در ترجمه این کتاب نهایت امانتداری رعایت شده و هیچ بخشی از کتاب حذف نشده است. لازم به ذکر است که همکاران و دوستان بسیاری مرا در ترجمه این کتاب یاری دادند که از همگی آنها سپاسگزارم. بخصوص از خانم مهندس شبنم عطایی که در کار ویراستاری و صفحه آرایی کتاب مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

نیز از استاد عزیزم دکتر سید ابراهیم افجهای که کمک های خود را از من دریغ نداشتند ممنونم.

با وجود تلاشهای فراوان در ویرایش کتاب، مطمئنم که هنوز نواقص و ایرادهایی در این اثر موجود است. از اساتید و دانشجویان عزیز خواهشمندم هرگونه کاستی و نقص در این ترجمه را با نظر اغماض بنگرند و برای اصلاح چاپ های بعدی از طریق H_Moradi@sbu.ac.ir ما را در جریان قرار دهند.

دیباچه

پیشرفت سریع میکروالکترونیک در سال‌های اخیر به توسعه‌ی سیستم‌های قدرت مصنوعی کارآمد و سبکی نیاز داشته است که نسبت توان به چگالی حجم بالایی داشته باشند، اما در عین حال از کارایی آن‌ها کاسته نشده باشد. منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا، این نیازها را برآورده می‌سازند و اخیراً به منبع تغذیه‌ی اصلی در بسیاری از طراحی‌های مدرن الکترونیکی تبدیل شده‌اند.

به علت افزایش پیچیدگی منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ، به مهندسان بسیار ماهر و دانشکده‌های مهندسی خاصی نیاز است که طراحی و توسعه‌ی این‌گونه منابع را بر عهده بگیرند. متأسفانه تعداد بسیار اندکی از مهندسان در دانشگاه‌ها به‌عنوان مهندس منبع تغذیه، تربیت می‌شوند و آن‌هایی نیز که در این راه تلاش می‌کنند، به‌طور تصادفی یا به خاطر نیاز درگیر شده‌اند.

از سوی دیگر، معدودی از دانشگاه‌ها، واحد الکترونیک قدرت را با تأکید بر طراحی منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ و آهن‌رباها ارائه می‌کنند. در نتیجه دانشجویان و مهندسانی که مایل به تعقیب این زمینه‌ی جالب و واقعاً مهیج هستند، باید با مطالعه‌ی متن‌های کاربردی (application note) که توسط شرکت‌های الکترونیکی مختلف برای تبلیغ محصولات‌شان منتشر شده است، یا مقالات فنی چاپ شده در مجلات تخصصی، دانش خود را در این زمینه غنی سازند. نیاز به یک متن جامع، منسجم و قابل فهم که تئوری و عمل را با هم مخلوط کرده و همچنین آخرین پیشرفت‌ها در زمینه‌ی منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ را پوشش دهد، مبنای نگارش این کتاب شد.

این کتاب هم برای دانشجویان و هم برای مهندسان باتجربه‌ای که قصد آموزش گام‌به‌گام تئوری و طراحی منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ را دارند، در نظر گرفته شده است و دانش تمام

کسانی را که سال‌ها در این زمینه فعالیت داشته‌اند، جمع‌آوری کرده است، تا به تازه‌کارها کمک کند. تئوری لازم برای آگاهی خواننده در این کتاب آمده، اما از معادلات ریاضی طولانی صرف‌نظر شده است. بر نتیجه‌ی تئوری نهایی و کاربرد آن در طراحی تأکید شده است. ویرایش دوم این کتاب، قالب ویرایش اول را حفظ کرده است. اما برخی فصل‌ها اضافه شده و با مطالب جدیدی بسط یافته‌اند. نتیجه‌ی نهایی، ارائه‌ی جامع‌تر و به‌روز طراحی منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا است که محدوده‌ی ۲۰ kHz تا چند مگاهرتز امروزی را در برمی‌گیرد. فصل اول کتاب بلوک‌های ساختمان یک سوئیچر کامل را توصیف کرده و فصل‌های بعدی به توضیح و آنالیز جزئیات هر بلوک پرداخته‌اند. معادلات پایه، داده شده‌اند اما از نوشتن عملیات طولانی ریاضی صرف‌نظر شده است. مثال‌های زیادی ارائه شده که تئوری را به وسیله‌ی طراحی عملی تقویت می‌کنند.

این کتاب، تمام توپولوژی‌های پایه و کلاسیک منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ را شرح داده و توپولوژی‌های جدیدی نیز ارائه کرده است. ترانزیستورهای سوئیچینگ قدرت چه BJT و چه MOSFET به طور مفصل تجزیه و تحلیل شده‌اند. موضوعاتی نظیر طراحی مدار اسنابر (snubber) و درایو بیس (base drive) به‌طور وسیع پوشش داده شده‌اند. قطعات نیمه هادی دیگر، مانند GTO (gate turn-off)، یکسوکننده‌های سنکرون، یکسوکننده‌های بازافت سریع (fast recovery rectifier) و یکسوکننده‌های شاتکی نیز عمیقاً مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طراحی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های مغناطیسی مانند ترانسفورمرهای قدرت فرکانس بالا، سلف‌های قدرت و تقویت‌کننده‌های مغناطیسی نیز همراه با مثال‌های طراحی عملی ارائه شده است.

مدارهای مجتمع کنترل‌کننده‌ی قدرت (IC) را در بر گرفته و تعدادی از ICهای مطرح در بازار به عنوان مرجع شرح داده شده‌اند.

فصل ۹، به موضوع مهم پایداری حلقه‌ی فیدبک در منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ می‌پردازد. طراحی و تجزیه و تحلیل تقویت‌کننده‌های فیدبک به طور عملی و به شیوه‌ای آسان، ارائه شده است تا این موضوع را که به طور سنتی به سختی درک می‌شود، ساده نماید.

فصل ۱۰، اهمیت تداخل امواج الکترومغناطیس و فرکانس‌های رادیویی (EMI-RFI) را مطرح کرده و مدارهایی برای حذف آن‌ها ارائه می‌کند.

فصل ۱۱، الزامات ایمنی ملی و بین‌المللی را معرفی می‌کند و استانداردهای ایمنی نظیر UL، CSA، VDE و ICE را ارائه کرده و توضیح می‌دهد.

ویرایش نخست این کتاب با استقبال روبرو شد و من از دریافت پیشنهادات سازنده و خوب خوشحال شدم. این پیشنهادات باعث نوشتن ویرایش دوم این کتاب شد که شامل مطالبی که خوانندگان خواسته بودند نیز می‌باشد.

آرزوی من این است که این ویرایش، منبع باارزشی باشد برای تمام کسانی که به دنبال دانش و فهم زمینه‌ی بسیار وسیع طراحی منبع تغذیه‌ی سوئیچینگ فرکانس بالا هستند. مایل هستم تا دوباره از خانواده‌ام برای حمایت‌ها و تفاهم‌شان در طول نوشتن هر دو ویرایش کتاب تشکر کنم و همچنین از تمام کسانی که برای پیشرفت مهارت‌های ما در زمینه‌ی منبع تغذیه تلاش کرده‌اند.

همچنین مایل هستم از آلن دالموس و کلودیا مونگل برای تایپ ویرایش نخست و باربارا استون و جمی اشمید برای همکاری در تایپ ویرایش دوم کتاب سپاس‌گزاری کنم.

جرج سی. کریسیس