



スタンバイ時から全負荷時までの 力率補正の効率向上

ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

TECHNICAL NOTE

デジタル方式の力率制御は、その時々々の負荷状態に応じた波形合成によって効率向上を図るものですが、最新のリニア・アーキテクチャがより簡単な解決策を提供します。

力率補正に対する需要の増大

配電網および屋内配線の電力ラインに供給される無効電力が補正されない場合、不要な高調波が増大し効率が低下します。大電流に対処できるように設計されていない接地線に過剰な電流が流れるため、安全面での危険も生じます。

二酸化炭素排出量の削減や再生可能エネルギー源を利用した発電戦略が重視される中、配電網および家電機器の両方で電力の質とエネルギー効率を改善すべく、規制に関して熱心な取り組みが行われています。IEC/EN61000-3-2 (最大許容高調波電流に対する規制)やEnergy Star 80 Plusなどの国際規格は、実質的にAC主電源に接続するように設計された電源に力率補正(PFC)機能を組み込むよう要求しています。80%超の電源効率を達成する電源がEnergy Star 80 Plusの認定を取得するには、0.9以上の力率が必要です。PFCは照明器用電子バラストの効率と高調波性能とを改善する手段としても必要です。

PFCはパッシブ回路とアクティブ回路のどちらでも導入できます。パッシブ回路は、リアクタンス部品と整流器の組み合わせで構成され、ACライン周波数で動作します。一方、アクティブ方式の力率補正は、高周波スイッチング・コンバータを使用して入力電流の高調波を調整します。高周波で動作するため、回路素子は小型・軽量にすることができ、パッシブ回路と比較して効率を改善するのに役立ちます。アクティブ回路によるPFCステージを適切に制御すれば、どれほど複雑な負荷であってもそのほとんどは1個の線形抵抗と見なすことができ、高調波電流成分が大幅に減少します。

PFCコントローラの一般的な動作

一般にアクティブ型PFCは、Figure 1に示すとおり、電源のブリッジ整流器とバルク・コンデンサとの間にブースト(ステップアップ)コンバータをブリコンバータとして挿入することにより実現されます。

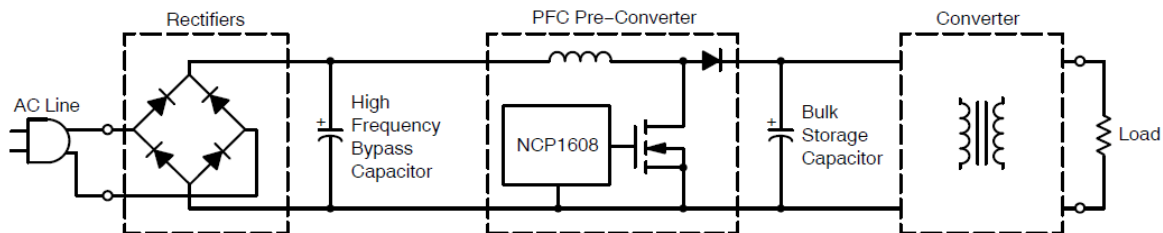


Figure 1. Active PFC Using Boost Pre-converter

電力定格が中程度(一般に350 W未満)のアプリケーションに推奨される制御方式は、ブーストPFCコンバータを臨界導通モード(CrM)で動作させることです。CrMは不連続導通モード(DCM)と連続導通モード(CCM)の境界で発生します。CrMの場合、ドライブのオン・タイムはブースト・インダクタ電流がゼ

ロに達したときに開始されます。CrMは、ピーク電流が減少するというCCM動作の特徴と、ゼロ電流スイッチングというDCMの特徴を兼ね備えているため、中電力定格のPFCブースト・ステージには理想的な選択です。Figure 2の波形は、CrMでのブーストPFC動作を示しています。

TND6050/D

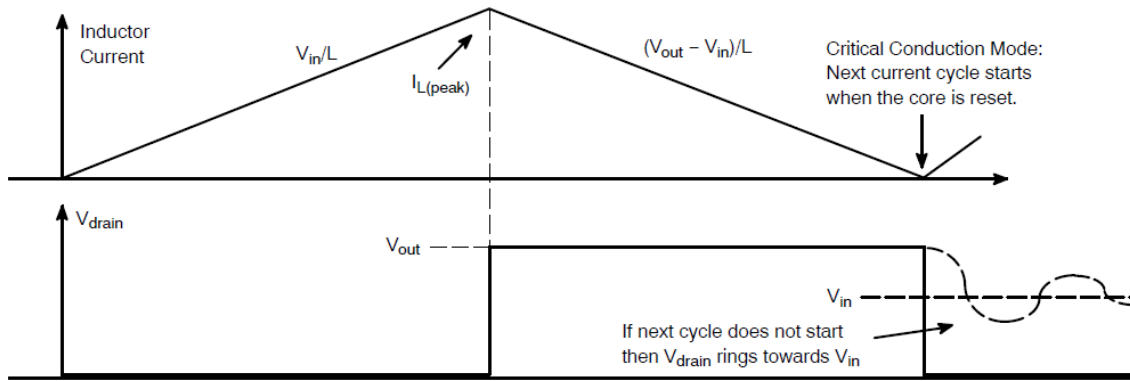


Figure 2. PFC Boost Converter Operating in CrM

CrM動作での高い力率は、1回のACサイクルでのスイッチのオン・タイムが一定のときに達成されます。オン・タイムは一定ですが、オフ・タイムは変動するうえに瞬時ライン電圧に左右されます。オン・タイムが一定なので、ピーク・インダクタ電流 ($I_{L(peak)}$) は、ACライン電圧に比例して変化します。

CrMで動作するPFC制御ICは、内蔵補助回路により1に近い力率を達成できます。従来のCRMコントローラでも、定格負荷時には高いエネルギー効率を達成できますが、スタンバイ・モードのように電源が軽負荷状態で動作しているときには効率が低下します。もう1つ考えられる欠点は、負荷が軽すぎるとコントローラがバースト・モードに移行するおそれがあり、それによって可聴雑音が発生します。

デジタルPFCコントローラはすでに開発されていて、このような制約は克服できるので、負荷の状態にかかわらず効率を改善できます。最近のエコデザインに関する規制は、10%、25%、50%、75%、全負荷など、様々な負荷状態での効率により注意を払うよう求める傾向が強くなっているため、効率改善の重要性は高まるばかりです。

デジタルPFCコントローラでは、検知されたアナログ電圧がデジタル信号に変換されます。検知された値と基準レベルに基づいて信号処理アルゴリズムを適用して、各スイッチング・サイクルに必要なデューティ・サイクルを計算することにより、平均電流モード制御を実現しています。この計算結果は、ブースト・コンバータのパワー・スイッチを動作させるパルス幅変調波形を生成するのに使用されます。デジタルPFCコントローラの製造元は、負荷状態にかかわらず効率の向上と高い力率が達成でき、特に従来式CrMを使用したリニア・コントローラでは難題であった軽負荷時に効果的としています。

軽負荷時の効率向上

最新世代のアナログ・コントローラに実装された新技術により、デジタルPFCの導入に必要な設計手法を変更することなく、従来のCrMコントローラよりも高い効率を達成できます。オン・セミコンダクターのNCP1611およびNCP1612には、電流制御周波数フォールドバック(CCFF)と呼ばれる新たな動作モードが実装されています。これらのコントローラ

は、障害処理と過渡応答を改善する強力な機能を備えているほか、各種のバイアス方法が用意されているので設計の柔軟性が高くなっています。

このコントローラは、大電流が流れる状態のときには定格負荷まではCrMで動作する従来のアナログPFC ICと同様に高い周波数で動作します。しかし、設定可能なしきい値よりも電流レベルが低いときには、コントローラが制御周波数不連続動作モードに移行すると動作周波数が低下します。重負荷時にはライン電圧がゼロ・クロスする付近でこの状態になり、軽負荷時には正弦波の全域にわたってこの状態になります。このような状態のときは、入力電流に比例する検知電圧から内部生成される精密な2.5 Vの「ランプしきい値」までランプ電圧が上昇できるだけの時間が経過するまで、タイマが次のサイクルのスタートを遅延させます。これによって、入力電流が少ないほどデッド・タイムが長くなります。Figure 3に、様々な負荷状態でのブーストMOSFET両端の電圧を図示して、CCFFの原理を説明しています。

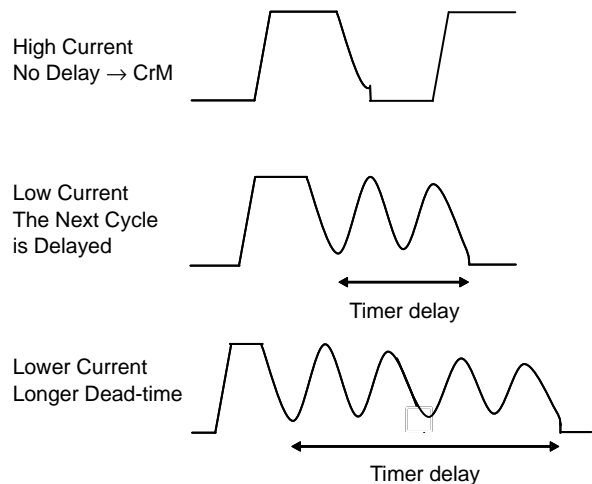


Figure 3. CCFF with Dead Time Controlled by Timer

このタイマは、スイッチング周期やオフ・タイムではなく、デッド・タイムを制御します。電流がゼロのときには、周波数は約20 kHzの最低値まで直線

的に低下します。この方法により、定格負荷のときにも軽負荷のときにも効率が最大化できます。特にスタンバイ時の損失は最低値まで低下します。ドレイン・ソース間電圧がバレー(電圧の谷)のところにくるまで、MOSFETのターンオンするタイミングを遅延させれば、損失はさらに低下します。バレー・スイッチングでは、電磁干渉(EMI)の発生も最小限になります。もう1つ有利な点は、バレーとバレーとの間でシステムが機能停止しないことです。電流サイクル期間が変動してもデッド・タイムは影響を受けないので、バレー・ターンオンはすぐに発生します。

CCFFコントローラの最低周波数を20 kHz以上にクランプするもう1つの利点は、動作周波数を可聴周波数範囲外に維持して静音動作を保証することです。

CCFF機能を搭載したNCP1611とNCP1612は、従来のアナログ・コントローラと同様に、スイッチング周波数が低下したときでも力率を1に近い値に維持する回路を内蔵しています。さらに、電流が非常に少ないときには、ライン電圧がゼロ・クロスする付近で何サイクルかスキップするため、PFCで負荷が非常に軽いときの効率が最適化できます。これにより、電力伝達の効率が著しく低いときには回路を動作させないようにしています。Figure 4は、CCFFを使用したPFCコントローラと従来のCrMコントローラとで軽負荷時の効率を比較した図です。Figure 5、6はそれぞれ力率と高調波歪みについて比較した図です。

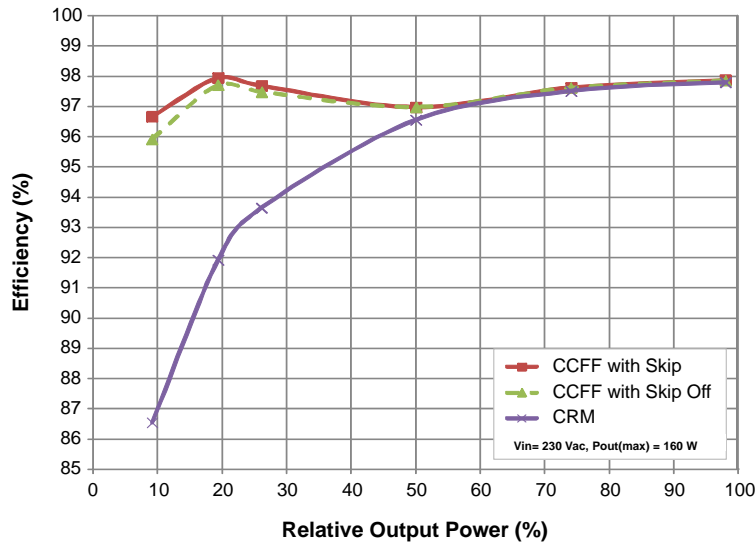


Figure 4. CCFF Eliminates the Loss in Efficiency Seen with Conventional CrM PFC at Light Load

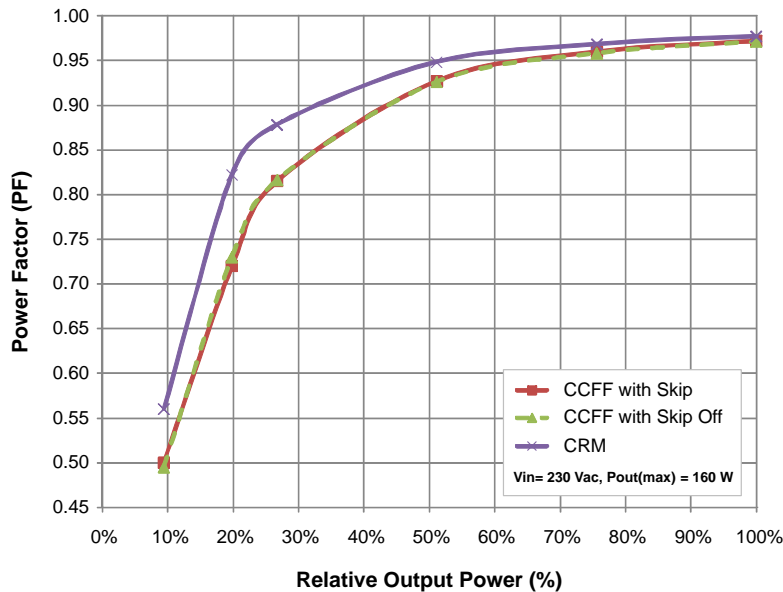


Figure 5. Power Factor over Load Range for CCFF and Conventional CrM PFC

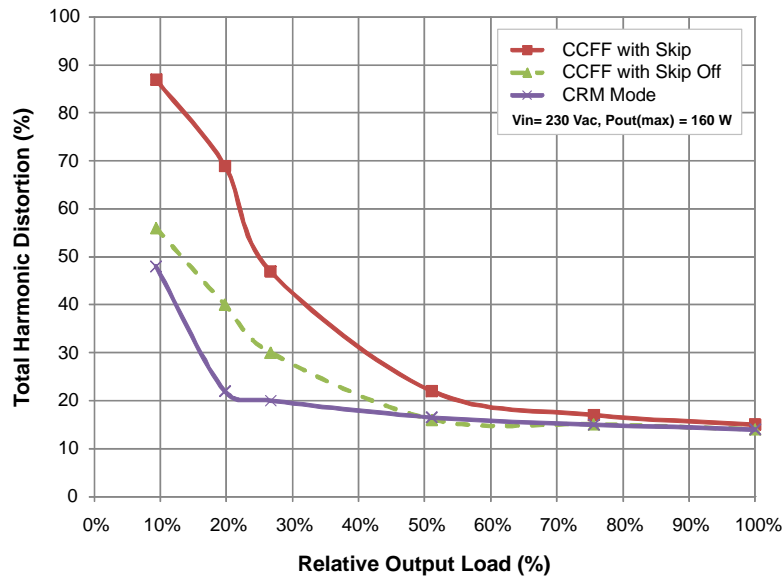


Figure 6. Total Harmonic Distortion for CCFF and CrM PFC

アナログ・コントローラをさらに改善する

従来のPFC制御回路は、一般にフィードバック・ループの帯域幅が狭いため、負荷が突然変動した場合に電圧のオーバーシュートまたはアンダーシュートの発生することがあります。もちろん、デジタルPFC制御にはそのような制約はありません。しかしNCP1611などの比較的新しいアナログPFCコントローラは、過度なオーバーシュートを防止する手段として過電圧保護機能を搭載しているとともに、アンダーシュートを抑制する手段として斬新なダイナミック・レスポンス・エンハンスメント(DRE)機能も内蔵しています。この回路は、コントローラのフィードバック端子の電圧をモニタし、フィードバック電圧が公称値の95.5%を下回った場合は、200 μ Aの

電流源を接続して補償ネットワークの充電速度を高めることにより、効率よく一時的にループ・ゲインを上昇させます。この機能は、PFCステージが起動して通常のソフトスタート動作が可能にならないと作動しません。

コントローラのソフト過電圧保護(ソフトOVP)機能は、出力電圧が目標レベルの105%を超過した場合に電力供給をゼロまで直線的に低下させることでオーバーシュートに対処します。出力が上昇し続けた場合は、出力電圧が目標値の107%に達したときに直ちに電力供給が遮断されます。Figure 7は、このような各動作モードが協調して出力電圧を調整していることを図示しています。

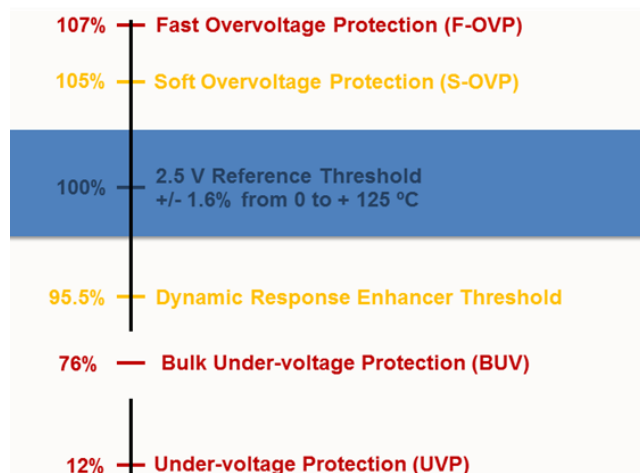


Figure 7. The Controller Implements a Number of Mechanisms to Maintain Load Regulation

最新世代のアナログPFCコントローラのその他の内蔵保護機能としては、バイパス・ダイオードまた

はブースト・ダイオードが短絡した場合にパワー・スイッチをターンオフしたりスイッチング・デュー

TND6050/D

ティ比を低減できる2段式電流制限機能や電圧低下保護、ブラウンアウト検出、サーマル・シャットダウンなどの機能があります。NCP1611などのデバイスは、これらの不可欠な機能をチップに搭載することにより、高エネルギー効率を維持しながら負荷状態に関係なく出力電圧を安定化できる機能を備えたアナログPFCコントローラの部品点数を削減し、小型化・低コスト化を図るのに役立ちます。

結論

アクティブ方式のPFCが環境、エンド・ユーザ、メーカーにもたらすメリットはますます魅力的なものとなっており、様々な用途でアクティブPFCが不可

欠な存在になりつつあります。負荷の全範囲で良好な性能を得ることは、デジタルPFC制御ICを使用しても可能です。しかし、コストと開発期間に対する厳しい制約を満たすのに、設計者は確立されたアナログ制御技術を使い続ける道を好む場合もあるでしょう。電流制御周波数フォールドバック(CCFF)とダイナミック・レスポンス・エンハンスメント(DRE)を備えた最新のPFCコントローラなら、実証済みの技術を使用し続けることができ、かつ軽負荷のスタンバイ動作時から全負荷時まで、エネルギー効率と出力の安定化が大幅に改善されるため、メリットが得られます。

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的財産権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起こり得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative