

# White Paper No.1

## HUBERT 4 象限バイポーラ電源

### はじめに

産業計測技術において、LF ハイパフォーマンス・アンプは様々な用途で利用されています。磁界の発生、材料試験、および EMC 試験装置などが一般的な用途です。バイポーラ電源は、さまざまなアプリケーションで要求される周波数や信号波形に適応し、信頼性の高い動作が求められます。誘導性負荷や電気モータなどの無効負荷に起因しバイポーラ電源にエネルギーが帰還するような DUT に適用するために、電流の流出や流入の能力を備えていなければなりません。

これらの要求に応える HUBERT のバイポーラ電源の原理について、以下の章で説明します。

### 基本

通常、アナログ・パワーアンプでは、プッシュプル動作にバイポーラ・パワー・トランジスタが使用されます。高い出力性能が要求される場合、出力に対して適切な数、並列接続されたエミッター・フォロワーが必要になります。

最大出力電力は、パワートランジスタの性能に依存しますが、無効電力が大きい場合は直ぐに限界に達してしまいます。

この場合、注目すべきパラメータは、トランジスタを流れる最大許容電流  $I_{CE}$  とトランジスタで発生する最大許容電圧降下  $V_{CE}$  です。これら 2 つの変数はトランジスタの消費電力  $P_V$  を表します。

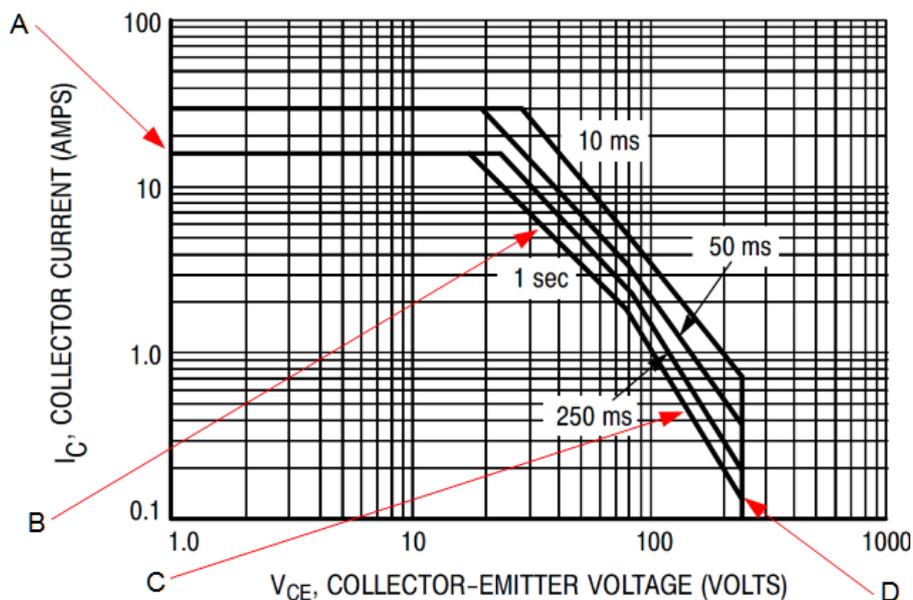


図 1：安全動作領域

図 1 の  $V_{CE}$ - $I_{CE}$  グラフは、バイポーラ・パワー・トランジスタのハウジングの温度が  $25^{\circ}\text{C}$  の時の、負荷持続曲線に基づく安全動作領域 (SOA) を表します。この領域は以下の 4 つの直線により制限されます。

- ・ A：最大コレクタ電流  $I_{CE} = 15\text{A}$  @  $t=1\text{sec}$
- ・ B：最大消費電力  $P_V = 200\text{W}$  @  $t = 1\text{sec}$
- ・ C：二次最大消費電力（動作電圧が高い部分では最大消費電力が低下する）
- ・ D：最大コレクタ-エミッタ電圧  $V_{CE} = 260\text{V}$  @  $t = 1\text{sec}$

トランジスタに加えた電圧によって、最大電流を読み取ることができます。電圧の値がより大きくなると、許容電流が著しく減少します。最大電流値  $I_{CE}$  は  $V_{CE}$  によって決まります。

例：

- ・  $V_{CE} = 10\text{V}$  の時、 $I_{CE} = 15\text{A}$ （信号を 1 秒間適用した場合）
- ・  $V_{CE} = 100\text{V}$  の時、 $I_{CE} \sim 1\text{A}$ （信号を 1 秒間適用した場合）

SOA のセクション B の許容電流は、ハウジングの温度が  $30^{\circ}\text{C}$  以上で、 $10^{\circ}\text{C}$  上昇する毎におおよそ 10% 減少することに注意してください。

ただし、アンプの最大出力電流はパワー・トランジスタを並列に接続することにより増加させることができます。

## 4 象限アンプとは？

パワートランジスタの SOA に基づいて、パワーアンプ全体の安全動作領域は、以下の  $U_{OUT}/I_{OUT}$  図によって表すことができます。ここでは  $U_{OUT}$  はアンプの出力電圧であり、 $I_{OUT}$  は出力電流を示します。

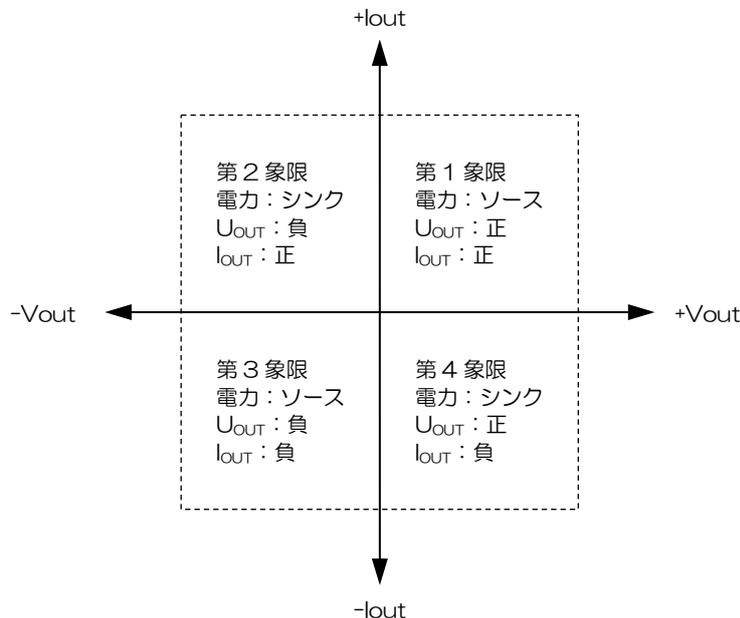


図 2：4 象限の定義

動作条件の限界は図 2 から読み取ることができます。図 2 は正または負の最大出力電流及び、正または負の最大出力電圧の 4 つの象限に分割されています。

これら 4 つの全ての象限で動作するパワーアンプは、4 象限アンプとして知られています。第 1 象限と第 3 象限においては、接続した負荷に対してエネルギーを流出する（ソース）動作をします。第 2 象限と第 4 象限においては、接続した負荷からエネルギーを吸い込む（シンク）動作をします。

この特性は、全てのバイポーラ電源に適用されます。オーディオアンプの場合においては、接続したパッシブスピーカーは無効負荷として機能し、エネルギーはパワーアンプにフィードバックされます。

4 象限アンプの性能と容量について評価する重要な特性は：

- ・ 電力と増幅率が 4 つの象限において全て同等か？
- ・ ソース電力とシンク電力において、どの程度の違いがあるのか？
- ・ 周波数帯域・最大出力電圧・電流等の性能は？
- ・ どれだけの期間、指定された電力を供給可能か？

特に第 2 象限と第 4 象限の動作がパワーアンプに対して強く要求されています。出力電圧と出力電流の間で  $180^\circ$  の位相の差があるため、通電トランジスタ  $V_{CE}$  の値は非常に高いものになります。

負荷として低抵抗コイルを使用した以下の例で、詳細に説明します。：

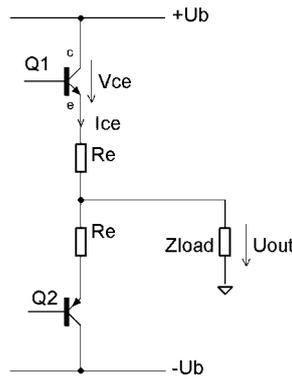


図 3 : パワーアンプの出力段

図 3 はパワーアンプの一般的な出力段を簡略化して表しています。

トランジスタ Q1 と Q2 は、並列に接続された全てのパワートランジスタをまとめて表記しています。

(以下の説明では、 $R_e$  における電圧降下とトランジスタの飽和電圧は無視します。)

コレクタ電流  $I_{CE}$  の合計に相当する出力電流  $I_{OUT}$

トランジスタ電圧は :  $V_{ce} = U_b - U_{out}$

アンプが  $3\Omega$  負荷に対して  $1000W$  の出力容量を持っています。また、アンプ動作電圧は  $U_b=90V$  とします。本アンプでは、上記の安全動作領域の特性を持つパワートランジスタが使用されています (各極に 8 つ使用)。

上記の説明について、以下の条件を用いて説明します。 :

$U_{out} = 50V / 4kHz$  サイン波, 負荷  $Z_{load} = 0.04\Omega + 86\mu H$

ここで  $Z_{load} = R_{load} + jX_{load}$  であり、 $|Z| = 2.16\Omega$ , 位相 =  $89^\circ @ 4kHz$

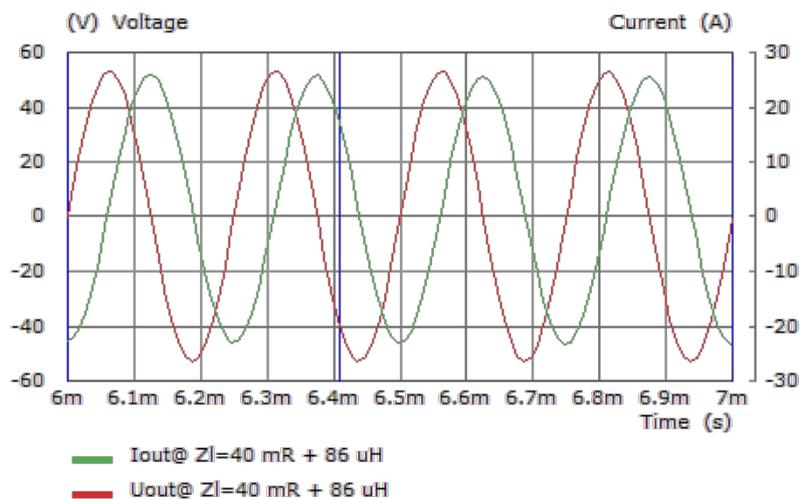


図 4 : 出力電圧 / 電流 @ 4kHz

図 4 において、時間  $t_1$ （青線の位置）において出力値は  $U_{out} = -40V$ ,  $I_{out} = +16A$  を示しています。

この時点で電流  $I_{CE}$  は正であり、通過トランジスタ Q1 の電圧は  $V_{CE} = 90V - (-40V) = 130V_p$  であり、動作電圧よりも高くなっています。前記の SOA 特性の図において、パワートランジスタは C の領域で動作していることが分かります。

特性 10ms → 最大  $2A * 8$  トランジスタ → 最大  $16A$ （ハウジングの温度  $25^{\circ}C$  の時）

この動作条件は、当然のことながら温度が上昇すると、SOA の範囲を越えるので出力できなくなります。

例えば出力電圧と出力電流の位相角が  $0^{\circ}$  のような抵抗性負荷の場合、パワートランジスタに対しては高い性能を必要としません。

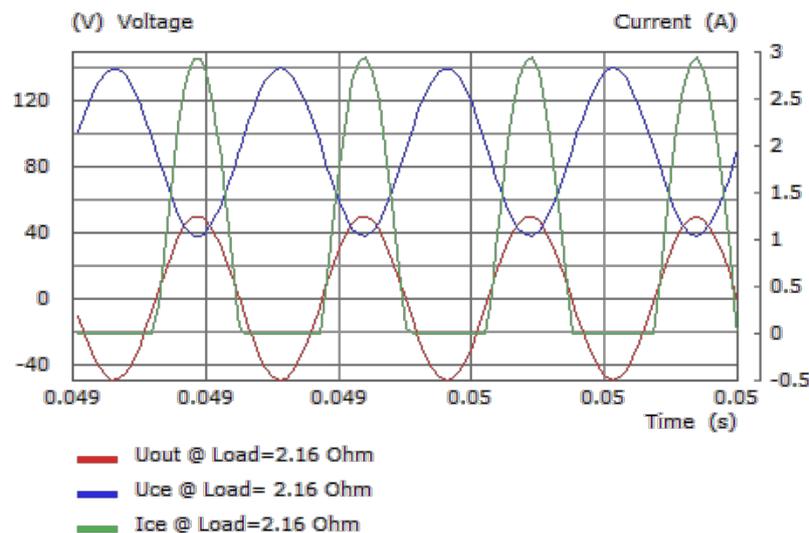


図 5 :  $U_{OUT}$ ,  $V_{CE}$  と  $I_{CE}$  (1 トランジスタ) @  $R_{load} = 2.16\Omega$

図 5 は、トランジスタ電圧  $V_{CE}$  とトランジスタの出力電流  $I_{CE}$  における、出力電圧  $U_{OUT}$  の時間ベースの特性を表しています。負荷  $Z_{load} = 2.16\Omega$  です。

$I_{CE} = 0A$  で  $V_{CE}$  最大のポイント、または  $V_{CE} = 40V_p$  のポイントで  $I_{CE}$  が最大となり、 $U_{OUT} = 50V / 4kHz$  で消費電力は：

$P_t = (((U_{OUT} * U_b) / \pi) - U_{OUT}^2 / 4) / R_l = 373.8W$  が得られます。

この例から、次のことが導かれます：

アンプの消費電力は、負荷の位相角が大きくなるにつれて増加する。

通常のバイポーラ電源は、無効負荷に対して長時間出力を続けるようには設計されていません。無効負荷に出力を続けると、トランジスタの電力損失が大きくなり温度が上昇し使用可能な SOA の範囲を超えてしまい場合によってはダメージを受けます。HUBERT 社製品は、無効電力用の保護回路が搭載されており、一定期間の無効電力を検知するとダメージを回避するために自動停止します。ソース出力よりシンク出力は小さくなるので負荷によって適切なソース・シンク能力のアンプを選択してください。

次の章では HUBERT アンプの性能と特徴について説明します。

### 動作電圧レンジと出力電圧

前記の通り、4 象限アンプの重要な目的は、安全かつ効率的にアンプを動作させるために、全ての負荷状況においてパワートランジスタの電圧を可能な限り低くすることです。同様に、発生する消費電力を最小限にし、アンプの効率を向上させます。

HUBERT アンプでは、パワーアンプの供給電圧を可変にすることによって電力損失の低減を実現しています。アプリケーションにあわせ、3 つの動作電圧レンジから選択できます。

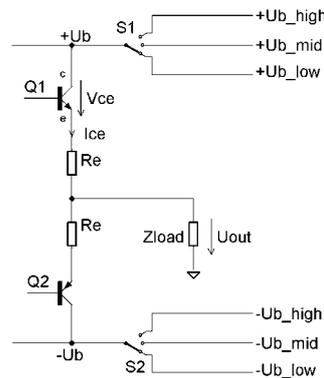


図 6 : HUBERT の出力段

図 6 は、選択可能な 3 つの動作電圧を持つ HUBERT アンプの出力段の簡略図です。

$$\pm U_{b\_low} = 30V; \pm U_{b\_mid} = 60V; \pm U_{b\_high} = 90V$$

必要とされる出力電圧に応じて、動作電圧はパワートランジスタ+ $U_b$  または- $U_b$  に対して調整され、電圧  $V_{ce}$  は低いレベルに抑えられています。

この方法により、上記で述べた安全かつ効率的な動作を実現しています。

$\pm U_{b\_mid} = 60V$  の時、出力電圧は  $U_{out} = 50V$  となります。

時間  $t1$  の時  $V_{ce} = 60V - (-40V) = 100V_p$  であり、動作電圧レンジを切り替える事により、より安全なトランジスタの動作領域で運転しています。

HUBERT のアンプ A1110 シリーズでは、必要とされる供給電圧+ $U_b$ , - $U_b$  は、アンプのフロントパネルの操作部にて、手動でスイッチ S1, S2 を個別に設定が可能です。リモートコントロール用のソフトウェアでも設定が可能です、機器設定の時間短縮を実現しています。また、A1110 シリーズは自動試験システムのリモート操作を可能にするため、さまざまなリモートコマンドを提供しています。

A1110-X-QE タイプでは、出力に応じて自動的に動作電圧レンジを切り替えるオートレンジ機能を装備しています。これにより、必要とされる供給電圧が、出力電圧に応じて自動的に各極毎に非同期 ( $S1 \neq S2$ ) でレンジを切り替えることが可能になります。

供給可能な動作電圧は：

$$\pm U_{b\_low} = 10V; \pm U_{b\_mid} = 45V; \pm U_{b\_high} = 90V$$

本機能の原理は、無効負荷のサンプルを用いて、以下で説明します。

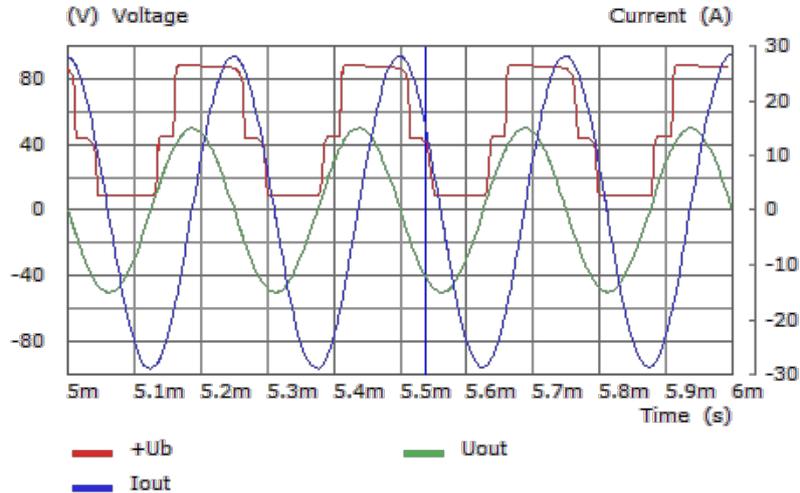


図 7：供給電圧及び出力電圧と電流（4kHz）

図 7 は、動作電圧  $+U_b$ （説明のため正の動作電圧のみ表示）、出力電圧  $U_{out}$  と出力電流  $I_{out}$  の時間軸上の変化を表しています。

動作電圧は、出力電圧に応じてそれぞれ必要な電圧に切り替えられます。例えば時間  $t_1=5.54ms$ （青線）の時、電流  $I_{out} = 16A_p$  で正であり、出力電圧  $U_{out} = -40V$  で負となっています。ここでは動作電圧が切り替わらず  $U_b=90V$  の場合、トランジスタにかかる電圧は  $130V$  に達しますが、自動的に  $U_b = 45V$  に切替えられているため、 $V_{ce} = 85V$  となり、トランジスタへの印加電圧を低減しています。

この結果、パワートランジスタの負荷が大幅に軽減され、保護回路が動作することなく安全に永続的な動作が可能となります。

両極の供給電圧が非同期で切り替え可能なため、A1110-X-QE タイプのアンプはアクティブな負荷として動作させることが可能です。

HUBERT の 4 象限バイポーラ電源の詳細な性能は、データシートに記載されています。各象限における出力制限値は、関連する  $U_{out}/I_{out}$  グラフで確認することができます。

## まとめ

特に無効負荷の場合、目的のアプリケーションに応じて、4象限（ソース・シンク）全ての出力特性の確認が必要です。



正しくお使いいただくため、ご使用前に必ず「取扱説明書」の中の「安全上のご注意」をよくお読みください。  
(水、湿気、湯気、ほこり、油煙等の多い場所)に設置しないでください。(火災、感電、故障)などの原因となることがあります。

お願い: 本カタログの最新情報は、当社のホームページでご確認いただくようお願い申し上げます。

**お客様フリーダイヤル** 受付時間 土日祝日を除く営業日の9:00 ~ 12:00/13:00 ~ 17:00

技術的なお問い合わせ

**0120-102-389**

E-mail : [info-tme@iwatsu.co.jp](mailto:info-tme@iwatsu.co.jp)

**0120-086-102**

修理・校正に関するお問い合わせ

岩通マニュファクチャリング株式会社  
〒965-0859 福島県会津若松市住吉町23-7 FAX 0242-26-4348

- 本製品の中には外国為替及び外国貿易法の規定により規制貨物(又は技術)に該当する製品があり、該当する製品を輸出する場合は日本政府の輸出許可が必要です。該当する製品か否かについては本社又は営業所にお問い合わせください。
- 製品改良等により、外觀および性能の一部を予告なく変更することがあります。
- 取扱説明書の追加および検査成績書は有償にて申し受けます。
- お問い合わせは、下記営業担当部門または取扱店へどうぞ。
- ここに記載しました内容は2019年6月現在のものです。
- 価格変更の可能性がります。ご注文の際にはご確認を頂きますようお願い申し上げます。
- ※ 製品を廃棄する場合には、法律ならびに地方自治体の条例・規則に従って廃棄してください。
- ※ 社名、商品名等は各社の商標または登録商標です。
- ※ 在庫完売後廃止製品につきましてはご面倒ですが必ず担当営業員にご確認ください。

● ご相談/お問い合わせは

**IWATSU**

岩崎通信機株式会社 URL : <http://www.itl.iwatsu.co.jp/>

第二営業部 計測営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41  
TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

第二営業部 アカウント営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41  
TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

第二営業部 国際営業担当 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41  
TEL 03-5370-5483 FAX 03-5370-5492

西日本支店 計測営業担当 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町2-3-6 山岡ビル1F  
TEL 06-6535-9200 FAX 06-6535-9215